



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”

Професионално направление 5.2 „Електротехника електроника и автоматика“, научна специалност „Електронни преобразуватели“.

Рецензент : доц. д-р инж. Димитър Арнаудов

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.

Темата с повишаване на коефициента на полезно действие на електронни преобразуватели в захранващи системи с преобразуване на енергия от възобновяеми източници е актуален проблем и за това говорят множеството публикации по темата. Развитието на фотоволтаичните системи и различните варианти на преобразуване и пренос на енергията от тях водят до развитието на електронните преобразуватели като част от тези системи. Задачата в дисертационния труд е изследване на методи за подобряване на енергийните показатели на електронни преобразуватели, работещи с фотоволтаични системи. Изследваната система е хибридна, включваща и модули за съхранение и отдаване на енергия към захранваща мрежа. Акцентирано е върху два основни преобразувателя от хибридната система – двупосочен AC-DC и двупосочен DC-DC преобразувател. Тези два преобразувателя са основа на всяка фотоволтаична система и задачата по повишаване на коефициентите на полезно действие е един от актуалните проблеми, което може да се види и от множеството публикации и научни изследвания. Изследванията в съвременните електронни системи са базирани и на симулационни модели. Създаването на такива е друг актуален проблем разработван в дисертацията. За DC-DC преобразувателя е поставена задача за математически анализ и съставяне на симулационни модели. За показване на предимствата на изследваната хибридна система е поставена задача и за експериментално изследване и сравнение с комерсиални такива системи.

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

В литературната справка са посочени 107 литературни източника. В



прегледната част на дисертационния труд е започнато с въведение в системи с фотоволтаични източници и предлагани решения на преобразуватели за фотоволтаични системи. Направен е преглед на четири основни схеми на DC-DC преобразуватели с основни принципи на действие. Също така тъй като работата е ориентирана към подобряване на к.п.д. могло е да бъдат описани по-подробно и други варианти на схеми на мостови преобразуватели с намалени загуби на превключване на приборите. Изследванията са насочени към хибридна фотоволтаична система и за нея са направени коментари за загубите в основните преобразуватели за типични предлагани на пазара решения. Проведени са експериментални изследвания за показатели на предлагани в търговската мрежа контролери за фотоволтаични системи. Изследванията са на базата на данни от инсталирани фотоволтаични системи.

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

Методиката на изследване на базата на анализ, моделиране и верифициране чрез експериментални образци е в съответствие с поставената цел – изследване на методи за подобряване на енергийни показатели на електронни преобразуватели работещи в хибридни фотоволтаични системи. От показателите е акцентирано върху ефективност на преобразуване на енергия от електронни преобразуватели и корекцията на фактора на мощност. За целта са поставени следните задачи:

- Обзор на съществуващи решения в индустрията на такъв тип системи и техните режими на работа.
- Обобщаване на показатели за оценка и сравнение на преобразуватели за хибридни фотоволтаични системи.
- Синтез на електронен преобразувател на енергия за хибридна фотоволтаична система, работещ с намалени комутационни загуби.
- Математически анализ на предложен преобразувател за извеждане зависимости и изисквания към неговото управление.
- Съставяне на симулационни модели на електронен преобразувател и неговата система за управление за хибриден инвертор и извършване на изследвания в различни режими на работа.
- Експериментално изследване, сравняващо предложената система и комерсиално предлагани решения.

Дисертантът методически е подходил правилно.

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

Приносите се базират на резултати от математически анализ на процесите в мостов инвертор, симулационни изследвания със специализиран софтуер и експериментални изследвания за доказване на реализацията на избран режим на работа на силов преобразувател, реализиращ намаляване на комутационните загуби.



Зависимостите на „мъртвите времена“ от параметрите на силовата верига са изведени и тествани в опитен образец.

На базата на анализ на електромагнитните процеси в две схеми на преобразуватели – еднофазен токоизправител с корекция фактора на мощност и двупосочен DC-DC преобразувател са представени основни математически изрази за токове и напрежения в схемите. Изведени са основни зависимости за „мъртвите времена“ в схемата. Предложена е блокова схема за реализиране на хибридна фотоволтаична система. Съставен е симулационен модел на системата в среда PLECS и са проведени симулационни изследвания. В експерименталната част на дисертацията са изследвани преобразуватели за фотоволтаични системи с възможност за отдаване в мрежата на няколко производителя, което показва познаване и актуалното състояние на предлаганите на пазара инверторни системи. Направени са експериментални изследвания върху различни комерсиални образци на фотоволтаични системи, с които да се сравнят характеристики на предлаганата хибридна фотоволтаична система.

