

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“, Професионално направление „Електротехника, електроника и автоматика“, Научна специалност: „Електронизация“

Автор на дисертационния труд: Теодорос Агнестус Петроглу

Тема на дисертационния труд: Reliability and fault tolerance of photovoltaic systems (Надеждност и отказоустойчивост на фотоволтаичните системи)

Рецензент: проф. дтн Тодор Стоилов, Институт по информационни и комуникационни технологии - БАН

Настоящата рецензия е изготвена в качеството ми на член на научно жури, назначено със Заповед № 1294/12.6.2025 г. на Ректора на Югозападен университет „Неофит Рилски“.

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение.

Тематичната насоченост на дисертационния труд е за оценяване на експлоатационни характеристики на фотоволтаични системи, тяхната надеждност и отказоустойчивост. Тази оценка има съществено значение за проектирането, изграждането и поддържането на работоспособността на фотоволтаичните системи. Решенията, които се търсят и прилагат в дисертационната работа са строго придържани към принципите на работа на фотоволтаичните системи, тяхната структура и условия на функциониране. В дисертационната работа са систематизирани потенциални случаи на отказоустойчивост. Представяни са възможни корекции и решения за запазване на производителността на компонентите на фотоволтаичните системи като панели, инвертори, условия на монтиране и експлоатация. Дисертационният труд дава числени данни и оценки от анализите, правени за работата на фотоволтаичните системи. Експерименталните данни на дисертационната работа са събирани в голям период от време, което е позволявало да се изчисляват средни стойности и дисперсия на откази от нормално функциониране на компонентите на фотоволтаичните системи.

Оценявам положително научно-приложната ориентация на дисертационното изследване за анализ и изследване на надеждността и отказоустойчивостта на фотоволтаични системи и техните технически компоненти. Тези анализи са правени следствие от експериментални измервания и записани статистически данни. В дисертационната работа са представени количествени резултати от измервания, оценки за надеждност, критерии за оценяване на ефективност и производителност на работата на компоненти и на цялата фотоволтаична система.

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

Направеният анализ на избраната техническа система и нейни технически компоненти е позволило на дисертационната работа да дефинира практически

задачи за оценка на нейната работа. Съществената част на дисертационното изследване е представянето на статистическите обработени данни от отказите или намалено функциониране на елементи на фотоволтаична система и нейната надеждност като цяло. В използваната литературна справка дисертационният труд се позовава на 123 литературни и информационни източници. Представянето на дисертационния материал е направено професионално. Видно и от автобиографията на докторанта е, че той е работил в организации, свързани с поддържане и експлоатация на фотоволтаични системи. Рецензентът констатира, че кандидатът има силен практически опит в тематичната насоченост на дисертационния труд по надеждност и отказоустойчивост на фотоволтаични системи. Демонстрирана е висока степен на познаване на проблема за надеждност на фотоволтаични системи, на причините за възникване на откази и за потенциалните решения за поправяне и/или повишаване на текущата ефективност на генериране на електрическа енергия. Докторантът показва задълбочени познания за извършването на експерименталните изследвания за оценяване на електрически и надеждностни характеристики на електронните компоненти на фотоволтаичните системи.

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

Дисертационното изследване мотивира необходимостта от поддържането на текущи анализи на работата на компоненти на фотоволтаичните системи. Оценяването на генерираната електрическа енергия от фотопанелите позволява да се оцени необходимостта от съответна подмяна или профилактика от кал, прах, задържана дъждовна вода. Избраната методика в дисертационната работа се основава на събиране на данни от експлоатация на фотоволтаичната система и последващо статистическо обработване на тези данни. Резултатът от статистическите изчисления позволяват да се идентифицират състояния на откази и намалена производителност. При отпадане на цялата система се изследват директните повреди и се препоръчват решения за поправки. Тази инженерна методика е относително обемна и продължителна поради необходимостта за събиране и обработване на статистически минали данни от измервания. Като резултат дисертационното изследване има характер на научно-инженерно изследване за актулни технически фотоволтаични системи.

