

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор”
Професионално направление: 5.2 Електротехника, електроника и автоматика
Научна специалност: Електронизация

Автор на дисертационния труд: Теодорос Петроглу

Тема на дисертационния труд: Reliability and fault-tolerance of photovoltaic systems.

Рецензент: доц. д-р инж. Иван Иванов Недялков

Настоящата рецензия е изготвена в качеството ми на член на научно жури, назначено със Заповед № 1294/12.06.2025 г. на Ректора на Югозападен университет „Неофит Рилски“.

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

В момента изграждането на фотоволтаични паркове и изобщо фотоволтаични системи за производство на електрическа енергия и захранване на всякакви битови и небитови нужди нарастват експоненциално. Изграждането на такива захранващи мощности се осъществява както от професионалисти, така и от непрофесионалисти и любители. Но има определени изисквания, които трябва да се спазват при изграждането на такива системи, за да може генерираната енергия да е максимална. Всеобщото мнение е, че изграждането на такива захранващи системи е нещо елементарно – взимат се няколко панела; монтират се на добре осветено място; свързват се по определен начин (в зависимост от търсеното напрежение и изходна мощност), след това се свързват към инвертор или друг преобразувател на електрическа енергия (в зависимост от нужното на изходно напрежение), свързване на батерия и фотоволтаичната система е готова. Реалността обаче е друга. Поради изтъкнатото по – горе, разгледаният дисертационен труд изследва много актуална в момента тематика и свързаните с нея проблеми. В дисертационния труд докторантът е направил много обстоен и задълбочен преглед и анализ на проблеми, свързани с експлоатацията на фотоволтаични системи, какви са най – масовите допускани грешки по време на планирането и изграждането на тези системи и друго. Овен това авторът е представил методология, чрез която може да се повиши производителността на вече изградени фотоволтаични системи, работели известен брой години. Приложимостта на предложената методология е доказана с експериментални резултати.

Поставените цели за изпълнение: **„да се изследват настоящите повреди във фотоволтаичните системи и да се анализират причините за намаляване на тяхната производителност; да се въведе систематичен подход за групиране на повредите и да се анализира ролята на натоварването върху производителността на компонентите и как то влияе върху надеждността на системите; да се изследва влиянието на различни фактори върху надеждността, устойчивостта на повреди и намаляването на производителността на фотоволтаичните системи.“** и произтичащите от това задачи за решаване, допълнително акцентират върху съвременната актуалност на дисертационния труд.

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

Реална представа и обосновка за научното ниво или степен на познаване състоянието на проблема и съответна творческа интерпретация на литературния материал може да се формира на базата на изложението в Глава 1 и Глава 2 на дисертационния труд. Чрез Глава 1 докторантът прави въведение в темата като много подробно разглежда какво представляват фотоволтаичните модули; как се произвеждат; какви видове се; каква е разликата между отделните видове. Представен и обяснен е моделът на една фотоволтаична клетка, заедно с нейните електрически и физически параметри. Обърнато е внимание на отделните елементи, от които е изградена една фотоволтаична хранваща система. Главата завършва с преглед на различните видове проблеми и повреди, които се наблюдават при тези системи.

Чрез Глава 2 докторантът подробно и задълбочено ни запознава с различните повреди и проблеми, свързани с фотоволтаичните системи. Представянето е направено на базата на събрана статистическа информация от реални работещи соларни паркове и соларни домашни хранващи системи. В тази глава са представени статистически данни за най – честите повреди в тези системи. В главата е обърната подробно и задълбочено внимание към изискванията за надеждност на инверторите в тези системи. Накрая са разгледани най-често срещаните повреди в търговските фотоволтаични системи.

Използваните литературни източници в тези две глави са изцяло от научни публикации, доклади и статии от реномирани списания, издания от международни конференции от учени и специалисти в областта на темата на дисертацията.

