

**РЕЦЕНЗИЯ**

върху дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен
“Доктор”

Автор на дисертационния труд: **маг. инж. Красимир Кишкин**

Тема на дисертационния труд: **„Електронни преобразуватели за обмен на енергия между системи за съхранение на енергия”, професионално направление 5.2. „Електротехника, електроника, автоматика”, научна специалност „Индустриална електроника”.**

Рецензент: проф. д-р инж. Цветана Григорова

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията.

Развитието на електронните преобразуватели за обмен на енергия между системи за съхранение на енергия представлява ключова област на изследване в съвременната енергетика. С нарастващото използване на възобновяеми енергийни източници и необходимостта от повишаване на енергийната ефективност, интеграцията на усъвършенствани преобразователни технологии става все по-значима.

В научно отношение, проблемът е актуален поради необходимостта от разработване на нови топологии и алгоритми за управление на преобразувателите, които да осигурят висока ефективност, надеждност и динамична стабилност на системите. Изследванията в тази област целят минимизиране на загубите, подобряване на качеството на преобразуваната енергия и адаптиране на електронните преобразуватели към различни режими на работа и видове съхранение на енергия (батерии, суперкондензатори, водородни системи и др.).

От научноприложна гледна точка, разработката на ефективни преобразуватели за обмен на енергия между различни системи за съхранение има пряко въздействие върху подобряването на стабилността и управляемостта на енергийните мрежи. Оптимизирането на тези преобразуватели е от съществено значение за електромобилността, автономните енергийни системи, интелигентните мрежи (Smart Grids) и интеграцията на децентрализирани енергийни източници.

Разглежданият проблем, в дисертационната работа, представлява перспективно направление в синхрон със световните тенденции за устойчива енергетика и преход към нисковъглеродна икономика. В резултат на това, изследванията и иновациите в областта на електронните преобразуватели за обмен на енергия ще допринесат за по-ефективно използване на съхраняваната енергия и за развитието на нови технологични решения в съвременната енергетика.



2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал.

Прегледът на списъка на използваната в дисертацията литература, включваща 203 заглавия, от които девет (9) на кирилица, показва, че дисертантът познава публикациите в областта на системите за съхранение на електрическа енергия, моделирането и преобразователната техника и прави критичен анализ на недостатъците на досегашните разработки. Той показва добра литературна осведоменост като коректно цитира източници, за да обоснове избрания подход при своята разработка. Изследванията по дисертацията са проведени в лабораториите на катедра „Силова електроника” на ТУ – София.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд.

След проведения литературен обзор и направени изводи е формулирана целта на дисертационния труд: *Разработване и изследване на алгоритми за изравняване на напреженията между елементи в система за съхранение на електрическа енергия. Изследване на електронен преобразувател за изравняване на напрежения, в система за съхранение на енергия.* За постигането на поставената цел, в настоящия дисертационен труд, са формулирани следните основни задачи:

- Да се анализират основни параметри и изисквания на съвременни електрохимични елементи за съхранение и отдаване на електрическа енергия, необходими за тяхната експлоатация.
- Да се направи сравнителен анализ на различни схемни варианти на електронни преобразуватели, подходящи за обмен на енергия между елементи за съхранение на енергия;
- Да се извърши анализ на електромагнитните процеси в силовата схема на преобразувателя;
- Да се извърши изследване и сравнителен анализ на алгоритми, позволяващи изравняване на напреженията между отделните елементи в рамките на система за съхранение на електрическа енергия в процеса на нейното зареждане;
- Да се изследват възможностите, и свързаните с това изисквания, за бързо зареждане на батерия, съставена от последователно свързани суперкондензаторни и/или йонно-базирани клетки;
- Да се създаде експериментален макет, чрез който да се провери достоверността на получените аналитични резултати.

Дисертантът, методически правилно, е избрал най-напред да разгледа съвременни елементи и системи за съхранение на електрическа енергия. При теоретичните разглеждания са използвани аналитични методи за теоретично изследване на процесите в преобразувателя. Получените аналитични и симулационни зависимости са използвани за реализирането на математически модели в симулатора LTSpice, посредством които са изследвани основни характеристики на отделни модули от системата DC/DC преобразувател-електрохимичен източник.



Достоверността на теоретичните резултати е потвърдена посредством компютърни симулации със симулатора LTSpice, както и опитно чрез експериментален стенд.

