



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Николай Василев Неховски

Тема на дисертационния труд: Електронни преобразуватели с приложение във възобновяеми източници на енергия

Рецензент: проф. д-р Николай Маджаров – ТУ Габрово

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.

Използването на възобновяеми енергийни източници (ВЕИ) намалява зависимостта от изкопаемите горива и намалява емисиите на парникови газове в атмосферата. Въпреки многото предимства някои ВЕИ технологии се използват много ограничено поради високата цена спрямо невъзобновяемите енергийни източници и неудовлетворителни технико-експлоатационни параметри. Това предопределя и специфични изисквания както към схемотехниката на преобразувателните устройства, така и към алгоритъма на управление и работните режими на ключовите прибори на силовите схеми. Акцентът на извършената работа в дисертацията е основно свързан със създаване на методи и инструментариум за изследване и минимизиране на комутационните загуби на двупосочен AC-DC и двупосочен DC-DC преобразувател, използвани в системите за възобновяеми енергийни източници и подобряване на експлоатационните характеристики в режим на управление на енергийните потоци със хранващата мрежа. Получените научно-приложни резултати са верифицирани чрез симулационни и експериментални изследвания. Всичко това обуславя актуалността на разработката и направеното от докторанта научно изследване.

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

При разработването на дисертационния труд авторът е използвал 107 литературни източника, основно на латиница, публикувани в периода 1992 - 2025 г., като голяма част от тях са след 2015 г. В резултат на анализа на литературните източници е фиксирана научната ниша, дефинирана е целта на дисертационния труд и са поставени задачите за постигането на тази цел. Представени са резултатите от досегашните научни изследвания при определяне на основните показатели на възобновяемите източници на енергия и различните видове високочестотни



инверторни схеми, преобразуващи постояннотоковата енергия в променливотокова и обратно. По безспорен начин е доказана актуалността на проблема и правилно са дефинирани иновативните научно-приложни задачи в тази област. Направено е сравнение на хармоничния състав, фактора на мощност и ефективността при еднопосочно и двупосочно предаване на енергията през ВЧ преобразувател. Изследвани са работните режими на системата - фотоволтаик/DC шина, фотоволтаик/батерия, батерия/DC шина, захранваща мрежа/DC шина. Допълнително е извършен синтез на система за управление, която дефинира стойността на отдаваната мощност в захранващата мрежа и гарантира превключване на транзисторите на преобразувателя при нулево напрежение.

Всичко това показва, че докторантът е запознат добре със състоянието на изследванията по тематиката на дисертационния труд и притежава умения за самостоятелна разработка на нови идеи и технологични решения в областта на електронните преобразуватели с приложение във възобновяемите източници на енергия.

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

Докторантът правилно е формулирал целта и задачите на изследването, които са адекватни на темата на дисертацията. Избраната методика за изследване включва създаване на цялостен модел на системата „фотоволтаик - преобразувател – захранваща мрежа или батерия“ и използването на симулационен и експериментален метод за получаване на основните електрически и технологични параметри при двупосочно предаване на електрическата енергия. Установени са оптималната конфигурацията на силовата схема и алгоритмите за управление при които се постигат най-добри показатели по отношение на фактора на мощност и комутационните загуби. При всички изследвания е налице значително съвпадение на резултатите от компютърното симулиране и реалния експеримент, което е доказателство за правилно избрана и приложена методика на изследване.

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

Дисертационният труд съдържа въведение, 4 глави, изводи върху цялостното изследване, приноси, използвана литература и публикации по дисертацията в обем от 141 страници. Общо в труда са включени 121 фигури и 10 таблици. Допълнително са представени 3 приложения с обем от 12 страници. Те съдържат важна теоретична и експериментална информация, относно използваната опитна постановка и резултатите при различни алгоритми на управление на високочестотния преобразувател, използван във фотоволтаичните системи.

В Глава 1 е направен литературен преглед на състоянието, областите на приложение и проблемите при използването на електронните преобразуватели за



възобновяеми енергийни източници. От анализа на ефективността им е изтъкнато, че основата за решаването на тези предизвикателства е оптимизация на комутационните загуби при различни режими на работа. Разгледан е DC/DC преобразувател, който е послужил за основата на хибриден фотоволтаичен инвертор. Синтезирана е блокова схема на предложения схемен вариант, който дава възможности за съхранение на енергията в акумулаторна батерия и нейното използване от товар, свързан към постояннотокова шина или отдаване към променливотокова мрежа. На основата на математически анализ е изведена предавателната функция, както и зависимостта на необходимото минимално мъртво време на схемата за осигуряване КНН при различни стойности на товара.