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

Основните цели на дисертационния труд са: **„да се изследват настоящите повреди във фотоволтаичните системи и да се анализират причините за намаляване на тяхната производителност; да се въведе систематичен подход за групиране на повредите и да се анализира ролята на натоварването върху производителността на компонентите и как то влияе върху надеждността на системите; да се изследва влиянието на различни фактори върху надеждността, устойчивостта на повреди и намаляването на производителността на фотоволтаичните системи.“** За изпълнението на тази цели, са формулирани следните задачи:

1. Да се изследват и анализират съществуващите повреди в PVS (Photovoltaic Systems) и да се анализират съвременните методи за анализ и прогнозиране на надеждността на PVS – за решаването на тези задачи, докторантът е направил категоризация на повредите, които възникват в една фотоволтаична система по време на нейната експлоатация. След това е представил различни начини за диагностициране на проблемите и някои начини за решаването им с помощта на нови методи. В края на първа глава докторантът е дал някои реални примери за откриване на неизправности с помощта на инфрачервена фотография, но също така и с анализ на данни от телеметрията на фотоволтаичните системи. Във втора глава авторът представя всички статистически данни относно повредите на фотоволтаичните системи, събрани по време на изследването. Тези повреди са категоризирани в зависимост от причината за възникването им. Причините за

повредите на фотоволтаичните панели и фотоволтаичните инвертори също са проучени в дълбочина;

2. Да се анализират на причините за намаляване на производителността на PVS и да се предложи систематичен подход за анализ на натоварването на компонентите с цел определяне на надеждността на PVS – за решаването на тези задачи докторантът е установил, че 26,1 % от полевите фотоволтаични инсталации са имали намалени годишни добиви поради пропуски в първоначалното планиране. Много соларни системи са били изградени в района в близост до бреговата линия, като корозията е довела до повреди, свързани със солената мъгла. Друг причини за намаляване на генерираната мощност се дължат на неправилното изчисляване на междуредовото разстояние, което води до това, че през зимните месеци траекторията на слънцето е ниско над хоризонта и между редовете има сянка. Друга причина, водеща до намаляване на ефективността на фотоволтаичните системи, открита от докторантът по време на неговите изследвания, е неправилното и асиметрично оразмеряване на отделните стрингове с панели. Небалансираността на паралелните стрингове генерира обратни токове в тях, а неправилното оразмеряване на стринговете в близост до работните граници на соларния инвертор обикновено принуждава инвертора да работи извън най-ефективната точка на работа, а в някои случаи и извън обхвата на MPPT. Накрая докторантът е открил, че това районът на инсталацията трябва да се проучи за динамични съседни препятствия, като например растящи дървета или сграда в процес на изграждане, които евентуално в бъдеще могат да създадат сенчести зони на фотоволтаичната инсталация. Съседните дейности, които евентуално могат да създадат облаци от прах, трябва да се вземат предвид при работата на фотоволтаичните инсталации. За всеки един от откритие проблеми, водещи до намаляване на производителността на фотоволтаичните системи, докторантът е предложил различни методи за решаването им, които водят до повишаване на производителността;

3. Разработване на метод за повишаване на устойчивостта на грешки и ефективността на PVS и проучване на специфични фактори при проектирането на PVS в зависимост от географското положение и климатичните особености на мястото на инсталиране – за решаването на тези задачи докторантът е представил екологичните, геоложките и топологичните условия, които трябва да се вземат предвид за района, където ще се инсталира/изгради съответната фотоволтаична система. Освен тези условия, при проектирането на фотоволтаична система, трябва да се обърне внимание и на експлоатационните граници на оборудването и съвместимостта между тях. По време на началните етапи на проектирането следва да се прецени дали мястото, на което ще се инсталира фотоволтаичната система, отговаря на определени изисквания, представени от докторантът в глава 3.1. Освен това е предложил различни методи и техники за повишаване на безопасността и защитата на фотоволтаичните системи, като защита от пренапрежение, заземяване, резервиране на захранването, защита от пожари;

4. Да се предложи методология за регенериране на фотоволтаични паркове с намалено производство на електроенергия - за решаването на тези задачи докторантът е представил методи за повишаване на енергийната ефективност на фотоволтаичните

системи и начини, по които старите фотоволтаични системи могат да предоставят повече линейна енергия на мрежата, както и данни от реални инсталации. Направени са и предложения за увеличаване на мощността на средностатистическите фотоволтаични системи, без да е необходимо обновяване на мрежовата инфраструктура. Направен е задълбочен анализ на двулицевите фотоволтаични модули и са посочени ключовите фактори, които влияят върху производителността. Две фотоволтаични инсталации, с различни видове двулицеви панели, са анализирани и получените резултати от, прилагането на приложените методите, доказват тяхната ефективност и приложимост.