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

Дисертационната работа е структурирана в четири глави. В глава 1 се представят принципите на работата на фотоволтаичните панели и електрическите процеси на преобразуване на слънчевата радиация в електрическа енергия. Коментирани са условията, влияещи на този процес на преобразуване на енергията. Представя се структурната схема на инвертора, който трябва да преобразува постоянния ток от фотопанелите в променлив, който се използва в текущата енергийна система на енергоразпределение. Като следствие от този анализ са дефинирани областите на отказоустойчивост във фотоволтаичните системи. Те са дефинирани като пропуски при проектирането, откази на техническите средства, влияние на околната среда и най-често прилагани решения за отстраняване на възникнали проблеми. В глава втора са прави статистически анализ на възникнали

откази. Анализът се прави за откази на цял фотоволтаичен парк, откази поради влияния от околната среда. Представят се възможни решения за повишаване на експлоатационния резултат от работата на фотоволтаичните системи. Илюстрирано е формалното количествено оценяване на надежността на инвертор. Оценявана е работата в продължение на 12 години на 34 фотоволтаични системи. Това е позволило да се разработи модел за оценка на надежността на фотоволтаичен инвертор. В глава 3 основната тематична насоченост е повишаване на ефективността на работа на фотоволтаичната система. Тук се акцентира в необходимостта от удачно проектиране, следене за правилно изграждане, подготовка на няколко решения при поява на откази в системата, което ще гарантира своевременно отстраняване на повредите. В глава 4 са представени собствените прилагани решения за повишаване на надежността на фотоволтаичната система съгласно дефинираните от глава 2 подходящи решения. В тази глава се представяни, изчислявани, графично представяни данни и резултати от статистическа обработка на измервания, правени като експерименти и анализи. Главата има характер на добро представяне на приложен практически опит.

5. Научни и/или научно-приложни приноси на дисертационния труд.

Оценявам като научно-приложен принос представените мерки за повишаване на надежността и отказоустойчивостта на фотоволтаични системи. Тези мерки са анализирани и прилагани чрез практически наблюдения правени от докторанта. Особеност на обекта на изследване на фотоволтаичните системи е, че те са стационарни и нямат динамични режими, за които се изисква вземане на решения в реално време. Тази стационарност на фотоволтаичните системи определя, че тяхното условно управление се състои в наблюдение и анализ по показани технологични характеристики и отказоустойчивост на техните компоненти. Тази особеност на избрания обект на дисертационната работа определя и основното съдържание на изследванията в дисертационната работа като анализ на статистически събирани данни. Достоинство на дисертационния труд е въвеждането и изчисляването на количествени характеристики на фотоволтаичните системи. Това е и доказателство за високия професионализъм на докторанта в избраната предметна област на надежност и отказоустойчивост на фотоволтаични системи.

6. Оценка на степента на лично участие на дисертанта в приносите

Рецензентът оценява положително собственото участие на дисертанта в приносите на дисертационния труд. Съдържателната част на дисертацията илюстрира самостоятелното извършване на статистическата обработка на данни за отказоустойчивост на фотоволтаични системи в цялост и за отделни компоненти. Статистическите данни са събирани за много системи и в продължение на голям период от време. Собственото участие на докторанта като служител на фирма, свързана с експлоатацията на фотоволтаични системи е предпоставка за самостоятелно анализиране на отказоустойчивостта в тази система. Засегнат е и проблемът за повишаване на ефективността на производството на електроенергия. Болшинството от представените научни публикации са с автори докторант и неговия

научен ръководител. В заключение рецензентът оценява степента на лично участие на докторанта в разработването на дисертационната тематика като високо и съответстващо на изисквания на академично изследване.

7. Мнение за публикациите по темата на дисертационния труд.

За процедурата на защита е представен и списък с 5 научни публикации. Четири от тях са публикувани в трудове на Научната конференция с международно участие „Електроника“, която се провежда у нас. Една от тях е включена в цифровата библиотека на организацията IEEE. Данните за петата публикация са недостатъчни за да може рецензентът да провери публикуването.

Рецензентът оценява, че представените публикации са направени по тематиката на дисертационния труд.

8. Мнения, препоръки и бележки.

Рецензентът оценява положително съдържателната част на дисертационния труд. Той няма забележки по отношение на изследователската част, направени изводи и резултати. Като елемент на критичност той обръща внимание на това, че част от направените публикации на конференция „Електроника“ не са публикувани. Независимо, че са представени писма за приемане и декларация за публикуване това не се прави от организаторите на конференцията от 2023 г. Затова рецензентът препоръчва при участие в конференции да се избират такива с коректна издателска дейност. Такава например е конференцията “Electronics”, организирана от ТУ-София. Рецензентът се отнася критично и към петата публикация, за която няма данни за публикуването ѝ.

Тези забележки имат характер на съвет и препоръка към бъдещата публикационна дейност на докторанта. Той трябва да бъде в активна позиция при избор на научно мероприятие, в което да участва. Това е предпоставка за разпространение на собствените научни резултати сред изследователската и академична аудитория.

9. Заключение и оценка на дисертационния труд.

Оценявам положително направените научно-приложни приноси на дисертационния труд на **Теодорос Агнестус Петроглу**. Считаю, че изискванията на Закона за развитие на академичния състав в България и Правилника за неговото прилагане са изпълнени в представения дисертационен труд.