Изследванията са построени така, че да се постигнат необходимите решения на заложените в дисертацията задачи. Прилагането и усъвършенстването на методики за анализ на влиянието на елементите в съвременните електронни системи за обмен на енергия обогатяват знанията и опита на дисертанта и представляват образователен принос.

Приложените в изследването методики, хардуерни решения и софтуерни среди демонстрират високата подготовка на докторанта и допринасят за образователния аспект на научната степен „доктор“.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.

Изследванията в дисертационния труд са изложени във въведение, 4 глави, раздел „Приноси на дисертационния труд“, библиография и Приложение.

В началото се въвежда проблематиката на дисертацията. Глава 1 представлява литературно проучване в няколко основни насоки:

- литиевойонни батерии – видове, структура на литиевойонна клетка тип 18650, основни параметри на литиевойонните батерии, зарядно-разрядни характеристики на литиевойонни батерии, методи за определяне на вътрешното съпротивление, ефективност на батериите, предимства и недостатъци на литиевойонните батерии, изисквания към литиевойонните батерии. Обсъдени са бъдещи тенденции в развитието на литиевойонните батерии;

- Суперкондензатори – видове суперкондензатори, структура и принцип на действие, основни параметри, особености при свързване на суперкондензатори, методи за определяне на капацитета на суперкондензатор, методи за определяне на еквивалентното последователно съпротивление, предимства и недостатъци;

- Системи за съхранение на енергия – изисквания за изравняване на напреженията, активно и пасивно балансиране;

- Архитектури за активно балансиране – активно балансиране на база пренос на енергия чрез кондензатори, активно балансиране на база пренос на енергия чрез индуктивни елементи (дросели), активно балансиране на база пренос на енергия чрез DC/DC преобразуватели. Разгледани са актуални схемни решения, на DC/DC преобразуватели, с приложение в системи за съхранение на електрическа енергия. Обсъдени са основните концепции, залагани при разработване на алгоритми за изравняване на напреженията в батерии;

- Система за управление на батерия (BMS) – структура и основни функции. Дефинирана е на блоково ниво, концепцията на BMS.

Въз основа на направените изводи след всеки раздел, са поставени целта и задачите на дисертационния труд.

В Глава 2 са представени разработените три алгоритъма за изравняване на напреженията между последователно свързани елементи за съхранение на електрическа енергия. На блоково ниво е представена концепцията за приложението им в система за



управление на батериите (BMS). Изведени са аналитични изрази за определяне на токовете и времената на зареждане/изравняване в системата, които позволяват да се избере рационален режим при различни начални условия и различни стойности на капацитетите. Предлаганата методика е оригинална по отношение на това, че определянето на необходимите зарядни токове за дадена система за съхранение на електрическа енергия (ССЕЕ) е базирано, единствено, на капацитета на използваните клетки.

Глава 3 описва изчисления за изследване DC/DC преобразувател и възможността му за работа в системи за съхранение на електрическа енергия. Представени са основни съображения при избор на схемата. Разгледан е принципът на действие на инверторната част на преобразувателя. Предложен е математически анализ при работа на преобразувателя с допълнителна вторична намотка.

Глава 4 представя резултатите от компютърно моделиране и експериментални изследвания.

Извършено е симулационно моделиране и изследване на предложените три алгоритъма за изравняване на напреженията между последователно свързани елементи за съхранение на електрическа енергия. Представените симулационни модели са параметризирани и позволяват да се прилагат за различни изходни данни – максимален заряден ток, начално напрежение, капацитет.

Следващата част от изследването включва симулационно изследване и анализ при работа на едноключов резонансен DC/DC преобразувател с активен товар и с противо-ЕДН. Представено е симулационно изследване при работа на две звена. Проведено е симулационно изследване и анализ при работа на преобразувателя с допълнителна вторична намотка. Моделирането е извършено в средата на софтуер LTspice. Симулационните модели и свързаните с тях параметри са представени в раздел Приложение от настоящата дисертация. Получените симулационни резултати са детайлно анализирани.

Представено е сравнение между симулационни и експериментални резултати от изследването на Алгоритъм 1 и Алгоритъм 2 при различни начални условия.

За верифициране на симулационните резултати е разработен лабораторен стенд на разгледания резонансен DC/DC преобразувател. Представено е сравнение между симулационни и експериментални резултати, описващи режими на работа при мека комутация на транзистора.

Извършено е сравнение на симулационни и експериментални резултати на тока през зареждания суперкондензатор, без и с изглаждащ дросел.