В обобщение: поставените задачи и методика на изследване съответстват на поставената цел за изпълнение.

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

Представеният дисертационен труд е съставен от четири глави.

В първа глава авторът е направил много детайлна литературна справка, чрез която ни запознава с проблематиката по тематиката на дисертационния труд. Представянето започва с запознаване как се произвеждат фотоволтаичните панели, какви видове са, каква е разликата между тях, както и електрическите и физическите параметри на тези модули. Представен е моделът, чрез който се моделират фотоволтаичните модули. Главата завършва с представяне на различните видове повреди и проблеми, както авторът ги е систематизирал в три основни групи, които е развил подробно в следващите глави на дисертационния труд.

Във втора глава авторът започва да представя същинската част от своя труд – изследвания свързани с надеждността и отказоустойчивостта на фотоволтаични системи. За целите на своето изследване докторантът е анкетирал собствениците на 23 фотоволтаични парка и 34 жилищни фотоволтаични системи, като за целта е направил собствена анкетна карта. На базата на обработените анкети е направил статистическа извадка за най – честите повреди и проблеми, свързани с фотоволтаичните системи. В тази глава докторантът е представил и резултати за най – честите проблеми и повреди, характерни за инверторните модули във фотоволтаичните системи. Тази информация отново е придобита, чрез „прочитане“ на информацията на „регистрационни файлове“ (log files) на инверторите от момента на първоначалното им пускане в експлоатация. Събирането, обработването и анализа на тази информация изисква отделянето на много време.

В трета глава на дисертационния труд докторантът разглежда проблемите, които могат да настъпят при неправилното първоначалното проектиране на една фотоволтаична система и как правилно трябва да бъде извършено първоначалното проектиране. Авторът е направил списък с изисквания, които трябва да се спазват, за да може производителността на фотоволтаичната система да остане постоянна. Съответна, ако тези изисквания не са спазени, производителността на системата намалява. Всичко това е представено с примери от реално работещи системи. В тази глава авторът е обърнал внимание и на допълнителни методи и техники, чрез които ще се повиши надеждността и

защитата на фотоволтаичните системи, като отново всичко е подкрепено с примери. Накрая главата завършва с анализ на неизправности, причинени от грешки и пропуски по време на строителството и как да бъдат предотвратени, отново подкрепени с примери.

В последната глава от дисертационния труд авторът предлага методология, чрез която производителността на вече изградена фотоволтаична система, работила няколко години може да се повиши. За да се постигне този ефект, авторът предлага използването на нов тип фотоволтаични панели, които трябва да се поставят по определен начин. Приложимостта на тази методология е доказана, чрез реализирането на идеята в две фотоволтаични системи, при които генерираната енергия се повишава при подмяната на част от модулите с новите и инсталирането им по съответния начин.

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

В разработването на дисертационния труд са представени 2 научени приноса, 4 научно-приложени и 4 приложни приноси, както следва:

Научени приноси:

- Създаден е модел за индивидуален подход и отчитане на специфични фактори при проектирането на фотоволтаични системи в зависимост от географското положение и климатичните характеристики на мястото на инсталиране;
- Предложена е методика за възстановяване на фотоволтаични паркове с влошен добив на електроенергия;

Научно – приложени приноси:

- Предложени са препоръки кой метод в кои случаи да се използва в зависимост от желаната точност на оценката с изчисляване на MTBF, размера на извадката и вида на анализирания данни;
- Предложен е метод за ранно прогнозиране на повредите и оценка на влошаването на производителността в зависимост от експлоатационните условия на фотоволтаичния парк;
- Предложен е метод за ранно прогнозиране на повредите и оценка на намаляването на производителността в зависимост от експлоатационните условия на фотоволтаичния парк;
- Разработена е методология за оценка на икономическата ефективност на възстановяването на фотоволтаични ферми с намален добив. Изследвани са различни конфигурации на компонентите.