Именно тези проблеми са послужили за обект на изследванията в дисертацията и формулиране на основната цел: **Изследване на методи за подобряване на енергийните показатели на електронни преобразуватели работещи във фотоволтаични системи, имащи допълнителен енергиен източник.**

Втора глава се явява логическо продължение на първа глава и в нея се решават част от задачите на дисертацията. Основно е акцентувано на анализ на електромагнитните процеси на основните блокове на хибриден инвертор на напрежение, подобряващ ефективността при преобразуването на енергията от фотоволтаичен източник на енергия. В заключителната част на втора глава са представени резултатите от проектирането на системата за управление на инвертора, осигуряващ регулиране на отдавана в мрежата мощност. Доказано е, че предложената топология с добавяне на нисконапреженова постояннотокова шина, значително повишава ефективността, както и фактора на мощност, при работа на малки мощности.

В трета глава е представено симулационно и експериментално верифициране на предложената система на хибриден инвертор. За целта са разработени симулационни модели на блоковете изграждащи предложената система, които включват както силовата схема, така и системата за управление. Разработените модели са използвани за демонстриране на режимите на работа на предложения преобразувател в различни режими на работа, които да послужат като база за сравнение с експериментално разработените блокове. Допълнително за верифициране на предложената система е направено сравнение с комерсиално съществуващи подобни системи от различни производители. В главата са разгледани две подобни системи и са снети ефективностите от преобразуването на енергия при тях в различни режими на работа. Тези енергетични показатели са сравнени с получените такива при сходни натоварвания на предложената система.

В заключителната четвърта глава е направен анализ на научно-приложните резултати в дисертацията и основните предизвикателства, които възникват вследствие на увеличаване на дела на електрическа енергия, получавана от възобновяеми енергийни източници и по-конкретно фотоволтаични панели. Непостоянният характер на източника на енергия води до променливо производство



на електрическа енергия от този тип енергийни източници и последващите проблеми със стабилността на изходите характеристики на преобразувателите. Обобщени са предимствата от използването на допълнителни енергийни източници и съпътстващите ги електронни преобразуватели при балансирането на потреблението и генерацията на електрическа енергия от фотоволтаични панели.

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

Формулираните от докторанта приноси в дисертационния труд спадат към полезно увеличаване на знанията, относно преобразувателите за възобновяеми енергийни източници, използване на класически и съвременни методи за анализ на съвременна апаратура и елемента база, внедряване на оригинални научни постижения, технологии и подходи за практическото им приложение.

Считам, че приносите имат научно-приложен и приложен характер и могат да бъдат обобщени както следва:

Научно-приложни приноси

-Синтезирани са симулационни модели на соларна клетка, еднопосочен и двупосочен преобразувател с приложение във възобновяемите енергийни източници, чрез които са изследвани различни работни режими.

-Разработен е алгоритъм на фазово управление на постояннотоков преобразувател с галванично разделяне, при който транзисторите превключват с нулево напрежение, осигурено чрез презареждане на паразитните им кондензатори от запасената енергия в индуктивностите на силовата еквивалентна схема.

-Извършен е хармоничния анализ по първи хармоник е изведена аналитична зависимост за предавателната функция, между входното постоянно напрежение и първия хармоник на напрежението в изхода на мостовия преобразувател.

-В съответствие с алгоритъма на управление, характера на електромагнитните процеси и диапазона на изменение на електрическите и фазовите величини, определящи работния режим на двупосочен преобразувател на постоянно напрежение, е изведена зависимост за продължителността на мъртвото време в интервала на превключване във функция на изходния капацитет на силовите транзистори.

Приложни приноси

- Дефинирани са времеви интервали и са предложени набор от правила за баланс на консумирането и генерирането на електрическа енергия на база данни от електропреносната система на Р България.

-Експериментално изследване, сравняващо предложената система и комерсиално предлагани решения по отношение на ефективността и качеството на електрическата енергия.

- Разработена е процедура за оценка на режимите на работа, коефициента на полезно действие и фактора на мощност на различни комерсиални фотоволтаични инвертори.



Приносите се отнасят към приложение на съвременни технически средства за добив и съхранение на електрическа енергия и съпътстващите ги архитектурата, режими на работа и динамиката на съответната електронна и електрическа апаратура. Считам, че получените резултати са оригинални и напълно съответстват на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

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

Представеният дисертационен труд и научните публикации свързани с него показват, че формулираните научноприложни и приложни приноси са лично дело на маг. инж. Николай Василев Неховски, под ръководството на неговия ръководител доц. д-р инж. Владимир Владимиров Димитров. Не са забелязани елементи на плагиатство.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани. Отражение в науката – използване и цитиране от други автори, в други лаборатории, страни и пр.