В последната част на дисертационната работа „Приноси на дисертационния труд и основни дейности“ са обобщени извършената работа и резултатите от изследванията в труда и след това са представени формулираните от докторанта научно-приложни и приложни приноси. Представен е списък с научните публикации на автора, които са свързани с дисертационния труд, информация за научноизследователската дейност и учебнопедагогическата работа, проведена от докторанта.



5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд:

Подкрепям формулираните от дисертанта приноси, и ги приемам в категорията научноприложни и приложни приноси.

1. Предложен е алгоритъм, позволяващ изравняване на напреженията в система за съхранение на електрическа енергия, съставена от последователно свързани елементи.

2. Създаден е модел в среда на LTspice, чрез който е изследван разработеният алгоритъм.

3. Предложена е методика за инженерно изчисление на големината на токовете и времената за зареждане в системата.

4. Изследвани са три разновидности на разработения алгоритъм. Анализът е извършен за работа, както при различни, така и при еднакви начални напрежения на отделните клетки.

5. Изследван е едноключов резонансен инвертор при работа като източник на ток; като устройство за зареждане на единични клетки от дадена система за съхранение на електрическа енергия; като част от BMS; възможност за едновременна работа на няколко звена.

6. Установени са нови факти за едноключов резонансен инвертор (ЕРИ), при реализирането му с допълнителна вторична намотка.

7. Създаден е лабораторен стенд на изследвания преобразувател, чрез работата на който се потвърждават резултатите от теоретичните и симулационни изследвания.

Основните приноси в настоящия дисертационен труд, според моята преценка, могат да се класифицират като: полезно увеличаване на знанията в разглежданата научна област, използване и обогатяване на съществуващи знания; използване на класически и съвременни методи за анализ, на съвременна апаратура и елементна база; получаване на нови и потвърдителни факти и данни; реализиране на нови ефективни методи, техники и подходи за практическото им приложение.

6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите.

Въз основа на представения материал и публикуваните по темата научни статии считам, че основните приноси в настоящия труд са резултат от самостоятелната работа на докторанта, осъществена под научното ръководство на неговия ръководител доц. д-р инж. Димитър Арнаудов.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд.

Приложените публикации са равномерно разпределени по целия обем на дисертацията, което означава че по-голямата част от разрешаваните задачи и проблеми са били докладвани на конференции и са били достояние на всички работещи в това направление. Приемам, че публикациите отразяват основни части от разработката. Основните теоретични и приложни резултати от дисертационния труд са представени общо в 10 публикации, като наукометричните изисквания съгласно ПУРПНСТУС (ПРАВИЛНИК за условията и реда за придобиване на научни степени в Технически университет – София) за прилагане на ЗРАСРБ са за 3 броя. Броят на представените публикации надхвърля значително изискванията на ТУ–София за придобиване на ОНС „доктор“. Една публикация е самостоятелна.



Не съм открила елементи на плагиатство в публикациите и дисертационния труд.

Може да се приеме, че резултатите от дисертацията са познати на научната общност у нас и в чужбина, тъй като всички представени публикации са включени в рецензирани научни издания на международните конференции, както следва: Национална конференция с международно участие ЕЛЕКТРОНИКА София - 2019, 2020; на международна конференция Electronics (ET), 2019, Sozopol; Национална конференция с международно участие TELECOM 2020; международна конференция ELMA (Electrical Machines, Drives and Power Systems) 2019; International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) 2019; международен симпозиум SIELA 2020; International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), IEEE, 2020; UniTech'19 SELECTED PAPERS (2019), (ISSN 2603-378X).

Приложените публикации са публикувани в рецензирани издания, **9 от които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Scopus).**

При проверка в системата на SCOPUS, установих, че докторантът има **h-index 3** (с изключване на самоцитиранията). Въпреки че наличието на h-индекс не е задължителен критерий за докторантите, h-индекс 3 е сериозно постижение за ранен етап от академичната кариера. Това показва не само активна научна продуктивност, но и реално влияние на изследванията му в научната общност.