Приложни приноси:

1. Проучени са съществуващите повреди във фотоволтаичните системи и са анализирани основните причини за намаляване на тяхната ефективност. Приложен е систематичен подход за групиране на отказите и анализ на напрежението на компонентите за оценка на надеждността;

2. Анализирани са съвременните методи за анализ и прогнозиране на надеждността на фотоволтаични системи и са сравнени техните предимства и недостатъци. При оценките

са използвани метод с оценка на надеждността на поделементите и метод с анализ на натоварването на компонентите;

3. Представени са систематично формирани данни от изследване на 23 фотоволтаични парка и 34 резидентни системи. Изследвано е влиянието на различни фактори, свързани с фазите "инсталиране" и "експлоатация", върху надеждността, отказоустойчивостта и намаляването на добива на PVS. Емпиричните данни са получени с помощта на телеметрична система и оперативни дневници на PVS, обхващащи периода от инсталирането на PVS до сега;

4. Предложен е нов подход към експлоатацията и поддръжката на фотоволтаични системи намаляване на разходите, увеличаване на времето за работа и подобряване на надеждността и ефективността.

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

Считам, че посочените приноси са лично дело на докторанта. Те са получени на базата на самостоятелен труд, свързан с множество обходи до отделните фотоволтаични системи, които участват в проучването. Тези приноси отразяват основните резултати от дисертационния труд. Трябва да се отбележи, че получените резултати и проведените анализи в дисертационния труд, довели до формулирането на приносите, са докладвани на международни научни конференции и са намерили своето отражение в научни публикации. По мое виждане те са достатъчни за този вид изследване и обогатяват знанията по темата на дисертацията

Резултатът от направена проверка с помощта на специализиран софтуер за авторството и оригиналността на дисертационния труд показва, че има само 6 % съвпадения с известни литературни източници. Този резултат, представеният труд и релевантните приложени публикации ми дават основание да считам, че предложеният дисертационен труд е негово лично дело.

7. Мнение за публикациите по темата на дисертационния труд.

Основните постижения в дисертационния труд са популяризирани в 5 научни публикации, като 4 от тях са от престижни научни конференции, индексирани в световните бази данни. 3 от тях са в процес на отпечатване и са придружени с писма от издателя за скорошното им публикуване. Всички публикации са с теоретично и приложно значение, свързани са с дисертацията и с професионалното направление 5.2. Приемам публикационната дейност като напълно достатъчна по обем, като за бъдеще е желателно авторът да продължи да разширява и увеличава своята публикационна дейност.

8. Мнения, препоръки и бележки.

Към представеният за рецензиране дисертационен труд имам забележки основно свързани с оформянето и структурирането на работата. Представеният ръкопис е трябвало да бъде оформен и структуриран по – добре. Всяка глава е трябвало да започва на отделна страница и да завършва с приноси по отделната глава, както и кои от публикациите са свързани със съответната глава.

Всичките снимки от приложението е трябвало да бъдат разположени на съответните места в текста, а не както е в момента да се споменава, че ги има. Разполагането им в основният текст би придало още по – голяма тежест на получените резултати, а и ще е по

лесно на четящите да добият визуална представа за получените резултати. Така няма да е необходимо да прелистят целият труд за видят конкретната снимка.

Част от представените графики са с лошо качество, заради малкият им размер. Трябвало е да се увеличат, за да виждат резултатите по – добре. Представените фигури е трябвало да се разположат на отстояние от основният текст, както и да има отстояние след графиките.

Има графики, които не са преведени – фигури 2.33 и 2.34.

Преди трудът да бъде депозиран в съответните библиотеки, е желателно да бъде прегледан от текстов редактор, защото има много изречения и пасажки, които са структурирани не правилно. Също така има и доста граматически и технически грешки (липсващи букви).

В бъдещите си изследвания авторът може да обърне по - голямо внимание към комуникационната част на тези системи, тъй като вече тези системи могат да се наблюдават отдалечено, надеждността и сигурността на комуникационната част също е от голямо значение, тъй като се наблюдават различни мрежови атаки, целящи да нарушат нормалната работа на отделните модули на една фотоволтаична система.

9. Заключение и оценка на дисертационния труд.

В заключение считам, че дисертационният труд е оформен в съответствие с изискванията, независимо от забележките, вързани с оформлението и структурирането на дисертационния труд. Представеният труд има определени и потвърдени практически и дефинирани като научни, научно-приложни и приложни приноси, отразени и популяризирани в достатъчен на брой научни публикации в подходящи международни и национални конференции. Предлагам на Уважаемото научно жури **да присъди** образователната и научна степен „доктор” на маг. Теодорос Петроглу в професионално направление 5.2. Електроника, електротехника и автоматика по научна специалност „Електронизация”.