Гореизложеното ми дава основание да дам положителна оценка за представения дисертационен труд и да препоръчам на Научното жури да присъди на **Теодорос Агнестус Петроглу** образователната и научна степен „доктор“ по професионално направление **5.2. „Електротехника, електроника и автоматика“** научна специалност „Електронизация“.

Дата 16.7.2025

ЧЛЕН НА НАУЧНОТО ЖУРИ:

/проф. дтн инж. Тодор Стоилов /

REVIEW

about the Ph.D. thesis

Professional field of study: 5.2 „Electrical engineering, electronics and automation“

Scientific specialty: „Electronization“

Ph.D. student: Theodoros Anestis Petroglou

Title of the Ph.D. thesis: Reliability and fault-tolerance of photovoltaic systems

Member of the jury: prof. D.Sc. Ph.D. Eng. Todor Atanasov Stoilov, Institute of information and communication technologies – Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Acad.G.Bontchev str., BL.2

This review was prepared in my capacity as a member of a scientific jury, appointed by Order No. 1294/12.6.2025 of the Rector of the South-West University "Neofit Rilski".

1. Actuality of the problems in the PhD thesis

The thematic focus of the dissertation is on assessing the operational characteristics of photovoltaic systems, their reliability, and fault tolerance. This assessment is of essential importance for the design, construction, and maintenance of the operability of photovoltaic systems. The solutions sought and implemented in the dissertation strictly adhere to the principles of operation of photovoltaic systems, their structure, and operating conditions. The dissertation systematizes potential cases of fault tolerance. Possible corrections and solutions for maintaining the performance of photovoltaic system components, such as panels, inverters, installation, and operation conditions, are presented. The dissertation provides numerical data and estimates from the analyses performed on the operation of photovoltaic systems. The experimental data of the dissertation were collected over a long period of time, which allowed calculating average values and standard deviations of failures from the normal operation of photovoltaic system components.

I positively assess the scientific-applied orientation of the Ph.D. research for the analysis and study of the reliability and fault tolerance of photovoltaic systems and their technical components. These analyses were made as a result of experimental measurements and recorded statistical data. The dissertation work presents quantitative results of measurements, reliability assessments, and criteria for assessing the efficiency and productivity of the operation of components and the entire photovoltaic system.

2. Degree of knowledge of the state of the problem and academic interpretation of the literary material

The analysis of the selected technical system and its technical components has allowed the dissertation to define practical tasks for evaluating its work. The essential part of the dissertation research is the presentation of the statistically processed data from the failures or reduced functioning of elements of a photovoltaic system and its reliability as a whole. In the literature reference used, the dissertation refers to 123 literary and information sources. The presentation of the dissertation material is done professionally. It is also evident from the doctoral student's CV that he has worked in organizations related to the maintenance and operation of photovoltaic systems. The reviewer found that the candidate has strong practical experience in the thematic focus of the dissertation on reliability and fault tolerance of photovoltaic systems. A high degree of knowledge of the problem of reliability of photovoltaic systems, the causes of failures, and the potential solutions for repairing and/or increasing the current efficiency of generating electrical energy has been demonstrated. The doctoral student demonstrates in-depth knowledge of conducting experimental studies to evaluate the electrical and reliability characteristics of electronic components of photovoltaic systems.

3. Correspondence of the chosen research methodology and the set goal and tasks of the dissertation with the contributions achieved

The dissertation research motivates the need to maintain ongoing analyses of the operation of photovoltaic system components. The assessment of the generated electrical energy from the photovoltaic panels allows for assessment of the need for appropriate replacement or prevention of mud, dust, and retained rainwater. The chosen methodology in the dissertation work is based on the collection of data from the operation of the photovoltaic system and subsequent statistical processing of this data. The results of the statistical calculations allow the identification of failure states and reduced productivity. In the event of failure of the entire system, direct damage is investigated, and repair solutions are recommended. This engineering methodology is relatively voluminous and lengthy due to the need to collect and process statistical past measurement data. As a result, the dissertation research has the character of a scientific and engineering study of current technical photovoltaic systems.

