

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Светлозар Кирилов Захариев

**ЕЛЕКТРОННИ УСТРОЙСТВА ЗА ВИСОКОЕФЕКТИВЕН ЗАРЯД НА
АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна
и научна степен „Доктор”

по докторска програма 5.2.4. Електронизация
към професионално направление 5.2. Електротехника, електроника и автоматика

Научен ръководител: доц. д-р. инж. Ангел Станимиров Маринов

Рецензенти:

1.
2.

ВАРНА, 2021г.

Дисертационният труд е обсъден на 23.11.2021 г. в катедра “Електронна Техника и Микроелектроника” на разширен катедрен съвет с заповед на Ректора № 658 от 29.10.2021г. и насочен за защита.

Докторантът работи в катедра “Електронна Техника и Микроелектроника”.

Автор: инж. Светлозар Кирилов Захариев

Заглавие: Електронни устройства за високоефективен заряд на акумулаторни батерии

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Светлозар Кирилов Захариев

Заглавие: ЕЛЕКТРОННИ УСТРОЙСТВА ЗА ВИСОКОЕФЕКТИВЕН
ЗАРЯД НА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна и
научна степен “ДОКТОР”

Варна, 2021 г.

Дисертационният труд съдържа 139 страници, включително 120 фигури и 12 таблици, оформени в 4(четири) глави, общи изводи и списък на използваната литература от 182 заглавия, от които 37 на кирилица и 145 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на..... г. от ч. в на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора №/.....г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересувалите се в Докторантския център, стая 318 НУК.

ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

В наши дни производството, разпределението и съхранението на електрическа енергия са ключови за развитието на съвременното общество. Акумулаторните батерии (АБ) са основни средства за осигуряване на ефективно съхранение и захранване на множество отговорни системи и устройства в промишлеността, транспорта, медицината и бита. Това прави системите за заряд и поддържане на АБ изключително важен компонент за оптималното функциониране на множество устройства, технологични процеси и нови технологии.

Основна насока на развитие в Европейската общност е използването на чисти технологии. Тази насока се свързва с увеличаване на приложението на алтернативни източници на енергия и алтернативни транспортни средства. Широко и разширяващо се приложение е използването на комплексни системи, обединяващи фотоволтаични източници на електрическа енергия и различни акумулаторни батерии.

Съобразно така представената актуалност на проблематиката, настоящият дисертационен труд е насочен към анализ, изследване и прилагане на високоефективни електронни схеми, методи и алгоритми за управление заряда на акумулаторни батерии, където първичен източник е променливотоковата електрическа мрежа и/или фотоволтаична инсталация. Разглежда се разработката на електронни токоизточници с подобрени параметри – ефективност, качество на консумираната електрическа енергия, ефективност на заряда на АБ с цел удължаване на техния живот и др.. Дисертационния труд обхваща синтеза и моделирането на електронните схеми и техните алгоритми, както и детайлна оценка на техните параметри. Предлагат се насоки за оптималното проектиране на схемите, включващи съвременни високо ефективни изчислителни процедури за оптимизация. В детайли се разглежда използването на фотоволтаици, като е поставен акцент на възможността за оптимално проектиране съобразно спецификата на енергийния потенциал свързан с мястото на инсталация.

ПРОБЛЕМ

Приложението на различни видове акумулаторни батерии в бита, промишлеността и транспорта се увеличава постоянно. Подобряването на основните им технологични параметри е от съществено значение за всички сфери на приложение. Критични и значими електрически параметри са капацитет и вътрешно съпротивление, а обществено значими са експлоатационен период и количество електричество необходимо за зарядния процес.

Подобряването на тези параметри чрез високоефективен заряд на акумулаторни батерии посредством създаване на нови схемни и структурни решения, както и на нови подобрени алгоритми за изследване и управление ще подобрят цялостната им функционалност.

ЦЕЛ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Цел на дисертационния труд е формулирането на нови и подобрени технологични решения за високоефективен заряд на акумулаторни батерии с основна насока към: Изследването на ключови електронни схеми за заряд на АБ; Синтез на алгоритми за заряд на АБ; Разработка на комплексни решения за заряд на АБ базирани на ВЕИ системи.

ОСНОВНИ ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

(1) Да се предложат, формулират и верифицират нови решения свързани с разработката на високоефективни и специализирани схеми за заряд на АБ, вписващи се в контекста на съвременната компонентна база и пазар на електронни изделия с изключително висока конкурентност;

(2) Да се предложат, формулират и верифицират алгоритми за заряд на АБ с обща насоченост и възможност за прилагане към различни по тип АБ.

(3) Да се изследват комплексни инсталации захранвани от фотоволтаични системи за заряд на АБ с подобрени характеристики и високоефективен заряден процес, като се предложат подходи и насоки за тяхното моделиране и проектиране базирано на съвременни информационни системи.

(4) Да се изследва и потвърди възможността за моделиране на многослойни процеси, част от фотоволтаична система, на база на единен модел даващ възможност за едновременен анализ на високочестотните процеси на силовата електроника и многогодишната енергийна ефективност на системата.

(5) Да се предложи и формулира подход даващ възможност за разширяването на обхвата на изследователското общество, занимаващо се с изследване на цялостните фотоволтаични системи - от тесни специалисти в силова електроника към интердисциплинарни експерти и студенти в различни специалности.

МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Използвани са аналитични методи за анализ на електромагнитните процеси, компютърно моделиране и симулиране, математически софтуер – MATLAB, PCIM, Matcad, ORCAD- PSPICE.

МЯСТО НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Изследванията в дисертацията са теоретични, симулационни и експериментални и са проведени в:

-Добруджански Технологичен Колеж гр.Добрич – лаборатория по “Алтернативни източници на енергия“

-Технически Университет гр.Варна – лаборатория по „Силова електроника“ към катедра “Електронна техника и микроелектроника“

-Технически Университет гр.София –лаборатория по „Акумулатори“ към катедра „Електрически апарати“

- INES-SAE France- Националният Институт по Слънчева Енергетика на Република Франция – лаборатории по: „Изследване на оловно-киселинни акумулаторни батерии“, „Изследване на литиеви акумулаторни батерии“ и „Изследване на Фотоволтаични системи и модули“

НАУЧНА НОВОСТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Предложен е специализиран алгоритъм за високоефективен заряд на акумулаторни батерии. Алгоритъмът е базиран на управление на $\frac{du}{dt}$ в разрядния импулс. Основно негово предимство е значително по-висока енергийна ефективност и съкращаване на времетраенето на зарядния процес, спрямо алтернативни съществуващи алгоритми. Предложен и верифициран е специализиран алгоритъм за избор на PFC модул част от токозахранващ източник за заряд на акумулаторни батерии. Алгоритъмът се базира на невронни мрежи и е със сравнително висока точност. Той дава възможност за лесна интеграция в компютърни и интернет базирани приложения. Предложени са четири нови блокови схемни решения за автономна фотоволтаична система базирани на зарядно-разрядни или зарядно-безтокови цикли. Схемните решения реализират високоефективен заряден процес и повишават енергийната ефективност на системата. Предложен и разработен е модулен, лесно-конфигурируем подход за моделиране и аналитична оценка на фотоволтаична система. Подхода изхожда от арбитарен тип метеорологични данни. Изграден и валидиран е алгоритъм за подобряване

на точността на стандартни методи за „Чисто небе“ и съответно потенциал на слънчева радиация чрез генетична оптимизация.

Разработките имат научно-приложен и приложен характер, публикуването им в международни и национални научни форуми.

ПРАКТИЧЕСКА ЦЕННОСТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Разгледаните електронни устройства за високоефективен заряден процес са реализирани и изследвани в специализирана лаборатория по “Акумулатори” на ТУ – София. Те показва много добри технически параметри – повишаване на капацитета и намаляване на съпротивлението.

АПРОБАЦИЯ

Основните теоретични и приложни резултати от дисертационния труд са представени в общо 8 публикации, от които:

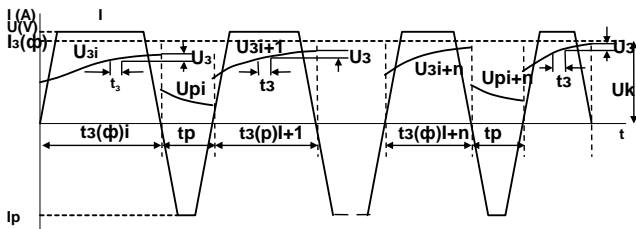
- 4 публикации са в Годишници на ТУ - Варна;
- 1 публикация в списание „Известия на Съюза на учените-Варна” ISSN 1310-5833;
- 1 публикация е в международна научна конференция „ELECTRONICS - ET”, Созопол, България, 2017г., като докладите от 2017г. са включени в индексиранията база данни IEEE Xplore Digital Library и база данни SCOPUS;
- 2 доклада, изнесени на международна научна конференция „ELMA 2021“, чийто сборник с доклади също е включен в базата данни IEEE Xplore Digital Library и базата данни SCOPUS; Сборниците на докладите от международните конференции „ELECTRONICS - ET” и „ELMA” имат и SJR. Публикациите са рецензирани.

Кратко съдържание на дисертационния труд

Глава 1. Управление на заряда на акумулаторни батерии - литературен обзор

1.1 Методи за заряд с импулсен ток с редуващи се зарядно-разрядни цикли.

Значително подобряване на електрическите характеристики на оловно-киселинните акумулаторни батерии и икономия на електроенергия се получава при използване на основните електротехнологични процеси на импулсен ток с компютърен контрол и управление, измерване на основните параметри и данни. Принципа на метода е показан на Фигура 1.1.



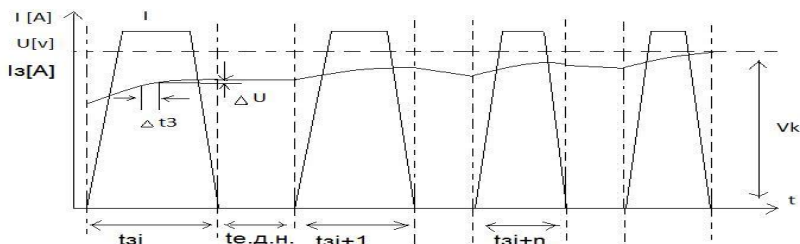
Фигура 1.1. Изходни характеристики при метод с импулсен ток с редуване на зарядно-разрядни цикли

Продължителността на положителните токови импулси е по-голяма от продължителността на отрицателните токови импулси, които са постоянни по време на процесите. Продължителността на

положителните токови импулси се определя автоматично, като чрез микропроцесорна система се следи динамичното състояние на електромеханичната система. Следенето на динамичното състояние на акумулатора се състои в периодично измерване изменението на електрическото напрежение dU/dt и когато това нарасне е по-малко от предварително зададена стойност се променя полярността на зареждания токов импулс и се подава разряден импулс на акумулаторите.

1.2 Метод за заряд с пропускане на токови импулси с положителна полярност и постоянна продължителност на безтоковата пауза.

Принципа на метода е показан на фигура 1.2. Продължителността на положителните токови импулси се определя от достигането на предварително зададената стойност на изменението на електрическото напрежение на акумулаторните батерии dU/dt . Измерваното изменение на електрическото напрежение dU/dt на акумулаторните батерии се задава в границите от 0,01 до 0,09 V/клетка при зададен интервал на измерване t в границите от 5 до 60 секунди. Продължителността на безтоковата пауза е постоянна и може да се задава в границите от 0,22 до 10 секунди. При положителните токови импулси се следи електрическото зарядно напрежение U през равни интервали t в границите от 2 до 60 секунди и се формира разлика между две последователни измерени стойности на електрическото зарядно напрежение dU/dt , представляваща изменението на електрическото напрежение по време на заряд на акумулаторните батерии.



Фигура 1.2. Изходни характеристики при метод с импулсен ток с редуване на зарядно-безтокови цикли

С нарастване на електрическото зарядно напрежение, зададената стойност dU/dt се достига за кратко време, което води до постепенно намаляване времетраенето на положителните токови импулси и до ускоряване на заряда без прерязход на електроенергия. Методът е приложим при заряд на акумулаторни батерии от различни електрохимични системи.