Дата: 15.08.2025

доц. д-р инж. Иван Иванов Недялков

REVIEW

on a dissertation work for the acquisition of an educational and scientific PHD degree

Professional direction: **5.2 Electrical engineering, electronics, and automation**

Scientific specialty: **Electronization**

Author for dissertation work: **Theodoros Petroglu**

Dissertation topic: **Reliability and fault-tolerance of photovoltaic systems.**

Reviewer: Associate Professor Ivan Ivanov Nedyalkov, Ph.D., Eng

This review is prepared in my capacity as a member of the scientific jury appointed by Order No. 1294/12.06.2025 of the Rector of South - West University "Neofit Rilski".

1. Relevance of the problem developed in the dissertation work in scientific and scientific applied terms.

Currently, the construction of photovoltaic parks and photovoltaic systems in general for the production of electricity and for the power supplying of all kinds of domestic and non-domestic needs is growing exponentially. The construction of such power supplying facilities is carried out by professionals, non-professionals and amateurs alike. But there are certain requirements that have to be followed while building such systems so that the power generated is maximum. The general opinion is that the construction of such power systems is something elementary - take a few panels; mount them in a well-lit place; connect them in a certain way (depending on the required voltage and power output), then connect them to an inverter or other power converter (depending on the required voltage output), connect a battery and the PV system is ready. The reality, however, is different. Because of the above, the dissertation under review explores a very topical issue and related problems that are currently of great interest. In the dissertation, the doctoral student has made a very thorough and in-depth review and analysis of the problems associated with the operation of PV systems, what are the most common mistakes made during the planning and construction of these systems and more. In addition, the author has presented a methodology that can be used to increase the performance of PV systems that have already been in operation for a number of years. The applicability of the proposed methodology has been proved with experimental results.

The stated performance objectives are **"to study the current failures in PV systems and analyse the causes of their performance degradation; to introduce a systematic approach to fault grouping and analyse the role of load on component performance and how it affects system reliability; to study the impact of various factors on the reliability, fault tolerance and performance degradation of PV systems"** and the resulting tasks to be solved further accentuate the contemporary relevance of the dissertation work.

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

A real insight and justification of the scientific level or degree of knowledge of the state of the problem and a corresponding creative interpretation of the literature can be formed on the basis

of the exposition in Chapter 1 and Chapter 2 of the dissertation. Through Chapter 1, the PhD student provides an introduction to the topic by looking in great detail at what PV modules are; how they are produced; what types are produced; and what the difference is between the different types. The model of a PV cell is presented and explained along with its electrical and physical parameters. Attention is paid to the individual elements that make up a PV power system. The chapter concludes with an overview of the different types of problems and failures that are observed in these systems.

Through Chapter 2, the PhD student introduces us in detail and in depth to the different failures and problems associated with PV systems. The presentation is made based on statistical information gathered from actual working solar farms and solar home power systems. This chapter presents statistics on the most common failures in these systems. The chapter addresses in detail and in depth the reliability requirements of the inverters in these systems. Finally, the most common failures in commercial PV systems are discussed.

The references used in these two chapters are entirely from scientific publications, reports and articles from reputed journals, publications from international conferences by scientists and specialists in the field of the thesis topic.

3. Compatibility of the chosen research methodology with the stated aim and objectives of the dissertation.

The main objectives of the thesis are **"to investigate the current failures in PV systems and analyze the causes of their performance degradation; to introduce a systematic approach to group failures and analyze the role of load on component performance and how it affects the reliability of the systems; to investigate the impact of various factors on the reliability, fault tolerance, and performance degradation of PV systems."** In order to fulfil this objective, the following tasks have been formulated.