4. Scientific and practical achievements in the PhD thesis

The dissertation is structured in four chapters. Chapter 1 presents the principles of operation of photovoltaic panels and the electrical processes of converting solar radiation into electrical energy. The conditions affecting this energy conversion process are commented on. The structural diagram of the inverter is presented, which must convert the direct current from the photovoltaic panels into alternating current, which is used in the current energy distribution system. As a result of this analysis, the areas of fault tolerance in photovoltaic systems are defined. They are defined as design flaws, failures of technical means, environmental influences, and the most frequently applied solutions for eliminating problems that have arisen. In chapter two, a statistical analysis of failures that have occurred is made. The analysis is made for failures of an entire photovoltaic park, failures

due to environmental influences. Possible solutions for increasing the operational result of the operation of photovoltaic systems are presented. The formal quantitative assessment of the reliability of an inverter is illustrated. The work of 34 photovoltaic systems over 12 years was evaluated. This allowed the development of a model for assessing the reliability of a photovoltaic inverter. In Chapter 3, the main thematic focus is on increasing the efficiency of the operation of the photovoltaic system. Here, the emphasis is on the need for appropriate design, monitoring for proper construction, and preparation of several solutions in the event of failures in the system, which will guarantee timely removal of damage. In Chapter 4, the own applied solutions for increasing the reliability of the photovoltaic system are presented according to the appropriate solutions defined in Chapter 2. In this chapter, data and results from statistical processing of measurements made as experiments and analyses are presented, calculated, and graphically presented. The chapter has the character of a good presentation of applied practical experience.

5. Scientific and practical achievements in the PhD thesis

I assess the presented measures as a scientific-applied contribution for increasing the reliability and fault tolerance of photovoltaic systems. These measures have been analyzed and applied through practical observations made by the doctoral student. A feature of the object of study of photovoltaic systems is that they are stationary and do not have dynamic modes for which real-time decision-making is required. This stationarity of photovoltaic systems determines that their conditional management consists of monitoring and analysis of the indicated technological characteristics and fault tolerance of their components. This feature of the chosen object of the dissertation work also determines the main content of the research in the dissertation work, as an analysis of statistically collected data. The dignity of the dissertation work is the introduction and calculation of quantitative characteristics of photovoltaic systems. This is also evidence of the high professionalism of the doctoral student in the chosen subject area of reliability and fault tolerance of photovoltaic systems.

6. Assessment of the degree of personal participation of the dissertation candidate in the contributions

The reviewer positively assesses the doctoral candidate's own participation in the contributions of the dissertation work. The substantive part of the dissertation illustrates the independent performance of the statistical processing of data on fault tolerance of photovoltaic systems as a whole and for individual components. The statistical data were collected for many systems over a long time. The doctoral candidate's participation as an employee of a company related to the operation of photovoltaic systems is a prerequisite for independent analysis of fault tolerance in this system. The problem of increasing the efficiency of electricity production is also addressed. The majority of the scientific publications presented are authored by a doctoral candidate and his/her scientific supervisor. In conclusion, the reviewer assesses the degree of personal participation of the doctoral candidate in the development of the dissertation topic as high and consistent with the requirements of academic research.

7. 4. Assessment of the Ph.D. publications and correspondence with the minimal national legislative requirements

A list of 5 scientific publications is also presented for the defense procedure. Four of them are published in the proceedings of the Scientific Conference with International Participation "Electronika", which is held in our country. One of them is included in the digital library of the IEEE organization. The data for the fifth publication is insufficient for the reviewer to verify the publication.

Considering the number of publications, this satisfies the required threshold of points for the defense of the educational and scientific degree "doctor" through categories G7, and G8. The reviewer assesses that the submitted publications are on the topic of the dissertation work.

8. Few assessments, recommendations, and remarks

The reviewer positively assesses the content of the dissertation work. He has no comments regarding the research part, conclusions, or results. As an element of criticism, he draws attention to the fact that some of the publications made at the "Electronika" conference have not been published. Even though letters of acceptance and a declaration of publication have been submitted, this is not done by the organizers of the 2023 conference. Therefore, the reviewer recommends that when participating in conferences, those with correct publishing activities be chosen. Such, for example, is the "Electronics" conference organized by TU-Sofia. The reviewer is also critical about the fifth publication, for which there is no data on its publication.

These remarks are like advice and recommendations for the future publication activity of the doctoral student. He must be in an active position when choosing a scientific event in which to participate. This is a prerequisite for disseminating one's scientific results among the research and academic audience.

9. Conclusion

I positively assess the scientific and applied contributions made by the dissertation work of **Theodoros Anestis Petroglou**. I find that the requirements of the Act on the Development of the Academic Staff in Bulgaria and the Regulations for its Implementation are met in the presented dissertation work.

The above gives me reason to give a positive assessment of the presented dissertation work and to recommend to the Scientific Jury to award **Theodoros Anestis Petroglou** the educational and scientific degree of "doctor" in professional field **5.2. "Electrical Engineering, Electronics and Automation"** scientific specialty "Electronization".

16.07.2025

Member of the jury:

Prof. D.Sc. Ph.D. Eng. Todor Stoilov