Чрез посочените методи се постига:

- Значително повишаване на капацитета;
- Удължаване на експлоатационния период;
- Подобряване на електрически характеристики и намаляване разхода на електроенергия;
- Съкращаване на времетраенето на зарядния процес
- Десулфатизация на плочките на акумулатора
- По ниско вътрешно съпротивление

Изводи и заключения

(1) Проучени и представени са различни типове ХИТ, като е направена детайлна класификация. Подробно са разгледани отделните електрически параметри свързани с АБ. Направеното проучване дава база на дисертационния труд и определя неговата насока спрямо типа АБ. В това си естество представените в следващите глави решения и разработки няма да бъдат свързвани с точно определен

тип АБ. Ще се търсят общо валидни приноси на електронни схеми за заряд, алгоритми за заряд и схеми с комбинирано използвано на ВЕИ, които при подходящо проектиране могат да бъдат приложени към повечето типове АБ.

(2) Разгледани и представени са основните типове електронни схеми за заряд на акумулаторни батерии. От разглеждането може да се заключи че в общия случай в модерната техника, високоефективни решения за линейни и импулсни електронни схеми за заряд, могат да бъдат реализирани посредством инструментите на съвременната микроелектроника и съставяне на решения с високо ниво на интеграция. Този тип решения излизат извън обхвата на настоящия дисертационен труд. Представените в следващите глави решения и разработки, насочени към електронните схеми за заряд ще бъдат свързани с ключовите електронни схеми за заряд, като ще се разглеждат приложения с малка и средна мощност.

(3) Проучени са основни алгоритми за управление на заряда на различни типове АБ. Направен е сравнителен анализ между конвенционални и подобрени решения. Анализът дава насока за синтеза и изследването на нови решения за алгоритми за заряд на АБ с подобрени параметри.

(4) Разгледано е приложението на фотоволтаични елементи в комбинация с АБ за формиране на комплексни електроенергийни инсталации, като са представени и базови алгоритми за извличане на максимална енергия при различен интензитет на слънчевата радиация. На база на направеното литературно проучване е оценена възможността за формиране на високоефективни системи за заряд на акумулаторни батерии при комбинация с ВЕИ.

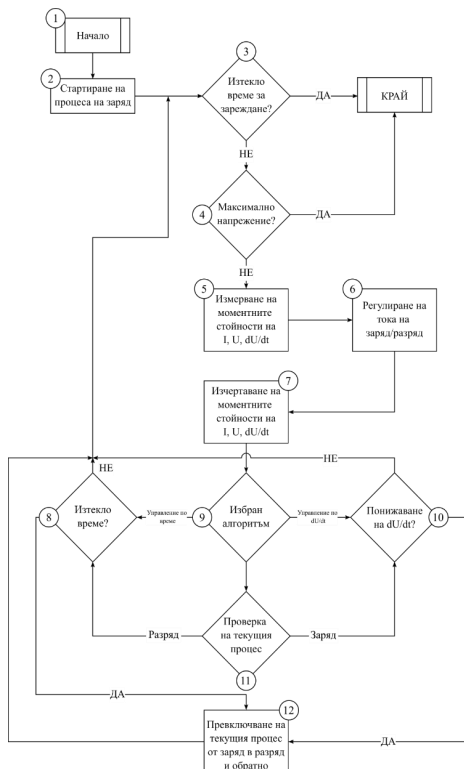
Глава 2. Изследване и оптимизиране на устройства и алгоритми за заряд на акумулаторни батерии, захранвани от променливотокова мрежа

2.1. Подобрен алгоритъм за заряд на акумулаторни батерии –Фигура2.1

Във връзка с решаването на *Задача 2* - се предлага решение – алгоритъм за управление на заряда на акумулаторни батерии. Блокова схема на алгоритъма е представена на **Error! Reference source not found.**

Процесът се управлява по три различни метода:

- Управление на заряд и разряд по време;
- Управление на заряд по dU/dt , разряд по време;
- Управление на заряд и разряд по dU/dt ;



Фигура 2.1. Блокова схема на алгоритъм за заряд на А.Б.

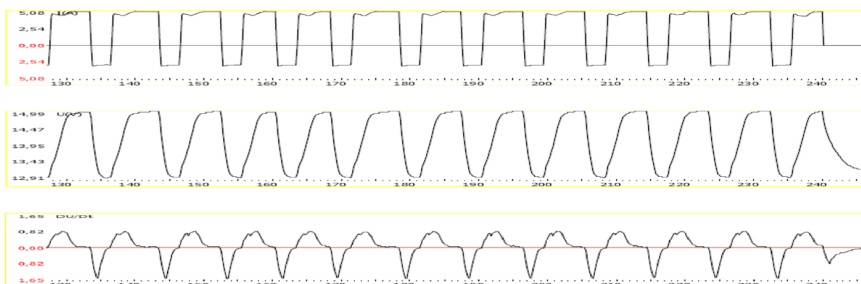
2.1. Подобен алгоритъм за заряд на акумулаторни батерии –Фигура2.1

Експериментални резултати са показани на фиг. 2.2. Използвана е акумулаторна батерия MONBAT 12V, 75Ah. Прави впечатление, че зарядните и разрядните импулсите са с различна продължителност при метода с dU/dt . Енергийната ефективност при метода с dU/dt е много по-добра от метода с управление по време - $P_{tot}(dU/dt)=2.3710wh$, а при управление по време $P_{tot}(t)=3,6846Wh$ за едни и същи заряден ток, разряден ток и времетраене на процеса. На фигура 2.3 са показани осцилограми на ток, напрежение и dU/dt на батерията.

2.2. Специализиран лабораторен линеен токоизточник. Заряд на АБ при изпитания на специализирани алгоритми и изпитване на процеса на заряд



Фигура 2.2. Изглед на устройството



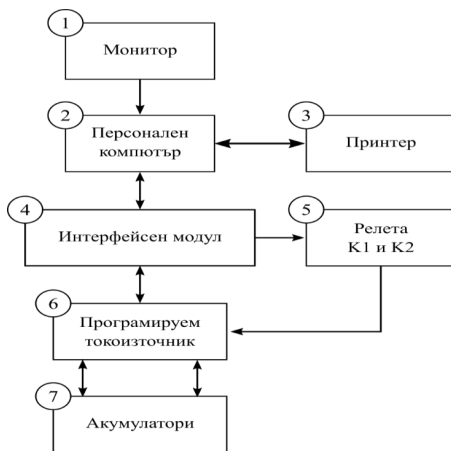
Фигура 2.3. Осцилограми при управление по параметъра dU/dt .

С цел прецизно тестване, изпитване и верифициране на алгоритми за заряд на АБ е предложен и разработен специализиран токоизточник. Предложеното решение позволява прецизен контрол на тока на заряд и дава възможност за залагане на комплексни алгоритми посредством компютърно управление. Решението е използвано и за верификация на предложения в предходната секция алгоритъм за заряд на АБ.

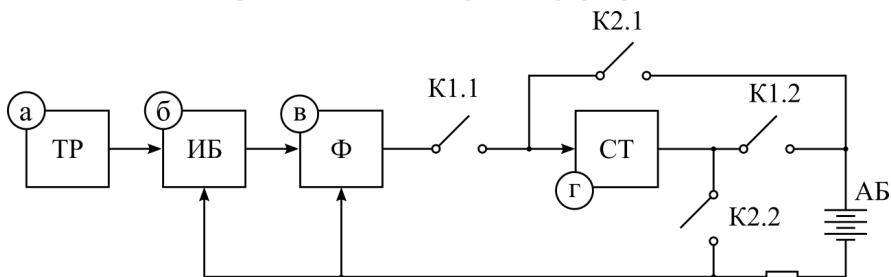
Блоквата схема на токоизточника е представена на Фигура 2.4. Той може да бъде разгледан като съставен от следните функционални блокове:

(1) , (2) и (3) – потребителски интерфейс включващ монитор за визуализация на резултатите, електронен принтер позволяващ запис на изображения и параметри свързани със зарядни процеси и персонален компютър осъществяващ връзката между потребителския интерфейс и токоизточника. Персоналният компютър позволява програмно залагането на специализирани алгоритми.

(4) Интерфейсен модул – осъществява входно-изходния обмен на данни между персоналният компютър , програмируемия токоизточник и акумулаторите.



Фигура 2.4. Блокова схема на свързване на програмируем токоизточник



Фигура 2.5. Блоквата схема на структурните звена изграждащи програмируеия токоизточник

(5) и (6) - програмируем токоизточник и управляващи релета. Детайлно структурата и взаимодействието на тези блокове е представена на Фигура 2.5. Поради характера си на специализирано устройство за тестване и изпитание предложениия програмируем източник се базира на линейна топология, където основните блокове в неговата структура включват:

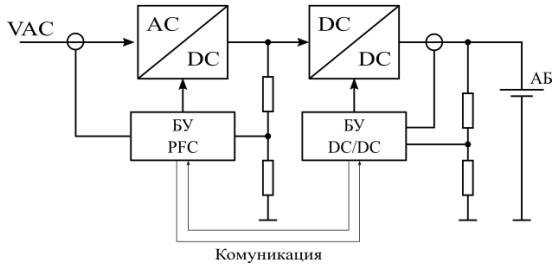
(а) Понижаващ мрежов трансформатор; (б) Изправителен блок; (в) Филтър; (г) Съставен транзистор за линейна регулация и стабилизация. Токоизточника работи като стабилизатор на постоянен ток. Съставният транзистор включва свързани паралелно мощни MOSFET транзистори, които работят в усилвателен режим.

(К1) и (К2) Релета позволяващи превключването от режим на заряд в разряд и обратно.

(7) акумулаторна батерия обект на заряд и изследване.

2.3. Решения за специализирани схеми за заряд на АБ

Във връзка с решаването на *Задача 1* - се предлага едно решение свързано с проектирането и по-специално избора на топология за електронна схема, част от високоефективно устройство за заряд на акумулаторни батерии.



Фигура 2.6. Ключова електронна схема за заряд на АБ с електрическата мрежа като първичен източник на електрическа енергия и възможност за корекция на фактора на мощността (PF)

Съвременните високоефективни решения за заряд на акумулаторни батерии с първичен източник електрическата мрежа, се базират на електронни преобразуватели. Тези електронни преобразуватели могат да включват в структурата си (1) Неуправляем токоизправител и трансформаторен постояннотоков преобразувател – при по-ниски мощности и (2) Коректор на фактора на мощността и постояннотоков преобразувател при по-високи мощности и изисквания към качеството на консумираната електрическа енергия (Фигура 2.6 *Контекст на предложеното решение*).

С навлизането на нови специализирани контролери и съвременни електронни ключове включването на коректори на фактори на мощността става все по-популярно и желано, дори и в схемите за по-малка мощност. Блока за корекция на фактора на мощността дава възможност за достигане на фактор на мощността близък до единици и значително намаляване на нелинейните изкривявания в консумирания ток. Това прави този блок изключително важен, като неговите параметри имат значимо отражение върху цялостната функционалности и ефективност на устройството за заряд на акумулаторни батерии.

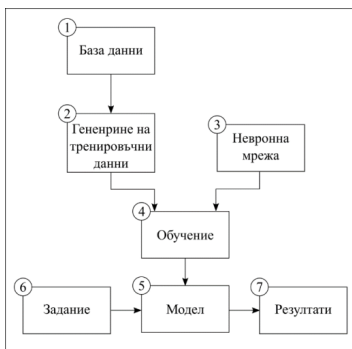
За реализацията на блока за корекция на фактора на мощността съществуват различни възможни топологии, като най-популярните включват:

- (1) Конвенционален PFC блок; (2) Базов безмостов PFC блок; (3) "Totem-pole" PFC блок;
- (4) Полумостов PFC блок; (5) Пълен безмостов PFC блок

Различните схеми имат различни предимства и специфични изисквания към компонентната база, като например – различни нива на електрическа ефективност, необходимост от специализирани транзистори базирани на силициев карбит или галиев нитрид, себестойност и т.н.. Това създава необходимост от използването на комплексни инженерни подходи при оценка на топологиите и подбора им при специфични входни параметри.

В този контекст се дефинира специализирано решение – подход, който позволява подбора на топология за реализиране на коректор на фактора на мощността за целите на високоефективен токозахранващ източник за управление на акумулаторни батерии. Решението предлага специализирана експертна система базирана на невронни мрежа. В същността си експертната система е класификатор,

които подбира най-подходящата схема на база на предварително генерирана база данни от решения подобрани посредством фитнес функция оценяваща различни предимства и недостатъци.