В приложение към дисертацията са дадени проектираните токоизправител с PFC и двупосочен DC-DC преобразувател, по които е реализиран експериментален стенд.

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

Научно-приложните приноси са свързани с изведени математически зависимости за определяне на параметри в схема за гарантиране на режим на работа с намалени загуби от превключване на силовите прибори. Получени изрази за определяне на необходимото „мъртво време“ във функция на параметри на силовите транзистори и предавателната функция на преобразувателя. Съставен алгоритъм за управление на енергийни потоци в система с хибриден инвертор за фотоволтаична система. Приложен принос е разработен модел на DC-DC преобразувател за изследване на режими с намалени комутационни загуби. Чрез добавянето на нисковолтова постояннотокова шина е направено предложение за подобряване на фактора на мощност и коефициента на полезно действие при малки консумации в системата. Като приложен принос може да се разгледа и дефиниране на режими на работа на DC-DC преобразувател и изследваните коефициенти на полезно действие при тези режими. Относно приложните приноси е добре да се изтъкне по подходящ начин подобрението на к.п.д. на системата особено в режим „батерия към мрежа“, доказан експериментално в т.3.3.

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

Убеден съм в личното участие на дисертанта в приносите на основата на събеседвания при докладване на резултати пред съвета на обучаващата катедра и представянето му на няколко научни форума.

7. *Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани.*



В работата са представени три научни публикации, едната е самостоятелна. Публикациите са индексирани в Scopus. Авторът има и други публикации, които имат отношение към тематиката на дисертацията и е могло да бъдат включени. Представените публикации са върху двупосочния AC-DC преобразувател и намаляването на комутационните загуби на двупосочен DC-DC преобразувател. Представени са на три научни форума: 33-rd International Scientific Conference Electronics - ET 2024, 23-rd International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies - SIELA 2024 и 32-nd International Scientific Conference Electronics - ET 2023. Публикациите са включени в цифровата библиотека IEEE Digital Explore и са индексирани с Scopus. Дисертантът има 6 публикации индексирани в базата Scopus. Докторантът е бил член на колектив на договор по тематиката на дисертационния труд, договор в помощ на докторанти, финансиран от НИС на ТУ-София с № 232ПД0003-03 в периода 2023-2024 г.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект и пр. Документи, на които се основава твърдението.

Не са представени документи за постигнат пряк икономически ефект, но повишаването на к.п.д за устройства в мощности от порядъка на kW е с гарантиран икономически ефект. Приложенияте изчислени и проектиране на системи за управление на експерименталния стенд могат да се използват в учебния процес и инженерната практика.

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

Представения автореферат е в обем от 25 страници текст, структуриран в 3 глави. Авторефератът отразява съдържанието на съществени части от дисертацията, основните резултати от изследванията и постигнатите приноси.

10. Мнения, препоръки и бележки.

Представеният ми за рецензиране труд и библиографията към него е от 141 страници, включващи и списък с литературата от 107 заглавия и 13 страници приложения. Основните претенции на автора за приноси са свързани с намаляване на загубите от превключване в DC-DC преобразувател и изведени математически изрази за стойности на „мъртво време“ за постигане на целта. За подсилване на твърдението би било добре да се разгледат и сравнят изследваната схема с намалени комутационни загуби и същата, работеща в режим на „твърди“ комутации. Също така в литературния преглед е било добре да се акцентира и представят и други варианти на схеми и методи за намаляване на комутационните загуби. За пълнота на работата, също може да се представят известните в литературата изрази за изчисляване на загубите от



превключване в режим с „твърда комутация“.

В целите и задачите на дисертацията е заложено подобряване на енергийните показатели. Основно внимание е насочено към к.п.д., който е само един от енергийните показатели на електронни преобразуватели. Разглеждан е и преобразувател за корекция на фактора на мощност по известна схема. При него би могло да се даде по-детайлно подобряването на фактора на мощност при различни режими от изследванията със симулационния модел. Такива са направени на експерименталния стенд.

Като цел е поставена и синтезиране на електронен преобразувател, а по-скоро работата е ориентирана към синтезиране на система от преобразуватели.

Проведени са доста изследвания на комерсиални преобразуватели от фотоволтаични системи. Установени са недостатъци и предимства на комерсиалните спрямо предлаганата структура на хибридна система. Препоръчвам с тези резултати, а и други, установени в процеса на изследване, да бъдат публикувани в подходящи научни форуми.