1. To study and analyze the existing PVS (Photovoltaic Systems) failures and to analyze the state-of-the-art methods for PVS reliability analysis and prediction - to solve these tasks, the Ph.D. student has categorized the failures that occur in a PV system during its operation. Then he has presented different ways to diagnose the problems and some ways to solve them using new methods. At the end of the first chapter, the PhD student has given some real examples of fault detection using infrared photography, but also with the analysis of telemetry data of PV systems. In chapter two, the author presents all the statistics on PV system failures collected during the research. These failures are categorized according to their cause. The causes of PV panel and PV inverter failures are also studied in depth;

2. To analyze the causes of PVS performance reduction and to propose a systematic approach for component load analysis to determine PVS reliability - to address these tasks, the Ph.D. student found that 26.1% of field PV installations had reduced annual yields due to gaps in initial planning. Many solar systems were constructed in the area close to the coastline, with corrosion leading to salt spray related failures. Other reasons for the reduction in power generated are due to incorrect calculation of the row spacing, which results in the sun's path being low above the horizon during the winter months and there being shade between the rows. Another cause leading to a reduction in the efficiency of PV systems, discovered by the PhD student during his

research, is the incorrect and asymmetric sizing of individual strings of panels. The unbalance of the parallel strings generates reverse currents in the strings, and the improper sizing of the strings near the operating limits of the solar inverter typically forces the inverter to operate outside the most efficient operating point, and in some cases, outside the MPPT range. Finally, the Ph.D. student found that this installation area should be surveyed for dynamic adjacent obstructions, such as growing trees or a building under construction, that could potentially create shaded areas on the PV installation in the future. Neighboring activities that could potentially create dust clouds should be taken into account when operating PV installations. For each of the discovery problems leading to a decrease in the performance of PV systems, the PhD student has proposed different methods to solve them that lead to an increase in performance;

3. Development of a method to increase the fault tolerance and efficiency of PVS and study of specific factors in PVS design depending on the geographical location and climatic characteristics of the installation site - to solve these tasks, the PhD student presented the environmental, geological and topological conditions to be considered for the area where the PV system will be installed/built. In addition to these conditions, when designing a PV system, consideration must also be given to the operating limits of the equipment and the compatibility between them. During the initial stages of the design, it should be assessed whether the location where the PV system is to be installed meets certain requirements presented by the PhD student in Chapter 3.1. Furthermore, he has proposed various methods and techniques to enhance the safety and protection of PV systems, such as surge protection, earthing, power redundancy, and fire protection;

4. To propose a methodology for the regeneration of PV farms with reduced electricity production - to solve these tasks the PhD student has presented methods to increase the energy efficiency of PV systems and ways in which older PV systems can provide more linear energy to the grid, as well as data from real installations. Suggestions are also made for increasing the power output of average PV systems without the need to upgrade the grid infrastructure. An in-depth analysis of bifacial PV modules is made and the key factors affecting performance are identified. Two photovoltaic installations, with different types of bifacial panels, are analyzed and the results obtained from, the application of the applied methods, prove their efficiency and applicability.

In summary: the objectives and methodology of the study are in line with the stated purpose of the study.

4. Brief analytical characterization of the nature and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the dissertation are built.

The presented dissertation consists of four chapters.

In the first chapter, the author has made a very detailed literature review, through which he introduces us to the issues of the dissertation. The presentation starts by introducing how photovoltaic panels are manufactured, what types they are, what is the difference between them, and the electrical and physical parameters of these modules. The model used to model the PV modules is presented. The chapter concludes with a presentation of the different types of failures

and problems as the author has systematized them into three main groups, which he has developed in detail in the following chapters of the thesis.

In chapter two, the author begins to present the actual part of his work - research related to the reliability and fault tolerance of PV systems. For the purpose of his research, the PhD student has surveyed the owners of 23 PV parks and 34 residential PV systems, making his own questionnaire. On the basis of the processed questionnaires, he has made a statistical sample of the most frequent failures and problems related to PV systems. In this chapter, the PhD student has also presented results on the most frequent problems and failures typical for inverter modules in PV systems. This information was again obtained by "reading" the information on the "log files" of the inverters from the time of their initial commissioning. Collecting, processing and analysing this information requires a lot of time.

In chapter three of the dissertation, the PhD student discusses the problems that can occur when a PV system is initially designed incorrectly and how the initial design should be done correctly. The author has made a list of requirements that need to be met in order for the performance of the PV system to remain constant. Accordingly, if these requirements are not met, the performance of the system decreases. All this is presented with examples from real working systems. In this chapter the author has also addressed additional methods and techniques that will increase the reliability and protection of PV systems, again all supported by examples. Finally, the chapter concludes with an analysis of failures caused by errors and omissions during construction and how to prevent them, again supported by examples.