Фигура 2.7. Алгоритъм за избор на топология на двупосочен коректор на фактора на мощността

Алгоритъма в основата на предложената експертна система е представен на фигура 2.7. Той се дефинира от седем взаимно свързани блока, чието изпълнение и същност могат да бъдат описани както следва:

(1) База данни – при реализацията на алгоритъма се използват три основни бази данни:

а) База данни с детайлно техническо описание на електронни ключове – MOSFET и изправителни диоди. Параметрите на приборите са извлечени от каталожна информация посредством специализиран алгоритъм за събиране на данни. Базата данни включва над 3500 MOSFET и над 6800 диода в различни токово - напреженови обхвати.

б) и в) База данни с детайлно описание на магнитни компоненти и магнитни материали използвани за реализация на индуктори и трансформатори.

Използваните бази данни са налични в катедра ЕТМ, ТУ-Варна и са разработени от доц. Ангел Маринов при подготовка на предходни публикации свързани с изследване и проектиране на електронни преобразуватели посредством методите на изкуствения интелект.

Изводи към втора глава:

1. Предложен е специализиран алгоритъм за заряд на акумулаторни батерии. Алгоритъмът е базиран на управление на $\frac{dU}{dt}$ в разрядния импулс. Основно негово предимство е значително по-висока енергийна ефективност и съкращаване на времетраенето на зарядния процес, спрямо алтернативни съществуващи алгоритми.

2. Предложени са две решения за токоизточници за заряд на акумулаторни батерии. Първото решение представлява специализирано лабораторно устройство, а второто универсална топология която позволява лесното залагане на алгоритмите предложени в дисертационния труд, при комбиниране на различни блокове за постигане на желаните от потребителя параметри.

3. Предложен и верифициран е специализиран алгоритъм за избор на PFC модул част от токозахранващ източник за заряд на акумулаторни батерии. Алгоритъма се базира на

невронни мрежи и е със сравнително висока точност. Той дава възможност за лесна интеграция в компютърни и интернет базирани приложения.

Глава 3. Изследване и оптимизиране на автономни фотоволтаични системи

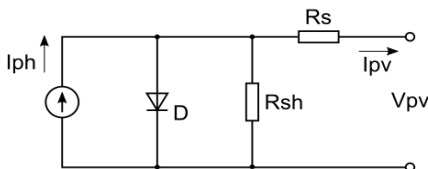
В съвременните автономни фотоволтаични системи и най-вече чрез по-новите контролери за заряд на акумулаторни батерии се използва качествена елементна база, която води до висока ефективност и ниска загуба на енергия. Ефективността е повишена с включване на MPPT алгоритми за повишаване на коефициента на полезно действие. При тях не е приложена патентно защитената технология на ст. н. с. д-р С. Гишин.

3.1. Моделиране на елементи на фотоволтаични системи

В изпълнение на задача 3 се предлагат серия от модели, които позволяват проектирането и изследването на системи за заряд на акумулаторни батерии при използване на фотоволтаични източници на енергия. Необходимо е да бъде създадена методология за симулиране и изследване на автономни фотоволтаични системи с и без прилагане на патентно защитената технология за заряд на акумулаторна батерия от ст. н. с. д-р С. Гишин.

3.1.1. Моделиране на фотоволтаични панели и извличане на информация за модела от техническата документация

Основен блок – като източник на енергия - в тези модели е фотоволтаичния панел. В съвременната техника се предлагат редица решения свързани с моделирането на фотоволтаични панели. Един от най-често използваните модели е този с един диод - Фигура 3.1.



Фигура 3.1. Модел на фотоволтаичен панел с един диод

При този модел тока I и напрежението V на панела се описват като:

$$I = I_{ph} - I_{sat} \cdot \left[e^{\left(\frac{V + IR_s}{V_{th} \cdot n} \right)} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (3.1)$$

където:

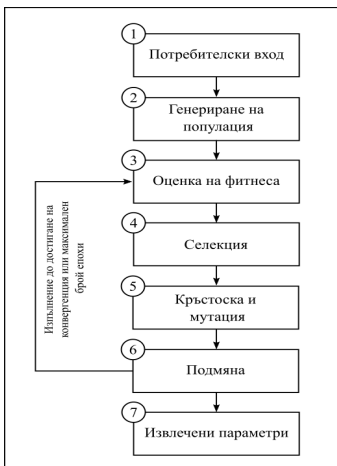
- I_{ph} е фототока,
- I_{sat} е тока на обратно насищане
- V_{th} е топлинното напрежение
- n е броя на последователно свързаните клетки на панела
- R_{sh} е последователното съпротивление на панела
- R_s е паралелното съпротивление на панела

Един от проблемите при изготвянето и работата с този модел е извличане на по-горе описаните параметри от техническата документация на реално съществуващи изделия. В съвременната литература са известни решения и алгоритми позволяващи аналитичното извличане на параметрите

необходими за формиране на модела от данните най-често включвани в техническите документация. Някои от тези решения включват .

В рамките на настоящата секция на дисертационния труд, автора предлага решение за извличане на параметри от техническата документация на фотоволтаични панели и залагането им в модел с един диод. Предложеното решение надгражда по-горе изложените и може да се свърже със следните предимства:

- Решението е реализирано посредством използването на популярен програмен език с отворен код – Python.
- Програмната реализация позволява лесното изграждане на графични и потребителски интерфейси чрез използването на „Jupyter Notebook“. Това се свързва и с решаването на задача 5.
- Решението предлага бърза изчислителна процедура и възможност за интеграция като интернет базиран инструмент.
- Сравнително висока точност
- Предложения алгоритъм позволява сравнително лесно прилагане и към по-комплексни модели – при корекция на фитнес функцията.



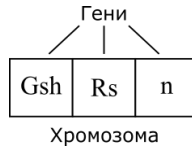
Фигура 3.2. Предложен алгоритъм за извличане на параметрите от техническа документация

Предложеният алгоритъм е базиран на генетичен алгоритъм, като блоковата диаграма свързана с изпълнението му е представена на Фигура 3.2. Алгоритъмът включва следните стъпки:

(1) Потребителски вход – задават се данните от техническата документация, специфични за разглеждания/разглежданите фотоволтаични панели/. Алгоритъм позволява както извличането на данните от един панел, така и от база данни включваща множество устройства. Необходимия набор от параметри свързани с потребителския вход, включват:

- N_s - брой последователно свързани клетки формиращи фотоволтаичния панел,
- I_{sc} – ток на късо съединение при референтни условия,
- V_{oc} – напрежение на празен ход при референтни условия,

- I_{mpp} – тока в максималната точка на мощността при референтни условия,
- V_{mpp} – напрежението в максималната точка на мощността при референтни условия,
- Температурните коефициенти за напрежението и тока.



Фигура 3.3. Предложен алгоритъм за извличане на параметрите от техническа документация

(2) **Генериране на популация** – на база на подадения потребителски вход се генерира популация „хромозоми“, където всяка хромозома чрез гените си представлява един от търсените параметри (Фигура 3.3). Всеки от гените в хромозомите се генерира на случаен принцип в следните лимити:

$$R_s = \left[0, \frac{V_{oc} - V_{mpp}}{I_{mpp}} \right] \quad (3.2)$$

$$G_{sh} = \left[0, \frac{I_{sc} - I_{mpp}}{V_{mpp}} \right] \quad (3.3)$$

$$n = [0, 2] \quad (3.4)$$

(3) **Оценка на фитнеса** – стъпката включва оценка на фитнеса за всеки един от членовете на генерираната популация. В предложеното решение се разглежда използването на три фитнес функции – f_1 , f_2 и f_3 . Разглежданите фитнес функции са получени в . При настоящия алгоритъм се разглежда точността и скоростта за изпълнение и изчисление при използване на f_1 и f_2 , както и квадратичната сума между двете фитнес функции представена като f_3 .

$$f1(R_s, G_{sh}, n) = I_{mpp} - V_{mpp} \cdot \frac{G_{sh} \left(\frac{I_{sc} - V_{oc} + I_{sc} R_s}{G_{sh}} \cdot e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s - V_{oc}}{V_{th} \cdot n}} + 1 \right)}{1 + R_s \cdot G_{sh} \left(\frac{I_{sc} - V_{oc} + I_{sc} R_s}{G_{sh}} \cdot e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s - V_{oc}}{V_{th} \cdot n}} + 1 \right)} = 0 \quad (3.5)$$

$$f2(R_s, G_{sh}, n) = I_{ph} - I_{sat} \cdot e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s}{V_{th} \cdot n}} - (V_{mpp} - I_{mpp} R_s) \cdot G_s - I_{mpp} = 0 \quad (3.6)$$

$$f3 = f1(R_s, G_{sh}, n)^2 + f2(R_s, G_{sh}, n)^2 = 0 \quad (3.7)$$

(4) **Селекция** – тази стъпка включва селекция на хромозоми които да бъдат кръстосани и подменени в следващата епоха на популацията. При построяването на алгоритъма са разгледани два основни подхода на селекция – селекция на принципа на рулетката и селекция на принципа на турнира.

(5) **Кръстоска и мутация** – За избраните чрез селекцията членове на популацията, се прилага кръстоска. Поради малката дължина на хромозомата най-удачно е използването на едноточкова кръстоска. В допълнение за да се избегне елитарност и спиране на алгоритъма в локален минимум, за определен брой, случайно подбрани членовете на популацията се прилага мутация на един от гените.

(6) **Подмяна** – Хромозомите получени чрез кръстоска и мутация, подмят на случаен принцип членове на популацията и формират следващата и епоха.

(7) **Извлечени параметри** – алгоритъта се изпълнява циклично до достигане на конвергенция на минимума на фитнес функцията или до изтичане на максималния брой епохи. За резултат се избира хромозомата с фитнес функция най-близка до нулата. Гените на избраната хромозома представляват параметрите необходими за формиране на модела.

Реализация на алгоритъта

Предложеният алгоритъм е реализиран чрез използването на Python. Формирани са функции за отделните стъпки на алгоритъта. Заключителните параметри избрани за реализацията на алгоритъта, при които се получават най-добри резултати, са представени в Таблица 3.1.

Таблица 3.1. Избрани параметри за генетичния алгоритъм

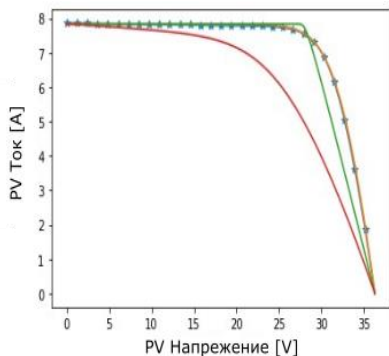
Параметри	Настройки
Брой на членовете в популацията	100
Селекция	Турнир
Кръстоска	Единична точка
Мутация	Единична точка
Подмяна	Случайна
Брой епохи	40

Резултати

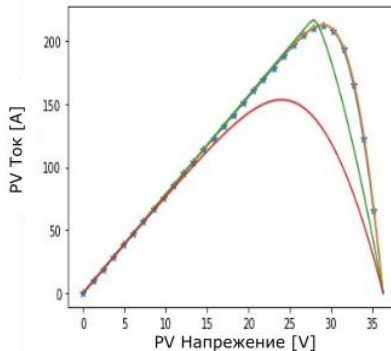
Реализирания алгоритъм е тестван, като е построена база данни включващи 50 фотоволтаични панела. Базата данни включва необходимото извлечение на параметри от техническите документации и параметрите необходими за формиране на модел извлечени от референтни бази данни. Първия набор от параметри се използва за тестване на алгоритъта, а втория за верификация и оценка на неговата точност. Пример за работата на алгоритъта е представен на Фигура 3.4 и **Error! Reference source not found.**, където е демонстрирано получаването на VI и VP кривите чрез използване на трите фитнес функции и референтните данни, разпределени както следва:

- Червено – фитнес функция f_1 ;
- Зелено - фитнес функция f_2 ;
- Синьо с маркер '*' – фитнес функция f_3 ;
- Оранжево – референтна стойност.

Представените графики са за фотоволтаичен панел LPC235SM-08 при ниво на слънчевата радиация 1000W/m^2 и температура 55°C . От графиките е видно че резултат с най-добра точност се получава при използването на квадратичната сума от фитнес функциите f_1 и f_2



Фигура 3.4. VI характеристика получена посредством предложения алгоритъм



Фигура 3.5. VP характеристика получена чрез

Средните резултати получени за изследването на петдесетте фотоволтаични панела е обобщено в Таблица 3.2, Таблица 3.3, Таблица 3.4 и Таблица 3.5, където първите три таблици представят точността на изчисления чрез модела ток и напрежение за трите фитнес функции и четвъртата таблица показва времената за изчисление при трите фитнес функции. От получените резултати могат да бъдат направени следните заключения:

- Най – висока точност се получава при използване на комбинираната фитнес функция. Използването на същата не увеличава времето за изчисление значително, спрямо останалите функции;
- Точността получена при използването на алгоритъма с фитнес функция f_3 е достатъчна висока и да необходимото ниво на апроксимация при което може да се счита че алгоритъма произвежда адекватни и приложими резултати.