Основните резултати, получени в дисертационния труд, са представени в три научни публикации в периода 2023 - 2025 г. Една от тях е самостоятелна, а останалите две са в съавторство с научния му ръководител доц. д-р Владимир Димитров. Всичките статии са публикувани в издания, реферирани и индексирани в електронната бази данни SCOPUS. Допълнително може да се отбележи, че от справка в същата база данни, маг. инж. Николай Василев Неховски има 6 статии и 8 цитирания за периода 2018 - 2025 год. Този показател съответства на индекс на Хирш 2.

Публикациите на докторанта по дисертацията, съдържат основните приноси, за които се претендира. Това съответства на изискванията на Закона за развитие на академичния състав и на Правилника за неговото приложение за публикуване на най-съществените части от дисертационния труд.

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

Отчитайки тенденциите на развитие и предизвикателствата пред енергийната система при увеличаване на дела на възобновяемите източници на енергия считам, че приложените резултати в дисертационния труд са изключително актуални. Направените изследвания и синтезираните схеми ще намерят приложение при баланса на енергийната система на основана на източници с непостоянен характер, чрез добавяне на вторичен енергиен източник и съответстващия електронен преобразувател.

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 изцяло съответства в структурно и съдържателно отношение на дисертацията. Спазени изискванията по оформлението и са включени всички необходими атрибути. Посредством запознаване с автореферата може да се придобие еднозначна представа за дисертационния труд. Оценката ми за автореферата е, че той отразява правилно съдържанието и приносите на дисертацията.

10. Мнения, препоръки и бележки.

- Дисертацията е представена в 4 глави, като четвърта глава съдържа заключение и приносите. Логично е да се предложи в четвърта глава да се включи част от експерименталната работа с коментarii на резултатите и приложението, представено в края на дисертацията.
- Разработката би спечелила, ако се намали обемът на първа глава - сега е ненужно голям - 41 стр. от общо 127 стр.
- В част от приносите липсва конкретика - започват с експериментално изследване и експериментално сравнение след което липсва фактологията.

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

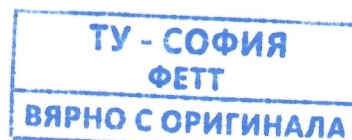
Считам, че представеният дисертационен труд отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в Технически Университет – София по отношение на обем, качество, научни приноси и публикации. Постигнатите резултати ми дават основание да **препоръчам** на Научното жури да присъди на **маг. инж. инж. Николай Василев Неховски** образователната и научна степен „доктор” в област на висшето образование: **5. Технически науки**, професионално направление: **5.2. Електроника, електротехника и автоматика**, научна специалност „Електронни преобразуватели“.

Дата: 17.06.2025

РЕЦЕНЗЕНТ:

(n)

/проф. д-р инж. Н. Маджаров/





REVIEW

On a dissertation for partial fulfilment of the requirements for obtaining the educational and scientific degree “Doctor of philosophy, PhD”

Author of the dissertation: MSc. Eng. Nikolay Vasilev Nehovski

Title of the dissertation: Electronic converters for renewable energy sources

Reviewer: Prof. Nikolay Madjarov, PhD – Technical University of Gabrovo

1. Relevance of the problem developed in the dissertation work in scientific and applied terms. Degree and levels of relevance of the problem and specific tasks developed in the dissertation.

The use of renewable energy sources (RES) reduces dependence on fossil fuels, while simultaneously lowering greenhouse gas emissions into the atmosphere. Despite the many advantages, some RES technologies see limited use, because of their higher relative cost compared to non-renewable energy sources and also due to unsatisfactory technical-exploitation parameters. Expanding their use depends on specific requirements for both the circuits of the conversion devices and their control algorithms and operating modes of the power topology itself. The emphasis of the work in the dissertation is mainly related to the creation of methods and tools for examination and minimization of switching losses of a two-way AC-DC and a two-way DC-DC converter used in renewable energy sources. The dissertation also focuses on improving the operational characteristics of the power converters when used with a renewable energy source while managing the energy flow to the grid. The scientific and applied results are verified by simulation and experimental studies. All this determines the relevance of the development and the doctoral studies.