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

От представения дисертационен труд се вижда, че маг. инж. Ниолай Неховски е показал, че притежава задълбочени теоретични познания, може да провежда самостоятелни научни изследвания и има научно-приложни приноси. Давам положителна оценка на дисертационния труд на тема " Електронни преобразуватели с приложение във възобновяеми източници 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. Николай Василев Неховски по професионално направление 5.2. „Електротехника, електроника, автоматика“, научна специалност „Електронни преобразуватели“.

Дата: 23.06.2025г.



РЕЦЕНЗЕНТ:

(п)

/доц. д-р инж. Димитър Арnaudов/





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**
Professional field 5. Technical science, 5.2. Electrical engineering, electronics,
and automation.*

Reviewer: Assoc. Prof, PhD, Eng. Dimitar Arnaudov, TU-Sofia,

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

The topic of increasing the efficiency of electronic converters in power systems with energy conversion from renewable sources is a pressing issue, as confirmed by numerous publications on the subject. The development of photovoltaic systems and the various variants of their energy conversion and transmission have led to the development of electronic converters as part of these systems. The task in this thesis is to investigate methods to improve the energy performance of electronic converters operating with PV systems. The system under study is a hybrid system, including modules for energy storage and for supplying energy to the grid. The focus is on two main converters of the hybrid system, a bidirectional AC-DC converter and a bidirectional DC-DC converter. These two converters are the basis of any PV system, and the task of increasing the efficiencies is one of the current issues, as evident from numerous publications and research studies. Research in modern electronic systems is also based on simulation models. The design of such is another topical problem developed in the thesis. For the DC-DC converter, the problem of mathematical analysis and the development of simulation models are presented. To demonstrate the advantages of the hybrid system under study, an experimental investigation and comparison with commercial systems are also provided.

2. Degree of understanding of the state of the problem and creative interpretation of the references.

In the literature review, 107 literature sources are cited. The review part of the dissertation starts with an introduction to PV systems and proposed inverter solutions for PV systems. An overview of four basic DC-DC converter circuits, along with their basic operating principles, is provided. Additionally, since the work is oriented towards improving efficiency, other variants of bridge converter circuits with reduced device switching losses could be described in more detail. The research is focused on a hybrid PV system, and comments are made on the losses in the main converters for typical commercially available solutions. Experimental investigations have been carried out on the performance of commercially



available controllers for PV systems. The studies are based on data from installed PV systems.

3. *Correspondence of the chosen research methodology with the stated aim and tasks of the dissertation.*

The research methodology, based on analysis, modeling, and verification through experimental models, aligns with the aim of investigating methods to enhance the energy performance of electronic converters operating in hybrid photovoltaic systems. Of the parameters, the focus is on the energy conversion efficiency of electronic converters and power factor correction. For this purpose, the following tasks are given:

- Review of existing solutions in the industry of this type of systems and their modes of operation.
- Summarizing indicators for evaluating and comparing converters for hybrid PV systems.
- Synthesis of an electronic power converter for a hybrid PV system operating with reduced switching losses.
- Mathematical analysis of a proposed converter to obtain dependencies and requirements for its control.
- Design of simulation models of an electronic converter and its control system for a hybrid inverter, and performing studies in different operating modes.
- Experimental study comparing the proposed system and commercially available solutions.

The methodological approach of the dissertation is correct.

4. *A short analytical description of the nature and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the thesis are based.*

The contributions are based on the results of mathematical analysis of the processes in the bridge inverter, simulation studies using specialized software, and experimental studies to demonstrate the implementation of the selected mode of operation of the power converter, thereby realizing a reduction of switching losses. The dependencies of the "dead times" on the power circuit parameters are obtained and verified in an experimental model.

Based on the analysis of electromagnetic processes in two converter circuits — a single-phase rectifier with power factor correction and a bidirectional DC-DC converter — a set of basic mathematical expressions for currents and voltages in the circuits is presented. The basic relationships for the dead times in the circuit are provided. A block diagram for implementing a hybrid PV system is proposed. A simulation model of the system in the PLECS environment has been developed, and simulation studies have been carried out. In the experimental part of the thesis, inverters for PV systems with grid-connected capability from several manufacturers have been investigated, which demonstrates the current state of the art for inverter systems available on the market. Experimental studies have been done on different commercial PV system models to compare the performance of the proposed hybrid PV system.