Таблица 3.2. Резултати при използване на фитнес функция 1

Фитнес Функция 1	
Параметър	Средна точност
Точност при изчисления ток	95%
Точност при изчисленото напрежение	92%

Таблица 3.3. Резултати при използване на фитнес функция 2

Фитнес Функция 2	
Параметър	Средна точност
Точност при изчисления ток	70%
Точност при изчисленото напрежение	94%

Таблица 3.4. Резултати при използване на фитнес функция 3

Фитнес Функция 3	
Параметър	Средна точност
Точност при изчисления ток	97%
Точност при изчисленото напрежение	98%

Таблица 3.5. Време за изпълнение на алгоритъма

Параметър	Време
Време за изчисление при използване на фитнес функция 1	1.58s
Време за изчисление при използване на фитнес функция 2	1.47s
Време за изчисление при използване на фитнес функция 3	1.35s

3.2. Схема реализираща зарядно-разрядни цикли с две акумулаторни батерии в автономна фотоволтаична система



Фигура 3.1. Автономна фотоволтаична система с две акумулаторни батерии

Контролера за заряд изпълнява защитни функции, като изключва зарядния процес и консуматорите при различни аварийни режими. Регулира зарядния ток и напрежението. Програмируемото реле Meller е снабдено с аналогови и цифрови входове и изходи. То управлява включването и изключването на контактите си K1, K2, K3 и K4. Чрез K1 и K2 се управлява включването и изключването на зарядния процес на АБ1 и АБ2, а чрез K3 и K4 се управлява включването и изключването на разрядния процес на консуматорите. K5 служи за включване и изключване на консуматор, управляван от контролера за заряд.

Чрез програмируемото реле Meller се измерват постоянно напреженията на АБ1 и АБ2, изходното напрежение на фотоволтаичния панел, зарядния и разрядния ток на АБ1 и АБ2, токът през контакт K5. Следи се постоянно динамичния параметър du/dt . В момента, в който стойността му стане по-малка от предварително зададена стойност се изключва заряда на зареждания акумулатор и се включва заряда на другия акумулатор. (1 метод)

Персоналният компютър служи за осъществяване на мониторинг на произведената и заредената електрическа енергия. Комуникаторът CXI осъществява връзката между персоналният компютър и фотоволтаичната система, като осъществява обмяна на данни. Възможна е работата на схемата без включването на персонален компютър и комуникатор.

Възможен е втори метод, при който двете акумулаторни батерии са свързани в паралел. Тогава заряда се осъществява едновременно и на двете батерии. Следи се параметъра du/dt и на двете батерии. Когато параметъра du/dt на една от двете батерии стане по малък от предварително зададена стойност

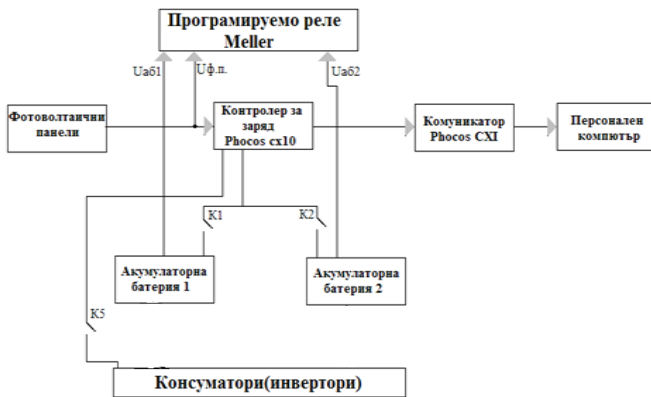
се изключва заряда и чрез контактите К1 или К2 и се включва към консуматор чрез контактите К3 или К4. По този начин се реализира разрядния процес. Налице са три цикъла:

Заряд на акумулаторни батерии 1 и 2

1. Заряд на акумулаторна батерия 1 и разряд на акумулаторна батерия 2
2. Заряд на акумулаторна батерия 2 и разряд на акумулаторна батерия 1

По този начин цялата произведена енергия от фотоволтаичните модули се използва за зареждането и на двете батерии. Режим, при който и двете батерии са изключени от контролера за заряд е аварийен и води до дефектиране на контролера за заряд. И двата метода при зарядно-разрядни цикли се за включване на две акумулаторни батерии.

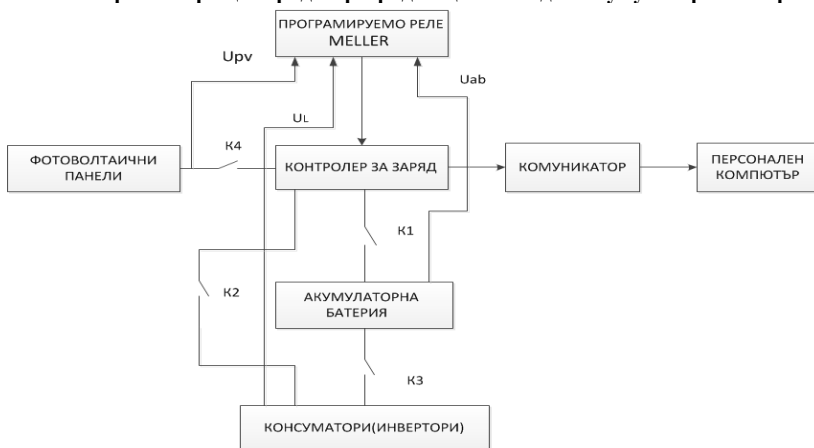
3.3. Схема реализираща зарядно-безтокови цикли с две акумулаторни батерии(вариант е на първата)



Фигура 3.2. Схема с две акумулаторни батерии със зарядно - безтокови цикли

При тази схема липсват контакти К3 и К4 от Фигура 3.42. В резултат липсва разряд на акумулаторните батерии през консуматори. Принципет на действие е аналогичен на схемата със зарядно-разрядни цикли, но вместо разряд след зарядния цикъл следва безтокова пауза. Аналогично са възможни двата метода с последователно и паралелно свързване на батериите

3.4. Схема реализираща зарядно-разрядни цикли с една акумулаторна батерия



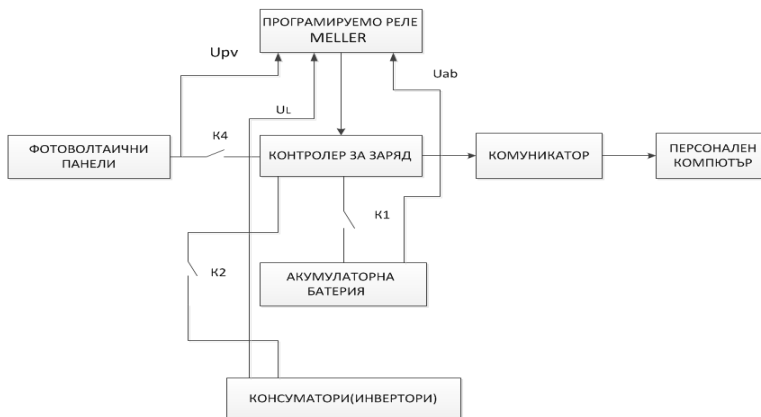
Фигура 3.3. Схема с една акумулаторна батерия

Контролера за заряд изпълнява защитни функции, като изключва зарядния процес и консуматорите при различни аварийни режими, регулира зарядния ток и напрежението. Програмируемото реле Meller е снабдено с аналогови и цифрови входове и изходи. То управлява включването и изключването на контактите си K1, K2, K3 и K4. Чрез K1 се управлява включването и изключването на зарядния процес на акумулаторната батерия, а чрез K3 се управлява включването и изключването на разрядния процес чрез консуматорите. K4 се използва за изключване на фотоволтаичните панели. Това се налага, тъй като изключена акумулаторна батерия и включен фотоволтаичен модул е аварийен режим за зарядния контролер. K2 служи за включване и изключване на консуматор, управляван от контролера за заряд.

Чрез аналоговите входове на програмируемото реле Meller се следи напрежението на акумулаторната батерия, изходното напрежение на фотоволтаичния панел, зарядния и разрядния ток на акумулаторната батерия, токът през контакт K2. Следи се постоянно динамичния параметър dU/dt . В момента, в който стойността му стане по-малка от предварително зададена стойност се изключва заряд на акумулаторната батерия, изключват се и фотоволтаичните панели от зарядния контролер.

Персоналният компютър служи за осъществяване на мониторинг на произведената и заредената електрическа енергия. Комуниторът CXI осъществява връзката между персоналният компютър и фотоволтаичната система, като осъществява обмяна на данни. Възможна е работата на схемата без включването на персонален компютър и комуникатор. Този режим е енерго по несефективен тъй като по време на разряда не се използват произведената енергия.

3.4. Схема реализираща зарядно-безтокови цикли с една акумулаторна батерия



Фигура 3.4. Схема с една акумулаторна батерия с зарядно - безтокови цикли

3.5. Изводи

Изследвани са три автономни фотоволтаични системи. Визуализирани са токоразпределения, външни характеристики, товарни характеристики, мощностни характеристики и енергийна ефективност при промяна на входно-изходните параметри. Коефициентът на полезно действие на контролер Steca PR1010 е по-нисък от контролер Out Back FLEX MAX 60. При определени условия достига стойности по-ниски от 80%. Коефициентът на полезно действие намалява при увеличаване на товарния ток и увеличаване на слънчевата радиация. Разработени и представени са MATLAB simulink експериментални модели на основните елементи изграждащи автономни фотоволтаични системи: фотоволтаичен модул, оловно-киселинна акумулаторна батерия и постояннотокови преобразуватели Buck, Boost и Buck-Boost converters. Показани са симулационни изследвания с представените модели. Резултатите са достоверни и съвпадат с теоретични, фирмени и експериментални данни. Разработени и представени са MATLAB simulink експериментални модели на оловно-киселинна акумулаторна батерия и цялостна автономна фотоволтаична система. Разгледани са стандартни и оптимизирани зарядни процеси с редуване на зарядно-разрядни и зарядно-безтокови цикли. Показани са симулационни изследвания с представените модели. Резултатите са достоверни и съвпадат с теоретични, фирмени и експериментални данни.

Разработените модели и резултатите от изследванията са основание да се използват при проектиране, оразмеряване и оптимизиране на автономни фотоволтаични системи.

Предложени и верифицирани са схеми с високоефективен заряден процес в автономна фотоволтаична система.

В резултат на експерименталните и симулационни изследвания са предложени четири нови схеми на автономни фотоволтаични системи по патентно защитената методика от ст. н. с. д-р С. Гишин за заряд на акумулаторни батерии. При тях са реализирани зарядно- разрядни цикли с постоянен ток и управление по електродинамичния параметър du/dt . По този начин се повишава енергийната ефективност на акумулаторната батерия, осъществява се икономия на електрическа енергия, реализира се десулфация на акумулаторната батерия и удължаване на живота ѝ.

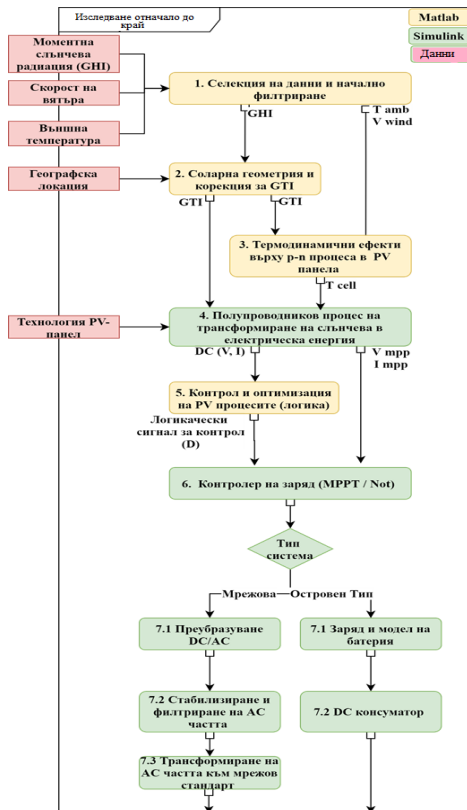
Глава 4. Моделиране, изследване и оптимизиране на фотоволтаични системи, използвайки метеорологични данни

4.1. Общ преглед и софтуерна архитектура

Задачата да се създаде подобен тестстенд за симулиране на процесите в една фотоволтаична система отначало до край е изключително сложна и включва множество процеси от различни дисциплини - от теоретична физика и машинно инженерство до силова електроника и софтуерно инженерство. Примерно разграничаване на тези процеси по дисциплини може да бъде видян на Фигура 4.1. Процесът започва с математически алгоритми за четене на многогодишни метеорологични данни и тяхното първично филтриране за избраната локация. Продължава през трансформиране на тези метеорологични данни към сумарната наклонена радиация GTI (Global Tilted Irradiance) и завършва с използване на прости термодинамични модели за изчисляване на вътрешната температура на фотоволтаичната клетка (Tcell) .