2. Degree of understating of the problems in the field and creative interpretation of the references.

In developing the dissertation, the author used 107 sources, mainly in English, published in the period 1992 - 2025, with a large part of them being after 2015. As a result of the literature review the goal of the dissertation was defined and the tasks for achieving this goal were set. The results of previous scientific research in determining the main indicators of renewable energy sources and various types of high-frequency inverter circuits that convert direct into alternating current and vice versa are presented. The relevance of the problem has been proven in an indisputable way and the innovative scientific and applied tasks in this area have been correctly defined. A comparison of the harmonic composition, power factor and efficiency in unidirectional and bidirectional energy transmission using a switching converter has been made. The operating modes of the system have been studied - photovoltaic/DC bus, photovoltaic/battery, battery/DC bus, power grid/DC bus. Additionally, a control system has been synthesized that defines the value of the power output in the power grid and guarantees switching of the converter transistors at zero voltage.



All this shows that the author is well acquainted with the state of research on the topic of the dissertation work and has the skills to independently develop new ideas and technological solutions in the field of electronic converters with application in renewable energy sources.

3. Correspondence of the chosen research methodology with the goal and tasks of the dissertation work.

The author has correctly formulated the goal and objectives of the research, which are adequate to the topic of the dissertation. The chosen research methodology includes the creation of a comprehensive model of the system "photovoltaic - converter - power grid or battery" and the use of simulation and experimental methods to obtain the main electrical and technological parameters in the bidirectional transmission of electrical energy. The optimal configuration of the power circuit and the control algorithms have been established, which achieve the best indicators in terms of power factor and switching losses. In all studies, there is a significant overlapping between the results of the computer simulation and experiment results, which is evidence of a correctly selected and applied research methodology.

4. A short analytical description of the nature and assessment of the credibility of the material on which the contributions of the dissertation are based

The dissertation work contains an introduction, 4 chapters, conclusions on the overall research, contributions, used literature and published papers on the dissertation in a total volume of 141 pages. In total, the work includes 121 figures and 10 tables. Additionally, 3 appendices containing 12 pages are presented. They contain important theoretical and experimental information regarding the experimental setup used and the results of various control algorithms for the high-frequency converter used in photovoltaic systems. In Chapter 1, a literature review of published papers on the topic, areas of application and problems in the use of electronic converters for renewable energy sources. From the analysis of their efficiency, it is emphasized that the basis for solving these challenges is the optimization of switching losses in different operating modes. Adding a DC/DC converter is proposed, which serves as the foundation for a hybrid photovoltaic inverter. A block diagram of the proposed circuit has been synthesized, which provides opportunities for storing energy in a battery and its use by a load connected to a DC bus or feeding it to an AC network. Based on mathematical analysis, the transfer function has been derived, as well as the dependence of the required minimum dead time of the circuit for providing low switching losses at different load values.

It is these problems that have served as the subject of research in the dissertation and the formulation of the main goal: **Research of methods for improving the energy performance of electronic converters operating in photovoltaic systems with an additional energy source.**

The second chapter is a logical continuation of the first and solves part of the tasks of the dissertation. The main emphasis is on the analysis of the electromagnetic processes of the main blocks of a hybrid voltage inverter, improving the efficiency of energy conversion from a photovoltaic energy source. In the final part of the second chapter, the



results of the design of the inverter control system, providing regulation of the power delivered to the network, are presented. It is proven that the proposed topology with the addition of a low-voltage DC bus significantly increases the efficiency, as well as the power factor, when operating at low powers.

The third chapter presents simulation and experimental verification of the proposed hybrid inverter system. For this purpose, simulation models of the blocks that make up the proposed system have been developed, which include both the power circuit and the control system. The developed models have been used to demonstrate the operating modes of the proposed converter in different operating modes, which can serve as a basis for comparison with the experimentally developed blocks. Additionally, to verify the proposed system, a comparison has been made with commercially existing similar systems from different manufacturers. The chapter examines two similar systems and measures the efficiency of energy conversion in them in different operating modes. These energy indicators are compared with those obtained under similar loads of the proposed system.

The final fourth chapter analyses scientific and practical aspects of the main challenges that arise as a result of increasing the share of electrical energy obtained from renewable energy sources and, in particular, photovoltaic panels. The unstable nature of the energy source leads to variable production of electrical energy from this type of energy sources and the subsequent problems with the stability of the output characteristics of the converters. The advantages of using additional energy sources and their accompanying electronic converters in balancing the consumption and generation of electrical energy from photovoltaic panels are summarized.

5. Scientific and/or applied contributions of the dissertation

The contributions formulated by the author in the dissertation work belong to a useful increase in knowledge about converters for renewable energy sources, the use of classical and modern methods for the analysis of modern equipment and the element base, the implementation of original scientific achievements, technologies and approaches for their practical application.