In the appendix to the thesis, the designs of a rectifier with PFC and a bidirectional DC-DC converter are shown, on which an experimental test bench has been realized.



5. Scientific and/or applied contributions of the PhD thesis:

The scientific-applied contributions relate to the mathematical dependencies obtained for determining parameters in a circuit, ensuring a mode of operation with reduced switching losses in power devices. Expressions for determining the required "dead time" as a function of power transistor parameters and the converter transfer function were derived. Composed an algorithm to control power flows in a hybrid inverter system for a photovoltaic system. By adding a low-voltage DC bus, a proposal is made to improve the power factor and the efficiency at low loads in the system. The definition of DC-DC converter operating modes and the investigation of efficiencies in these modes can also be considered an applied contribution. Regarding the applied contributions, it is worthwhile to highlight the improvement in system efficiency, particularly in the battery-to-grid mode, which was experimentally proven in Section 3.3.

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

I am convinced of the personal involvement of the PhD student in the contributions, as evident in conversations when reporting results to the departmental council and presenting at several scientific forums.

7. Assessment of the publications published by the author.

Three scientific publications are presented in this work, one of which is a stand-alone publication. The publications are indexed in Scopus. The author has other publications relevant to the thesis topic that could have been included. The presented publications focus on a bidirectional AC-DC converter and the reduction of switching losses in a bidirectional DC-DC converter. They have been presented at three scientific forums: the 33rd International Scientific Conference Electronics - ET 2024, the 23rd International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies - SIELA 2024, and the 32nd International Scientific Conference Electronics - ET 2023. The publications are included in the IEEE Digital Explore library and indexed in Scopus. The author has 6 publications indexed in the Scopus database. The Ph.D. student was a member of a team on a contract related to the topic of their Ph.D. thesis, a contract in support of Ph.D. students, funded by the NIS of TU-Sofia with No. 232PD0003-03 in the period 2023-2024.

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

No documents have been provided on the direct economic effect achieved; however, the increase in efficiency for devices in the kW range is guaranteed to have an economic effect. The applied calculations and design of control systems for the experimental bench can be used in education and engineering practice.

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 abstract is 25 pages of text, structured in 3 chapters. The abstract reflects the content of the thesis's essential parts, including the main research results and the contributions made.

**10. Opinions, recommendations and comments.**

The thesis submitted to me for review, along with its bibliography, is 141 pages long, including a reference list of 107 titles and 13 pages of appendices. The author's main contribution claims relate to the reduction of switching losses in a DC-DC converter and provide mathematical expressions for "dead time" values to achieve this goal. To strengthen the claim, it would be useful to examine and compare the circuit under study with reduced switching losses and the same operating in "hard" switching mode. Additionally, the literature review would have benefited from highlighting and presenting other variants of circuits and methods to reduce switching losses. For completeness of the work, the expressions known in the literature for calculating switching losses in "hard commutation" mode could also be presented.

The aims and tasks of the thesis include improving energy parameters. The main focus is on the efficiency, which is only one of the energy parameters of electronic converters. A power factor correction converter is also considered using a known circuit. Here, the power factor improvement under different modes could be given in more detail from the simulation model studies. Such has been done on the experimental bench.

Synthesizing an electronic converter is also set as a goal; rather, the work is oriented towards synthesizing a system of converters.

A lot of research has been conducted on commercial PV system converters. The advantages and disadvantages of the commercial versus the proposed hybrid system structure have been identified. I recommend that these results, along with others discovered during the research process, be published in appropriate scientific forums.

11. Conclusion with a clear positive or negative evaluation of the thesis.

From the submitted PhD thesis, it is clear that Mag. Eng. Nikolay Nehovski has demonstrated that he possesses in-depth theoretical knowledge, can conduct independent scientific research, and has made significant scientific and applied contributions. I give a positive evaluation to the Ph.D. thesis entitled "Electronic converters with application in renewable energy sources". I believe that it meets the requirements of the Act on the Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria (AADRB) and the Regulations for its implementation, as well as the Regulations for the Conditions and Procedure for the Acquisition of Scientific Degrees at TU-Sofia.

I propose the Honourable Scientific Jury to vote for the award of the educational and scientific degree "PhD" to Mag. Eng. Nikolay Vasilev Nehovski in the professional field 5.2. "Electrical Engineering, Electronics, Automatics", scientific specialty "Electronic Converters".

Date: 23.06.2025r.

Reviewer:

(n)

/Assoc. Prof, PhD, Eng. Dimitar Arnaudov /