Веднъж изчислени за всяка една стъпка във времето, GTI и Tcell биват привеждани в Simulink модела, който от своя страна симулира полупроводниковите процеси и оттам захранва ел. силовата част от схемата. Крайните резултати от всички тези симулации вече се използват за различни анализи едновременно върху компонентите и върху системата. Всички горепосочени процеси са част от предложената методология. Те обаче също създават проблеми от софтуерна гледна точка, което пък от своя страна прави реконфигурирането, мащабирането и поддръжката на тези модели изключително трудно. За да минимизира цената и времето за промяна, реконфигурация и мащабиране, имплементацията на предложения алгоритъм е разбита на множество класове със стриктно заявени и документираны интерфейси помежду си. Като по този начин се избягва нуждата за верификация и валидация на останалите класове от програмата при промяна.

Подобна добра практика с помощта на MATLAB функции и Simulink Block Subsystems, позволява решаването на допълнителните проблеми следващи от увеличения комплекситет на предложената методология. Нещо повече, чрез сегрегирането на различните функции и блокове се създава възможността за независим анализ при промяна в компонент от системата от учени и студенти с различна експертиза и то само в областта им на компетентност.



Фигура 4.1. Примерно разпределение на процесите във фотоволтаични системи

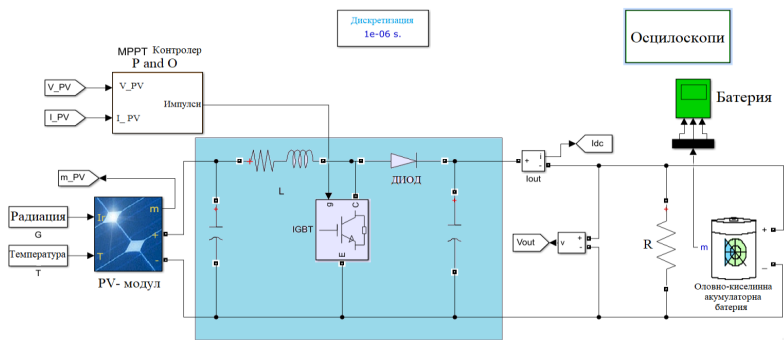
4.2. Изследване на енергийната ефективност на автономни фотоволтаични системи (Proof of Concept)

Цялостният алгоритъм започва с решаването на един основен проблем, а именно възможността за симулирането едновременно на процеси, изискващи висока времева резолюция като силовите компоненти в системата, и такива изискващи ниска резолюция, но пък имащи нужда от изключително продължителни периоди като многогодишни изследвания за енергийна ефективност. За комбинацията на тези две честоти, беше взето решение за изпробване на специфична дискретизация, симулираща само ограничен брой реални секунди за всяко измерване, но с пълната честота с порядък $\sim 1\text{-}5\text{e-}6\text{s}$. Подобна висока честота не позволява пълно многогодишно симулиране и затова трябва да се ограничи, като е взето решение да се използват определен брой секунди позволяващи системата да стигне до установен процес. По този начин след симулацията може да се анализират и разработват както преходните процеси и тези в силовата електроника като осцилограми и други, но и многогодишни такива като например цялостна енергийна ефективност на PV-системата за десетки години. Част 4.2 показва точно този процес като се фокусира върху автономна фотоволтаична система.

Трябва да се отбележи, че тестът не включва голяма част от анализите на данни, които не са интензивни компютърни/числени процеси и се фокусира най-вече върху Simulink силовата система. Показаните модели са симулирани със стандартна компютърна архитектура - Intel I7-7700k (2017r) и Intel I5-3230M (2013r).

Основните параметри на автономна фотоволтаична системата са изчислени чрез детайлно моделиране, базирано на реални метеорологични данни GHI. Допълнително на основание на получените резултати и техния анализ за автономна фотоволтаична система с повишаващ DC контролер са предложени препоръки за използването на типа на преобразувателя и алгоритъма на управление. Бяха създадени и симулирани два MATLAB Simulink модела за системи с и без масово използвани MPPT алгоритми на контрол. Беше изчислено, че годишното повишаване на енергийната ефективност базирана на имплементацията на MPPT контролер е 19%. Резултатите и препоръките от това изследване могат да бъдат използвани освен като доказателство за предложената методология, но и за подобряване на процеса на вземане на решения за проектиране на фотоволтаични системи от островен тип.

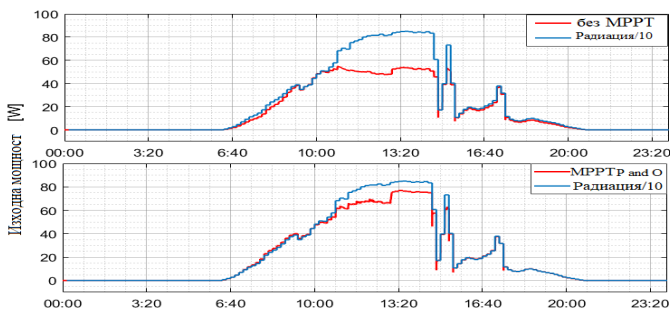
Контролът е постигнат чрез ШИМ генератор с вход D – или генериран от MPPT алгоритъм, или предварително зададена константна стойност за моделът без MPPT контролер. Цялостната силова електрическа схема, моделирана в Simulink, е представена на фигура 4.2.



Фигура 4.2. Matlab Simulink модел на PV-система от островен тип

Резултати: За анализирането на енергийната ефективност на предложената фотоволтаична система от островен тип, моделите са симулирани за 22 пълни дни, равномерно разпределени между 02.2012 - 01.2013. По време и след симулацията са наблюдавани и анализирани множество параметри, в това число на изхода на фотоволтаичните панели (V_{pv} , I_{pv} , P_{pv}), на изхода на Повишаващия преобразувател (V_{dc} , I_{dc} , P_{pv}) и състоянието на акумулаторната батерия (V_{bat} , I_{bat} , SoC).

Започвайки анализа с ефектите от имплементация на MPPT алгоритми, става ясно, че изходната мощност на системите с MPPT контролери се запазва близко до оптималната за тези метеорологични условия с постоянно променяща се слънчева радиация и вътрешна температура, Фигура 4.3. Това повишава тяхната енергийна ефективност в сравнение със



Фигура 4.3. Изходна мощност на системата за 11.03.2012г

4.2.1. Заключение и препоръки от тестовия случай

Изследванията доказват възможността за комбиниране на високочестотни процеси с такива изискващи дълги периоди дори със сравнително остарелия процесор на Intel I5-3230M. Освен това беше направен анализ на енергийната ефективност на фотоволтаични системи от островен тип чрез моделиране и симулиране на процесите в системата с реални целогодишни метеорологични данни от избрани дни през годината. Допълнително, чрез анализ на резултатите бяха изведени и препоръки за имплементацията на MPPT контролери за заряд в малки фотоволтаични системи от островен тип с повишаващ преобразувател за географския регион на Черноморието и по специално за Варна, България.

За изпълнението на тези задачи бяха разработени MATLAB Simulink модели съставени от два поликристални силициеви фотоволтаични панела, акумулаторна батерия, както и контролери за заряд с P&O, Incremental conductance и такива без контрол на коефициента на запълване.

Резултатите от симулацията за 22 пълни дни, равномерно разпределени през 2012г., показват средна енергийна ефективност от 8.95% и 8.81% за системите с MPPT контрол и съответно 7.55% за системата без подобен контрол. От това може да бъде заключено, че различните MPPT алгоритми имат подобни технически характеристики и повишават ефективността с 19% средногодишно.

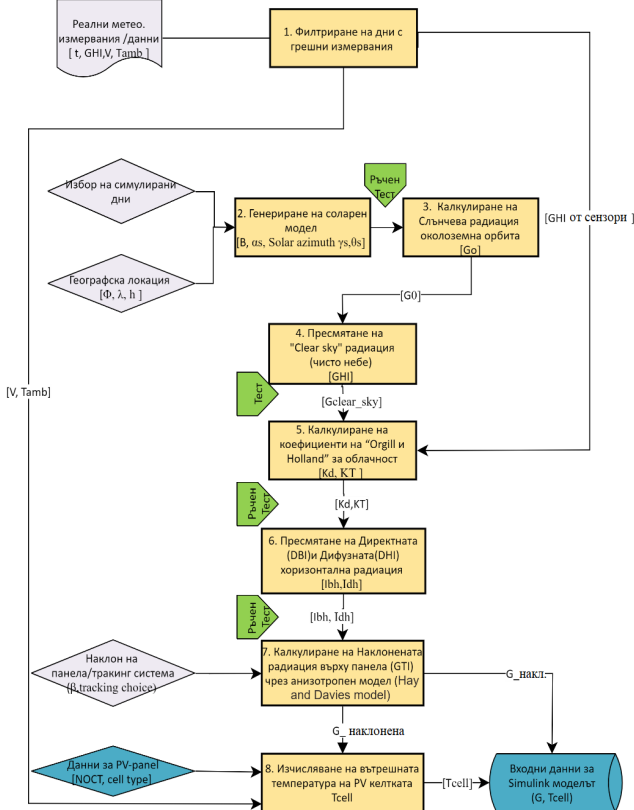
След изпълнение на прост линеен икономически модел за възвръщаемостта на инвестициите в MPPT контролер за заряд беше препоръчано използването му само при определени ценови диапазони. Авторите препоръчват изследването чрез подобна, но подобрена и автоматизирана процедура за моделиране и анализ на други географски местоположения в България и за други типове контролери за заряд.

4.3. Методология за моделиране, изследване и оптимизиране на фотоволтаични системи, използвайки метеорологични данни

Връщайки се към основната цел на тази глава, съставянето на модулна методология за симулиране на фотоволтаични процеси от начало до край, тук ще бъдат разгледани някои базови теоретични алгоритми и модели за всички стъпки, показани на Фигура 4.5, но този път с мрежови системи като валидация на възможността за лесна реконфигурация.

4.3.1. Избор на данни и изчисления на GTI

Както всеки модел, използващ експериментални данни, предложената методология първо оценява качеството на получените данни от пиранометри и други метеорологични уреди, виж блок 1 от Фигура 4.5. След това в зависимост от целите и входните данни, трябва да бъде изчислена количеството радиация падащо върху панелите или сумарната радиация върху наклонена повърхност (GTI). Тази втора задача бива извършена чрез детайлни интердисциплинарни модели - от орбитна механика до статистически регресивни модели или аерозолна физика. Примери за използването на такива модели за изчислението на GTI може да бъде видян на Фигура 4.5 в стъпки 2-7. Накрая, след стойностите GTI, се изчислява и вътрешната температура на фотоволтаичната клетка (Tcell), както бе показано в тестовия случай с NOCT-2p модела.



Фигура 4.5. Методология за обработка на метеорологични данни

Избор и QA Филтриране на данни

Многогодишните данни за сумарната хоризонтална радиация (GHI), външната температура (Tamb) и скоростта на вятъра (W) ще бъдат приети като минималните данни нужни за предложената методология. Въпреки това, авторът препоръчва избягване на цялостна процедура при наличие на дифузна (GDI) и директна радиация (DNI), чиято наличност, е рядкост. В такъв случай стъпки 4-6 могат да бъдат пропуснати и GTI ще бъде изчислен по-точно.