Публикации по дисертационния труд имат следните **цитирания в Scopus:**

[1A] Arnaudov, D., Penev, D.; Kishkin, K. Management of Supercapacitor Battery Charging. In: 2020 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), IEEE, 2020, S. 1–7. – URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9121001> – **1 цитирание в Scopus;**

[2A] Arnaudov, D., Kishkin, K. Modelling And Research Of Synchronounous Converter For Active Balansing System. In: 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 2019, S. 1–4 – **6 цитирания в Scopus;**

[6A] Arnaudov, D., Kishkin, K. Modelling and Research of Active Voltage Balansing System for Energy Storage System. In: 2019 X National Conference with International Participation (ELECTRONICA), 2019, Sofia, Bulgaria, 1-6, doi: 10.1109/ELECTRONICA.2019.8825643 – **5 цитирания в Scopus;**

[10A] Kishkin, K., Arnaudov, D., Penev, D. Algorithm for Charging a Supercapacitor Energy Storage System. In: 2020 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), IEEE, 2020, S. 1–6. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9120958> – **2 цитирания в Scopus.**

Въпреки че правилникът за прилагане на ЗРАСРБ и ПУРПНСТУС (ПРАВИЛНИК за условията и реда за придобиване на научни степени в Технически университет – София) не поставят изискване за наличие на цитирания, е видно че по публикациите, представени към дисертационния труд досега са получили **14 цитирания в Scopus**. Това е показател за научния интерес към неговите изследвания и тяхното влияние в съответната област. Постигнатият резултат подчертава стойността на приноса му към научната общност и демонстрира потенциала му за бъдещо развитие в академичната сфера.



Докторантът е бил член на колектив в 2 научноизследователски договора по тематиката на дисертационния труд:

1. Договор 192ПД0015-03 „Електронни преобразуватели за обмен на енергия между системи за съхранение на енергия“, Научноизследователски проект в помощ на докторанти (сесия 2019 г.) с ръководител доц. д-р инж. Димитър Дамянов Арnaudов.

2. Договор КП06Н37/25/18.12.2019 г., при ФНИ, „Оптимално проектиране и управление на системи за съхранение на електрическа енергия,, с ръководител: доц. д-р Димитър Дамянов Арnaudов.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика.

Резултатите от дисертационния труд имат както научноприложно, така и практическо значение. Разработените модели, методики и анализирани алгоритми притежават потенциал за директно приложение както в научни изследвания, така и в реални практически ситуации, свързани със съвременните решения в областта на електронните преобразуватели, използвани за преразпределение на енергийните потоци в системите за съхранение и отдаване на електрическа енергия.

Разработки на дисертанта са намерили приложение в научноизследователски проект, финансиран от фонд „Научни изследвания“, КП06Н37/25/18.12.2019 г., „Оптимално проектиране и управление на системи за съхранение на електрическа енергия,, с ръководител доц. д-р Димитър Дамянов Арnaudов и проект, финансиран от НИС при ТУ – София, 192ПД0015-03 „Електронни преобразуватели за обмен на енергия между системи за съхранение на енергия“, научноизследователски проект в помощ на докторанти (сесия 2019 г.) с ръководител доц. д-р инж. Димитър Дамянов Арnaudов

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.

Представеният автореферат е в обем от 30 стр. текст, структуриран в 4 глави. Авторефератът отразява съдържателно съществени моменти от дисертационния труд, основните постижения, резултатите от изследванията и постигнатите приноси.

Спазени са изискванията в съответствие с образца за изготвяне на авторефератите по дисертационните трудове, посочен в сайта на ТУ-София /Развитие на АС /Работни документи.

10. Мнения, препоръки и бележки.

Образователните цели на дисертацията са изпълнени изцяло. Нямам забележки по отношение на количеството и качеството на извършената в дисертацията работа.

Изготвих мнение за предварителното обсъждане на дисертационния труд пред РКС на катедра „Силова електроника“. Направените в него препоръки и бележки са изцяло отразени в настоящия вариант на дисертационния труд, както и останалите препоръки, дадени в резултат от дискусиата по време на предварителното обсъждане.

Положената изследователска дейност е обемна и задълбочена, като постигнатите резултати са убедителни и аргументирани.



11. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд.

Предвид актуалността на темата, проведените изследвания, направените анализи, постигнатите резултати, както и публикуваните научни трудове, давам **ПОЛОЖИТЕЛНА** оценка на дисертационния труд на тема "Електронни преобразуватели за обмен на енергия между системи за съхранение на енергия". Считам, че той отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ) и Правилника за неговото прилагане, както и на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ-София.

Предлагам на уважаемото Научно жури да гласува за присъждане на образователната и научна степен „доктор“ на маг. инж. Красимир Йорданов Кишкин по професионално направление 5.2. „Електротехника, електроника, автоматика“, научна специалност „Индустриална електроника“.

Дата: 12.06.2025 г.

Рецензент:

(п)

/проф. д-р инж. Цветана Григорова/