I believe that the contributions have a scientific-applied and applied nature and can be summarized as follows:

Scientifically-applied contributions

- Simulation models of a solar cell, unidirectional and bidirectional converter with application in renewable energy sources have been synthesized, through which different operating modes have been studied.
- A phase-shifted control algorithm for a DC-DC converter with galvanic isolation has been developed, in which the transistors switch with zero voltage, provided by recharging their parasitic capacitors from the energy stored in the inductances of the power circuit.
- Harmonic analysis has been performed and an analytical dependence has been derived for the transfer function of the converter. The transfer function links the



input DC voltage and the first harmonic of the voltage at the output of the bridge converter.

- In accordance with the control algorithm, the nature of the electromagnetic processes and the range of variation of the electrical and phase quantities determining the operating mode of a bidirectional DC-DC converter, a dependence for the duration of the dead time in the switching interval as a function of the output capacitance of the power transistors has been derived. This allows for precise determination of the required dead time in order to obtain reduces switching losses.

Applied contributions

- Time intervals are defined and a set of rules for balancing the consumption and generation of electrical energy are proposed based on data from the electricity transmission system of the Republic of Bulgaria.
- Experimental study comparing the proposed system and commercially offered solutions in terms of efficiency and quality of electrical energy.
- A procedure for assessing the operating modes, efficiency and power factor of various commercial photovoltaic inverters has been developed.

The contributions relate to the application of modern technical means for the extraction and storage of electrical energy and the accompanying architecture, operating modes and dynamics of the relevant electronic and electrical equipment. I believe that the results obtained are original and fully comply with the requirements for a dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor".

6. Assessment of the degree of personal involvement of the author

The presented dissertation work and the scientific publications related to it show that the formulated scientific and applied contributions are the personal work of M.Eng. Nikolay Vassilev Nehovski, under the supervision of his supervisor Assoc. Prof. Dr. Eng. Vladimir Vladimirov Dimitrov. No elements of plagiarism have been noticed.

7. Assessment of the publications published by the author

The main results obtained in the dissertation work are presented in three scientific publications in the period 2023 - 2025. One of them is solely by the author, and the other two are co-authored with his scientific supervisor Assoc. Prof. Dr. Vladimir Dimitrov. All articles are published in publications, referenced and indexed in the SCOPUS electronic database. Additionally, it can be noted that from the reference in the same database, M. Eng. Nikolay Vassilev Nehovski has 6 articles and 8 citations for the period 2018 - 2025. This indicator corresponds to a Hirsch index of 2.

The publications of the doctoral student on the dissertation contain the main contributions claimed. This corresponds to the requirements of the Academic Staff Development Act and the Regulations for its implementation for publishing the most significant parts of the dissertation work.



8. Evaluation of the use of the claims of the dissertation in scientific and social practice

Considering the development trends and the challenges facing the energy system in increasing the share of renewable energy sources, I believe that the applied results in the dissertation are extremely relevant. The research conducted and the synthesized control algorithms will find application in the balance of the energy system based on sources of non-constant nature, by adding a secondary energy source and the corresponding electronic converter.

9. Assessment of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation, as well as adequacy of reflecting the main points and contributions of the dissertation work.

The presented abstract fully corresponds in terms of structure and content to the dissertation. The requirements for the layout have been met and all necessary attributes have been included. By familiarizing yourself with the abstract, one can gain an unambiguous idea of the dissertation work. My assessment of the abstract is that it correctly reflects the content and contributions of the dissertation.

10. Opinions, recommendations and notes.

- The dissertation is presented in 4 chapters, with the fourth chapter containing a conclusion and contributions. It is logical that the fourth chapter include part of the experimental work with comments on the results and the application presented at the end of the dissertation.
- The development would benefit if the volume of the first chapter were reduced - it is now unnecessarily large - 41 pages out of a total of 127 pages.
- Some of the contributions lack specificity - they begin with an experimental study and experimental comparison, after which the facts are missing.

11. Conclusion with a clear positive or negative assessment of the dissertation work.

I believe that the presented dissertation meets the requirements of the Act on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Regulations on the Terms and Procedure for Acquiring Scientific Degrees at the Technical University of Sofia in terms of volume, quality, scientific contributions and publications. The achieved results give me reason to **recommend** to the Scientific Jury to award M.Eng. Eng. Nikolay Vassilev Nehovski the educational and scientific degree "Doctor" in the field of higher education: **5. Technical Sciences, professional field: 5.2. Electronics, Electrical Engineering and Automation, scientific specialty "Electronic Converters"**.

Date: 17.06.2025

Reviewer:

(n)

/Prof. Eng. N. Madzharov, PhD/