Въпреки че измервателният хардуер като пиранометрите и другите метеорологични сензори се recalibrate и проверява периодично, беше установено, че голяма част от многогодишните данни съдържат различни типове грешки. От литературни ревюта и от анализа на наличните данни може да

бъде заключено, че най-често срещаните дефекти са липса на измервания, нереалистично високи или ниски измервания на радиация, негативна скорост на вятъра или на хоризонталната радиация и не на последно място основният проблем при наличните данни – несинхронизирано време. Поради големината на базата данни и дългия период на измерване не е практически всички тези корекции да се извършват ръчно, затова някои автоматични решения бяха приложени, виж Таблица 4.1.

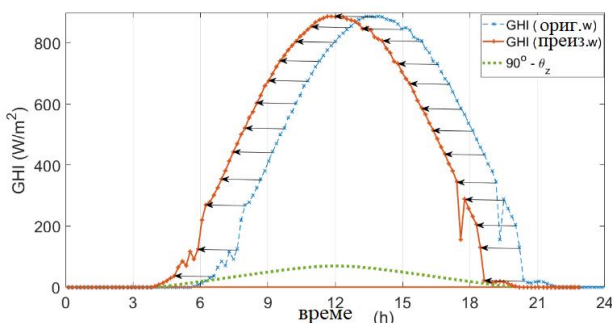
Таблица 4.1 Първоначално филтриране на дефектни данни

№	Тип Грешка	Предложено Решение
1	Липсващи данни (N/A)	-
1.1	Липса на GHI данни	Автоматично изключване на деня от базата данни
1.2	Друга липса (W, Tamb)	Използване на средната дневна стойност
2	Физически невъзможни данни	Филтър за над 1300W/m ² , 40m/c , -30C ; +45C
3	Несинхронизирано време	Автоматично синхронизиране посредством Clear Sky Model
4	Отрицателен W,GHI	Автоматично изключване на деня от базата данни
5	Други	Визуална инспекция на избраните данни

Най-интересна е автоматичната корекция на времевата стойност, която е важна за всички геометрични корекции и разлагане на радиацията на дифузна и директна. Първоначално се прилагат часови корекции за географската локация, отстояние от часова зона чрез астрономическото соларно време (w). За да бъде извършена тази корекция, първо астрономическия соларен модел трябва да бъде калкулиран с най-важен за случая слънчев зенит (θ_z) и соларно време (w).

Това, за съжаление, не винаги е достатъчно и несинхронизация по други причини също е налице. Голяма част от тези GHI, които биха били филтрирани от горепосочения алгоритъм обаче са безгрешни, с единственото изключение на техния час. Следователно е приложен алгоритъм, който премества целия набор данни за проблемния ден напред или назад с няколко минути. По дефиниция θ_z е между -90° и $+90^\circ$, когато слънцето е над хоризонта. Следователно, кодът автоматично открива дните с несъответствие между времевите марки и GHI измерванията, като търси положителни GHI измервания, когато слънцето е под хоризонта, добавяйки толеранс от 3° (12мин) за отчитане на явления като отражения и дифузна радиация в облачни дни.

Пример за комбинацията от корекции към астрономическо време и 10мин разсинхронизация, може да бъде видяна на Фигура 4.6, за да разпредели първото измерване на GHI към изгрева или $\theta_z = -90^\circ$. Тук основната разлика идва от лятното часово време и отстоянието на Варна от географския $+30^\circ$ меридиан. Тъй като това решение работи за мнозинството, но не през всички дни - по-късно тези дни и верността на данните им се проверяват визуално и ако е необходимо, се филтрират.

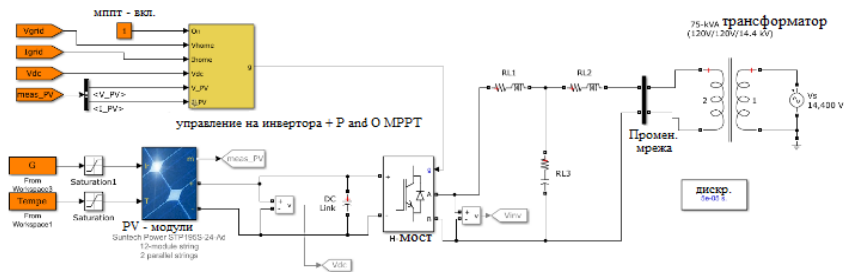


Фигура 4.6. Примерна корекция на несинхронизирано време

4.4. Спомагателни функции за реконфигуриране на системата – LCL filter

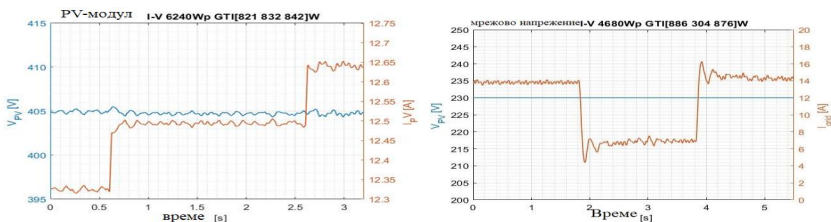
Частта от системата с ниско променливо напрежение е с 230V RMS - 50 Hz и изисква филтриране на хармониците, създадени от преобразувателя на напрежение. Това ограничава и реконфигурирането, мащабирането и симулацията на подобни системи от експерти извън сферата на силовата електроника. Главният проблем идва от нуждата за филтриране на хармониците, получени от зависимия инвертор. LCL филтърът след него изпълнява тази роля, но и трябва да бъде настроен спрямо предполагаемата мощност P , напреженията на входа и изхода на преобразувателя, честота на AC частта от системата и честота на моста и други. Именно тук имплементацията на методологията предложена от Sieng, 2014 за оразмеряване на LCL филтър решава тези проблеми и позволява постигането на главните цели – лесно-конфигурируема и лесно преоразмеряване.

При дневните стойности на AC частта мощностите могат да бъдат видени на Фигура 4.8, където Юни 2012г. се наблюдава ден с почти идеална Чисто небе „Clear Sky“ хоризонтална радиация, но с голямо и краткосрочно засенчване в 19:00. Тук по-значителен резултат е разликата между системите с и без следене на слънчевия зенит. Графиките от резултатите във Фигура 4.20 и увеличаването на мощността в сутрините и вечерите (висок азимут) от до 80% от максималната дневна мощност подсказва правилното държане на математическите алгоритми за трансформация на GHI в GTI спрямо тези в литературата[13]. Разбира се при тези гранични изгрев/залез периоди, всяко малко ъглово отклонение или грешка на Чисто небе модел биха имали осезаема разлика в GTI и оттам в крайната мощност на системата.

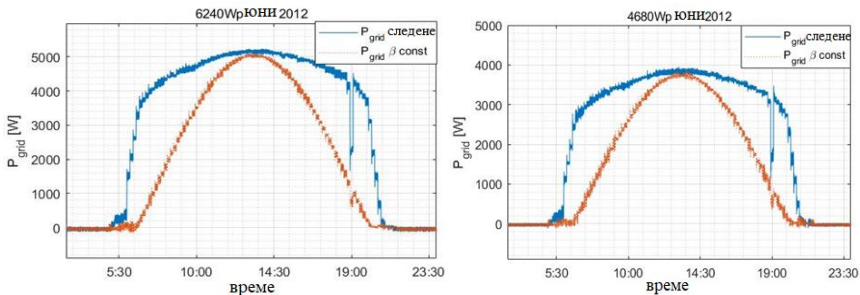


Фигура 4.7. Примерна имплементирана схема за PV-система свързана с мрежата

Друг наблюдаван феномен е наличието на първоначален малък преходен процес (пик) на мощността, който след това стига до непреходен установен процес чрез MPPT и LCL филтър. Тези пикове са по-високи при изгрев и залез за системата с 2-осово проследяване поради по-рязката смяна на GTI и оттам се препоръчва да се настрои симулационното време отговарящо на 1 метеорологично измерване при проучвания на ефективността на нови MPPT алгоритми например, или други подобни компоненти.



Фигура 4.8. Краткосрочни симулации с 3 различни GTI



Фигура 4.9. Дневни мощности в АС-частта на системата през лятото

Многогодишните процеси от друга страна са в основата на всички анализи на фотоволтаични системи. Тук възможностите са безгранични, тъй като в системата се запазват всички I, V, P, Q, RMS стойности на изхода от фотоволтаичните панели, след инвертора (пред и след филтъра) с дискретизация на симулацията. В случая беше решено да се покаже една от възможните ефективности - тази на DC частта от системата Ppv/GHI за всички 4 симулирани системи и всички 60 дни. Очаквано и двете системи с проследяване са до 2 пъти по-ефективни от техните еквиваленти с постоянен наклон.

Изключение правят зимните месеци, където като цяло се наблюдава доминантно дифузна радиация GDI (Ноември, Декември, Януари). При всички случаи обаче това са дни с пренебрежителен енергиен потенциал и не би следвало подобни многогодишни симулации да се фокусират върху тях. Отново се наблюдават и процесите подсказани с намаляване на ефективността на PV-панелите през летните месеци заради по-високата Tcell. Както може да се види на графиките и двете системи от еднакъв тип на проследяване се характеризират с подобни ефективности на PV-процеса, което подсказва и възможността за мащабиране и рекалибриране на моделите.

В заключение може да се отбележи, че предложената методология ще е подходяща както за анализ на кратки високочестотни процеси, така и на многогодишни такива с цел оразмеряване или симулация на цялостни фотоволтаични системи. Допълнително бяха генерирани ефективности на преобразователния процес от 96-99% в различните системи. Възможността бързо конфигуриране и преоразмеряване е също показана и подходяща за инженери без специално ниво на познаване на процесите в силовата електроника, използвайки допълнителните инструменти за LCL-оразмеряване.

4.5. Идентифицирани грешки и Методология за подобряване на точността на GTI и соларния капацитет

При разработването на горепосочената методология, възможните компютърни грешки бяха анализирани за дългосрочното многогодишно изчисляване на енергийната ефективност на цялостната система от начало до край. Двата най-сериозни източника на тези грешки бяха определени като дискретизацията на времето, показано в примера от Секция 4.2, и моделите за „Чисто небе“.

Времето дискретизиране и в частност броят симулирани секунди за всяко метеорологично измерване е директна функция от дължината на времевия период и наличната изчислителна мощност. Въпреки, че е теоретично възможно паралелизиране на Simulink модела, това изисква пренаписване на PV-агря модела и не би позволило правилното симулиране на зарядно-разрядните цикли на батерия в системата. Именно затова и тази паралелизация не е имплементирана. Въпреки това имплементацията позволява и се препоръчва увеличаване на броя симулирани секунди за всяко измерване над 10 при наличие на изчислителна мощност. При достигане на стойности от 20с за всяко измерване, може да се смята, че грешките в MPPT контролера ще бъдат пренебрежими.

Най-голямата относителна грешка в цялостния модел, в порядъка до ~10-15% за някои модели, е това на моделът на „**Чисто небе**“. През последните десетилетия бяха разработени множество прости параметрични модели с обща цел за съставянето на един универсален с възможност за симулиране на GHI в безоблачно небе. Както вече беше показано в Секция 4.2, тези стойности са изключително важни за калкулацията на небесната честота(kt) като част от трансформирането на GHI метеорологично измерване в GHI.

Опростените модели като Робledo и Солер, Инчечен и Перез, Хоттел, се използват при разработването на софтуер за първоначално оразмеряване на PV системи, изчисляване на енергийната ефективност, калибрация и най-вече соларен потенциал на определена локация като в сотуера – PV-Syst. За подобни модели множество параметри като „Linkie Turbidity“(TL) например са приети за константа за всички локации, всички сезони и абсолютно независимо от локалните метеорологични особености. В същото време през последните години беше доказано високата сензитивност на тези модели към горепосочените променливи като локацията, локален климат, височина и др. (Repo et al., 2014.). Нещо повече всички такива модели са създадени с цел за сравнително точно изчисление на цялостния потенциал, но са изключително неточни в краткосрочни периоди и в точност при високи зенитни ъгли (θ). Тези ъгли са доминантни през зимните месеци и затова тези модели са донякъде неподходящи за използване или предвиждане на фотоволтаичен потенциал в краткосрочен период.

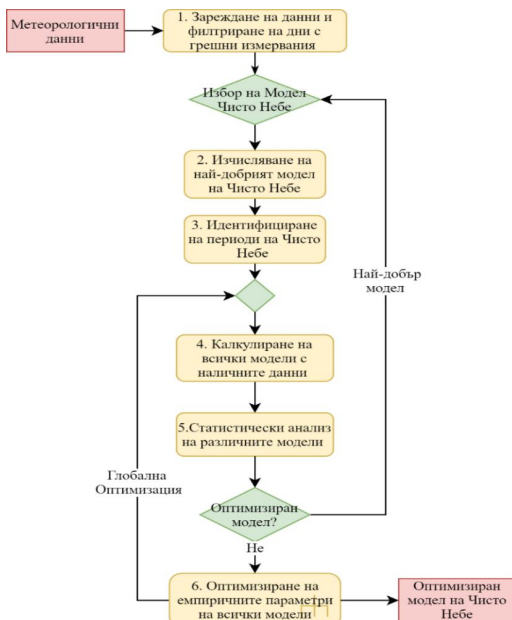
За да се пребори с този проблем, този доклад се фокусира върху съставяне на методология (workflow), позволяващ всеки учен или инженер да подобри ефективността на подобни параметрични модели на Чисто Небе чрез налични данни само и единствено за GHI. Подобни измервания са налични от множество източници в България и по света, в това число НИМХ, Система за контрол качеството на атмосферния въздух в реално време, ESA и други. Като второстепенна задача може да се определи валидацията и подобряването на качеството на моделите за Североизточна България, чрез изпълнение на цялата методология за данните от ТУ Варна.

4.5.1. Методология

Като първа стъпка към поставените цели е създадена методология, която може да бъде видяна на Фигура 4.10. Първата стъпка в методологията е абсолютно идентична на Секция 4.2.1 и включва зареждането, филтрирането и изчистването на грешките в метеорологична многогодишна база данни. Затова и няма да бъде детайлно обяснена в тази секция. Следващата стъпка изисква идентифицирането на регионите от данните с безоблачно небе („Чисто небе“). Това е постигнато като сравнение на GHI измервания с най-добрият наличен модел на „Чисто небе“, първата им производна и други статистически лимити. (итеративно).

Фигура 4.10. Алгоритъм на методологията

Веднъж идентифицирани, всички други налични модели могат да бъдат изчислени и чрез статистически анализ. Новостта в дадената методология е оптимизация на избрани емпирични



параметри от моделите и намаляване на грешките както за цялостния период, така и за тези периоди с висок зенитен ъгъл.

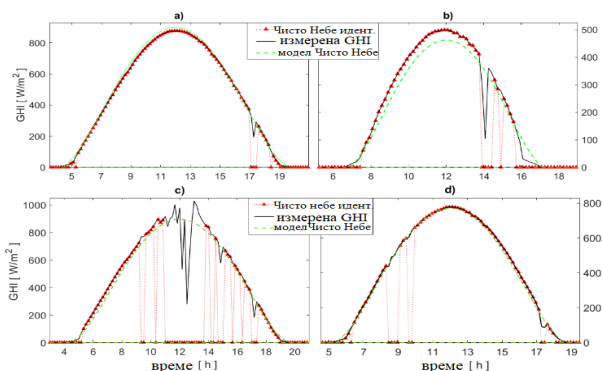
4.5.2. Идентифициране на период с „Чисто Небе“

Тъй като метеорологичните станции запазват измерванията в непрекъснати стъпки, нуждата от идентификация на периодите с чисто небе от тези с облачност, отразявания или грешки на самите пиранометри е установена. Най-точен начин за това би било използване на директната слънчева радиация (DNI) и GHI. За съжаление, в повечето случаи такава не е налична и затова алтернативен метод е приложен. Той е модификация на предложения от Рено [132], с допълнително лимитиране на максималната абсолютна разлика от най-добрия наличен Clear Sky модел от 12.5% за всяко едно измерване. Както е показано в последствие, най-добрият от имплементираните алгоритми за условията на Варна, България, е този на Hottel, който е обяснен в детайли в следващата секция. За всички филтри и критерии за идентифициране, виж таблица 4.2, като е важно да се уточни, че „пълзачия прозорец“ е сформирани от 4 измервания или 40 мин в реалността.

Таблица 4.2. Гранични критерии за идентификация на периоди с чисто небе

Сравнителен критерии между GHI и Clear Sky	Праг
Δ Средно от пълзачия прозорец	60 W/m ² or $\pm 10\%$ GHI
Δ Максимум от пълзачия прозорец	70 W/m ² or $\pm 10\%$ GHI
Максимална абсолютна грешка / единичен отчет /	80 W/m ² or $\pm 12.5\%$
Δ Скорост на промяна на GHI /единичен отчет/	± 12.5 W/m ²
σ от пълзачия прозорец	< 40
Рефракции, разсейване при ниско θ_z Филтър	[-85° ; + 85°]

След прилагането на идентификационния алгоритъм, бяха намерени 22349 измервания или 3725 часа от филтрираните данни между 2012-2016г., което кореспондира на 24% от дневните измервания за Варна, България. Пример, показващ резултатите от приложените филтри, може да бъде видян на Фигура 4.11. a-d за различни дни от всички сезони (β , θ_z) с ниски и високи стойности на GHI и различни облачни условия.



Фигура 4.11. Демонстрация на идентифициране и филтриране на облачен период с такива на чисто небе

Друго важно нещо може да бъде отчетено особено на Фигура 4.11b, а именно разликата между моделът на „Чисто небе“ и реалните метеорологични измервания през зимата, които достигат 3-7%. Това валидира нуждата от оптимизация и подобряване на тези модели. Тези фигури показват и оптималния избор на гранични критерии от Таблица 4.2, дори и при неточни модели на Чисто небе.

Периоди с разкъсана облачност са също добре филтрирани, виж Фигура 4.11c около 12:00 астрономическо време. Също така може да бъде валидирано и успешното използване на численото диференциране на GHI – 9:30 на Фигура 4.11c и 17:20 Фигура 4.11d, където въпреки че отговарят на всички останали критерии, първата производна с лимит $\pm 12.5 \text{ W/m}^2$ успява да филтрира отклонения. Трябва да бъде отбелязано, че това диференциране не се отнася за целият пътлящ прозорец, а само определеното GHI измерване.

Не на последно място, разпределения на идентифицираните периоди с безоблачно небе са важни за предстоящия оптимизационен процес. След идентификация и филтрирането се наблюдава равномерно разпределение (максимум отклонение от 23% за плътността), с две малки изключения около $30\text{-}70 \text{ W/m}^2$ и $> 900 \text{ W/m}^2$. Затова и може да се заключи, че от гледна точка на GHI няма нужда от допълнително нормализиране и преразпределение.

Това, за съжаление, не се отнася за разпределението на данните спрямо дни от годината и различни сезон. Безоблачните измервания са до 4 пъти по-повече през летните месеци отколкото през зимата и есента. Оставайки дата базата по този начин, би довело до недостатъчна данни през тези месеци и оттам валидиране, оценка и оптимизиране на моделите към ниски стойности на зенитния ъгъл θ_z . Затова беше взето решение да се използва към постигане на равномерна разпределение спрямо θ_z .

4.5.3. Избрани модели за Чисто Небе

За целта на валидацията няколко варианта за Чисти Модели бяха имплементирани - Хоттел, Кастен, Робledo и Солер. Основната причина за избора на тези модели е широкоразпространеното наличие на нужните метеорологични параметри. Авторът признава, че по-комплексните модели като BIRD, REST2, MAC ще произведат по-точни резултати но параметрите като O₃, NO₂, коефициент на отражение на земята и други са практически недостъпни в общия случай и непрактични за началните стъпки за оразмеряване и анализ на соларния потенциал на PV-система. Трябва да бъде споменато обаче, че чрез подобряването на достъпа до безплатни метеорологични сателити, подобна методология може да бъде имплементирана като част от автоматично оразмеряване и избор на локация за фотоволтаичен потенциал. Бележка: за използване на методологията е нужна информация за зенитния ъгъл θ_z за всяко едно измерване. Това вече бе показано в Секция 4.2.

Най-простият имплементиран модел е този на Робledo и Солер (Robledo and Soler) 2000, който взема под внимание единствено зенитния ъгъл и 3 имперични, но константни параметъра.

$$GHI_{RS} = 1159.24 \cos(\theta_z)^{1.179} \exp(-0.0019 (\frac{\pi}{2} - \theta_z)) \quad (4.1)$$

Вторият алгоритъм, (**Хоттел 1976**), използва зенитния ъгъл (θ_z), локалната надморска височина и емпирични уравнения за изчисление на директаната радиация и в точност коефициент на пропускане на директната радиация (τ_b), виж Уравнение 4.2-7. Параметрите a_0, a_1, k се калкулират като функция от локалната надморска височина в км (h) и емпирични коефициенти за надморска височина под 2.5км. За да се отбележи и влиянието на различните типове климати и сезони, корекция е приложена през зимните месеци за Умерен Климатичен пояс от 1.03 и 1.01 съответно за a_0 и a_1 . [93] Така емпирични параметри се използват за определяне на коефициентите на дифузната слънчева радиация. [31]

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp(\frac{-k}{\cos \theta_z}) \quad (4.2)$$

$$\tau_d = 0.271 - 0.294 \tau_b \quad (4.3)$$

$$GHI_{Hottel} = G_{on} \cos \theta_z (\tau_b + \tau_d) \quad (4.4)$$

$$a_0 = 0.4237 - 0.00821(6 - h)^2 \quad (4.5)$$

$$a_1 = 0.5055 - 0.00595(6.5 - h)^2 \quad (4.6)$$

$$k = 0.2711 - 0.001858(2.5 - h)^2 \quad (4.7)$$

Третият модел, е този разработен от **Кастен** . През годините алгоритъмът е модифициран множество пъти, като резултат от тези модификации е известен като Innechen and Perez. Кастен калкулира GHI базирано на локалната надморска височина (h) в метри, зенитния ъгъл (θ), но най-важното взема под внимание коефициентът абсорбиране и разпръскване на светлината при чисто небе (Linkie Turbidity factor(TL)) и атмосферната маса (AM). За разлика от присъщия комплекситет при определянето на стойностите на TL и високата дисперсия от локалния климат и аерозолните замърсители, изчисляването на атмосферната маса е сравнително лесно, виж Уравнение 4.8, както е представено от Кастен и Йонг.

$$AM = 1/[cos\theta_z + 0.50572(96.07995 - \theta_z)^{-1.6354}] \quad (4.8)$$

Веднъж атмосферната маса е намерена, тя може да бъде приложена в моделът на Кастен чрез Уравнения 4.32. - 4.34. Трябва да се отбележи, че бяха използвани стандартни TL = [2.3, 2.2, 2.0, 1.9, 2.5, 2.7, 3.1, 2.9, 2.4, 1.9, 2.6, 2.1] за всеки един месец от годината.

$$f_{h1} = e^{(-h/8000)} \quad (4.9)$$

$$f_{h2} = e^{(-h/1250)} \quad (4.10)$$

$$GHI_k = 0.84 I_0 cos(\theta_z) e^{-0.027AM(f_{h1} + f_{h2}(TL-1))} \quad (4.11)$$

4.5.4. Валидация и оптимизация

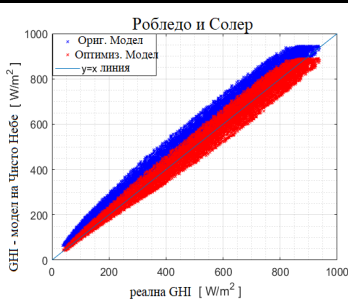
Веднъж имплементирани в Матлаб, вече е възможно да бъде оценена точността на моделите за локацията на ТУ Варна чрез набор от статистически параметри. За годишна ефективност (дълготрайна) са използвани някои класически статистически инструменти - RMSE, MAE, R2. Този избор беше базиран главно на възможността за сравнение на резултатите с други валидационни изследвания като тези на, (Reno et al., 2014.)

След това с подобряване на точността на моделите в дългосрочен план точно на определената локация е направен детайлен подбор на емпиричните параметри за оптимизация и подходящ оптимизационен алгоритъм. Различителен белег на предложения метод е целта за подобрене не само на годишната точност на соларен потенциал, но също така краткосрочната (минути и часове) прогноза за GHI чрез намаляване на грешката и при високи зенитни ъгли.

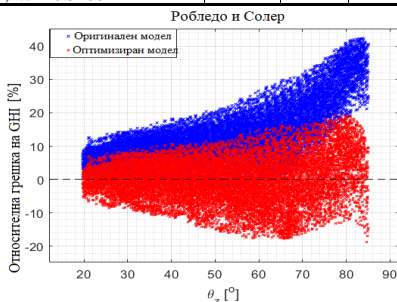
Имплементиран беше вграденният алгоритъм в Matlab за генетичен алгоритъм (GA) поради възможността за паралелизиране на процеса за всяка генерация, което ускорява процеса значително при по-голям брой оптимизационни параметри. След всяка генерация се наблюдава стойността на Mean Absolute Error (MAE), вместо често определяната за критерий за целогодишна точност на моделите RMSE. Това беше прието за по-точен статистически инструмент поради натуралната висока дисперсия на GHI, влияеща се от всякакви външни феномени. Толерансът на оптимизацията беше сложен на 1e-3 или 80 генерации, като това беше достатъчно за постигане на асимптотна сходимост при тестваните данни. Допълнително в разработения софтуерен инструмент бяха внедрени и други статистически параметри като MSE, SSE, R2, RMSE, с които лесно може да бъдат модифицирани както валидацията, така и оптимизацията спрямо целите на крайния потребител. За максимално удобство на крайния потребител на резултатите за Североизточна България, бяха симулирани и валидирани както оригиналната база данни (подходяща за целогодишен потенциал), така и ренормализираната (подходяща и за краткосрочни прогнози).

По-детайлен анализ точността на този най-прост модел на **Робledo и Солер** може да бъде видян на Фигура 4.13, където той показва константно завишаване на стойностите на GHI. От друга страната относителната грешка срещу зенитния ъгъл се увеличава константно с доближаването на слънцето към земната повърхност (θ_z увеличение), стигащо до ~35% около изгрев и залез. Това е в потвърждение на други валидационни трудове за мнозинството модели на чисто небе. Въпреки че GHI стойностите са незначителни за многогодишния соларен потенциал, тази грешка би генерирала големи последствия за прогнозирането и управлението на бъдещата Умна Европейска мрежа (European smart grid system). Актуализираният модел подобрява тези характеристики драстично до ниво, където се наблюдава идеално равенство между модела и данните през лятото виж Фигура 4.15. Единственият недостатък, който беше наблюдаван е около обяд на зимните месеци, виж Фигура 4.16.

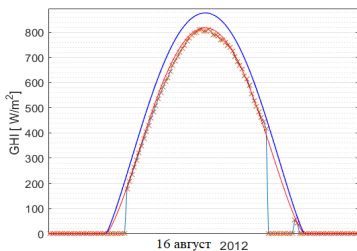
Модел	Данни	Настроени параметри	RMSE	MAE	R2	% RMSE Подобрени
(Оригинални)	Ренормализирани	a01= 0.4237; a02= 0.00821; a11= 0.5055;	22.18	17.35	0.9931	-
		a12=0.00595; k1=0.2711; k2 = 0.01858				
		td1= 0.271; td2=0.294				
(Настроени)	Ренормализирани	a01= 0.429; a02= 0.00759; a11= 0.4844;	21.71	16.88	0.9933	2.1
		a12=0.00605; k1=0.2448; k2 = 0.01697				
		td1= 0.2555; td2=0.309				
(Оригинални)	Оригинални	a01= 0.4237; a02= 0.00821; a11= 0.5055; a12=0.00595; k1=0.2711; k2 = 0.01858 td1= 0.271; td2=0.294	23.262	18.61	0.9903	-
(Настроени)	Оригинални	a01= 0.4500; a02= 0.0080; a11= 0.4803 a12=0.00594 ; k1=0.2441 ; k2 = 0.01726 td1= 0.261; td2=0.3188	22.694	18.05	0.9906	2.4



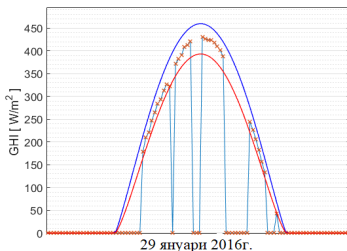
Фиг. 4.13 Преди и след оптимизация



Фиг. 4.14 Относителна грешка % GHI и θ



Фиг. 4.15 Преди(синьо) и след(червено) оптимизация



Фиг. 4.16 Преди(синьо) и след(черв.)

Създаденият софтуерен инструмент в Матлаб беше използван за 3те модела - Robledo and Soler, Kasten и Hottel с базата данни на ТУ Варна. Резултатите от валидацията показват, че Кастен не е подходящ за тестваните метеорологични особености, както за кратки прогнози, така и за многогодишен соларен потенциал, докато оригиналните Робледо и Хотел могат да бъдат използвани за многогодишни периоди. Оптимизираният модел на Hottel беше определен като най-удачен за Североизточна България от гледна точка и на RMSE и MAE. Най-малка MAE на този модел беше открита, което се потвърди и от визуален анализ на произволни дни през годината. С тази оптимизация, моделът може да бъде определен като превъзхождащ всички тествани и за кратки и за дълги периоди.

НАУЧНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно- приложни приноси

(1) Предложено и реализирано е ново решение, предлагащо алгоритъм за заряд на акумулаторни батерии. Алгоритъмът е базиран на управление на $\frac{dU}{dt}$ в разрядния импулс. Основно негово предимство е значително по-висока енергийна ефективност и съкращаване на времетраенето на зарядния процес, спрямо алтернативни съществуващи алгоритми.

(2) Предложен е алгоритъм за автоматизиран избор на електронни схеми - блокове част от високоефективни ключови електронни схеми за заряд на акумулаторни батерии. Алгоритъмът е базиран на техники на изкуствения интелект и позволява заместване на човешкия труд в някои от етапите на проектиране на електронни схеми.

(3) Предложен е алгоритъм за бързо генериране на параметри при моделиране на фотоволтаични панели, чрез използване на информация от техническа документация. Алгоритъмът позволява висока точност при използване на минимален изчислителен ресурс.

(4) Предложени и верифицирани са модели за компютърен анализ при изследване на системи за високоефективен заряден процес в автономни и мрежово свързани фотоволтаични системи. На база на моделите и изследванията с тях са предложени две топологии на автономни системи за заряд на АБ.

Приложни приноси:

(1) За верификацията на предложения алгоритъм са реализирани три специализирани програмируеми токоизточника с микропроцесорно управление за заряд, електроформиране и въвеждане в работно състояние на акумулаторни батерии. Източниците могат да бъдат използвани както в специализирани лаборатории така и като лесно конфигурируеми токоизточници за заряд на АБ.

(2) Предложен и разработен е модул, лесно-конфигурируем подход за моделиране и аналитична оценка на фотоволтаична система. Подхода използва арбитарен тип метеорологични данни и включва множество процеси - от геометрични соларни модели и корекция за сумарната радиация върху наклонена равнина (GTI) до анализ на полупроводниковите процеси на фотоволтаичната клетка и последвалата силова електроника/електротехника. Изграден и валидиран е алгоритъм за подобряване на точността на стандартни методи за „Чисто небе“ и съответно потенциал на слънчева радиация чрез генетична оптимизация.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

[Д.1]. Светлозар Захариев, Димитър Димитров „Устройство и алгоритъм за ефективно зареждане на акумулаторни батерии с микропроцесорен контрол“, ”Юбилейна научна сесия-2008”гр Добрич „Годишник на ТУ_ВАРНА том1”стр110-116,ISSN:1311-896X.

[Д.2]. Захариев, Св., Ст. Гишин, Д. Димитров, “Една възможност за оптимизиране на заряда на акумулаторна батерия в автономна фотоволтаична система“, сп. „Известия на Съюза на учителите-Варна“ ISSN 1310-5833, стр. 102-105, 2012г.

[Д.3]. Захариев Св., Д. Димитров, „Изследване на автономни фотоволтаични системи“, Годишник на ТУ Варна, том I, Сборник доклади, стр. 120 – 125, 2013г.,ISSN:1311-896X.

[Д.4]. Захариев Св., Вл. Демирев, Ст. С. Гишин, Д. Димитров, „Моделиране и изследване на автономни фотоволтаични системи с оптимизиране на зарядния процес“, Годишник на ТУ Варна, том II, Сборник доклади, стр. 64 – 69, 2013г.,ISSN:1311-896X.

[Д.5]. S. K. Zahariev, K. S. Kirilov and M. I. Alexandrova, „Energy performance modeling of a stand-alone PV system using real meteorological data,“ 2017 XXVI International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/ET.2017.8124330.

[Д.6]. Zahariev S. „Validation and Optimisation of Common Clear Sky Models with a use case for North-East Bulgaria“ – 2021г. годишник на ТУ-Варна, vol. issue 1(2021) 5 ,ISSN 2603-316X

[Д.7]. Angel Marinov, Svetlozar Zahariev, Ivelin Ivanov, Toncho Papanchev, „Genetic Algorithm for Generation of PV Panel Curves From Datasheets“, 2021 17-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA202, 1 - 4 July 2021

[Д.8]. Angel Marinov, Svetlozar Zahariev, Ivelin Ivanov, Svilen Simeonov, „Single Phase PFC Topology Selection Based on Neuron Network Algorithms“, 2021 17-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA202, 1 - 4 July 2021

РЕЗЮМЕ ПО ДИССЕРТАЦИИ

Для присуждения образовательной и научной степени „доктор“

ТЕМА: ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Аспирант: маг. Инженер Светлозар Кирилов Захариев

Настоящая диссертация посвящена анализу, исследованию и применению высокоэффективных электронных схем, методов и алгоритмов управления зарядом аккумуляторных батарей, где основным источником является электрическая сеть переменного тока и / или фотоэлектрическая установка. Рассмотрена разработка электронных источников питания с улучшенными параметрами - эффективность, качество потребляемой электроэнергии, эффективность заряда АБ с целью продления их срока работы и улучшения процесса зарядки. Диссертация охватывает синтез и моделирование электронных схем и их алгоритмов, а также детальную оценку их параметров. Предлагаются рекомендации по оптимальному проектированию схем, включая современные высокоэффективные процедуры расчета для оптимизации. Подробно рассматривается использование фотоэлектрических систем с акцентом на возможность оптимального проектирования в соответствии со спецификой энергетического потенциала, связанного с местом установки. Представлены новые схемные решения для высокоэффективного процесса зарядки в автономных и сетевых фотоэлектрических системах.

В диссертации предложен и разработан модульный, легко конфигурируемый подход к моделированию и аналитической оценке фотоэлектрической системы. Подход основан на произвольных типах метеорологических данных и включает множество сложных процессов. Разработан и утвержден алгоритм для повышения точности стандартных методов „чистого неба“ и, соответственно, потенциал солнечной радиации посредством генетической оптимизации.

Dissertation Abstract

Topic: Electrical Devices for Highly Effective Battery Charging

PhD candidate: Svetlozar Kirilov Zahariev, MEng.

This dissertation is focused on the analysis, research and applications of highly effective electronic circuits, methods and algorithms for charge control of rechargeable batteries, where the primary source is the AC electrical grid and/or Photovoltaic systems. There is a focus on developing electrical power sources with improved parameters – efficiency, quality of the consumed electrical energy, charge efficiency of the battery with goal of extending its life and improvement of the charge process.

The dissertation includes the synthesis and the modelling of the electronic circuits, their algorithms and the detailed analysis of their parameters. Recommendations are given for the optimal design of those circuits, including modern efficient computational techniques for optimization. The use of PV-systems is analyzed in detail with a focus on optimal design according to the specific energy potential of the location of interest. New solutions are presented for highly efficient charge process in both stand-alone and grid-connected PV system. Moreover, a modular and configurable approach is developed for analytical evaluation and modelling of PV-systems. This approach starts with an arbitrary meteorological data and includes the many of the interdisciplinary processes in a PV-system. Last but not least, a methodology for optimization and improvement the accuracy of standard Clear Sky models and the overall solar energy potential is developed and validated through identification and genetic algorithms.

Благодарности

Извавам своите сърдечни благодарности на проф. д.т.н. инж. Димитър Димитров и доц.д-р инж. Ангел Маринов от ТУ-Варна за гласуваното доверие, съветите и подкрепата при разработването на дисертационния труд. За мен беше привилегия да работя под нещото им ръководство.

Специални благодарности дължа на ст. н. с. I ст. д-р Стоян Стоицов Гишин от ТУ-София за съдействието при публикуване, осъществяване и тестване на опитните образци в лабораторията по „Акумулатори“ на ТУ-София.

Също бих искал да изкажа благодарности на инж. Мартин Николас от INES-SAE France-Националния Институт по Слънчева Енергетика на Република Франция, за търпението и съветите при проведените изследвания представени в трета глава.

Накрая искам да изкажа благодарност на инж. Калоян Кирилов за съвместната работа по алгоритми, програмни и симулационни изследвания при обработката на метеорологични данни.