In the last chapter of the dissertation, the author proposes a methodology by which the performance of a PV system that has been in operation for several years can be increased. In order to achieve this effect, the author proposes the use of a new type of photovoltaic panels that must be placed in a certain way. The applicability of this methodology has been proven by implementing the idea in two PV systems, where the generated energy is increased when replacing part of the old modules with the new ones and installing them in the appropriate way.

5. Scientific and /or scientific-applied contributions of the dissertation work

In the development of the dissertation are presented 2 scientific contributions, 4 scientifically applied and 4 applied contributions as follows:

Scientific contributions:

- A model has been created to take an individual approach and consider specific factors in the design of PV systems depending on the geographical location and climatic characteristics of the installation site;
- A methodology for the restoration of PV parks with degraded electricity yield is proposed;

Scientific – applied contributions:

- Recommendations are offered on which method to use in which cases, depending on the desired accuracy of the estimate with MTBF calculation, sample size, and type of data analyzed;

- A method for early failure prediction and performance degradation estimation depending on the PV fleet operating conditions is proposed;
- A method is proposed for early failure prediction and performance degradation estimation depending on the PV farm operating conditions;
- Developed a methodology to evaluate the cost-effectiveness of restoring PV farms with reduced yield. Different configurations of the components are studied.

Applied contributions:

1. The existing failures in PV systems are studied and the main causes of their efficiency reduction are analyzed. A systematic approach to failure grouping and component voltage analysis for reliability assessment is applied;

2. Current methods for PV system reliability analysis and prediction are analyzed and their advantages and disadvantages are compared. A sub-element reliability estimation method and a component stress analysis method were used in the evaluations;

3. Systematically formed data from a study of 23 PV parks and 34 resident systems are presented. The influence of various factors related to the "installation" and "operation" phases on the reliability, fault tolerance and yield reduction of PVS is investigated. Empirical data were obtained using a telemetry system and PVS operational logs covering the period from PVS installation to the present;

4. A new approach to the operation and maintenance of PV systems is proposed reducing costs, increasing uptime and improving reliability and efficiency.

6. Evaluation of the degree of personal involvement of the dissertant in the contributions.

I believe that the above contributions are the personal work of the PhD student. They have been obtained on the basis of independent work, involving multiple visits to the individual PV systems involved in the study. These contributions reflect the main results of the thesis. It should be noted that the results obtained and the analyses carried out in the thesis, leading to the formulation of the contributions, have been reported at international scientific conferences and have been reflected in scientific publications. In my view, they are sufficient for this type of research and enrich the knowledge on the topic of the dissertation.

The result of a check made with the help of specialized software for the authorship and originality of the dissertation shows that there are only 6% matches with known literature sources. This result, the submitted thesis and the relevant attached publications give me reason to believe that the proposed dissertation is his personal work.

7. Opinion on the publications on the topic of the dissertation work

The main achievements in the dissertation work are popularized in 5 scientific publications, 4 of them are from prestigious scientific conferences, indexed in world databases. 3 of them are in the process of printing and are accompanied by letters from the publisher about their recent publication. All publications are of theoretical and applied importance, related to the thesis and to the professional field 5.2 Electrical engineering, electronics, and automation. I accept the

publication activity as fully sufficient in volume, and it is desirable for the author to continue to expand and increase his publication activity in the future.

8. Opinions, recommendations and comments.

I have some remarks to the dissertation submitted for review, mainly related to the layout and structuring of the work. The submitted manuscript should have been formatted and structured better. Each chapter should have started on a separate page and ended with contributions to the chapter and which publications are related to the chapter.

All the pictures from the appendix should have been placed in the appropriate places in the main text, not as it is currently mentioned that they are there. Placing them in the main text would give even more weight to the results, and it would be easier for readers to get a visual idea of the results. This way they would not have to flip through the whole paper to see the specific picture.

Some of the graphics are of poor quality due to their small size. They had to be enlarged to see the results better. The figures presented should have been spaced apart from the main text, and there should have been spacing after the graphs.

There are graphs that have not been translated - Figures 2.33 and 2.34.

Before the thesis is deposited in the appropriate libraries, it is desirable to have it reviewed by a textual editor because there are many sentences and passages that are not structured correctly. There are also many grammatical and technical errors (missing letters).

In future research the author may pay more attention to the communication part of these systems, as now these systems can be monitored remotely, the reliability and security of the communication part is also of great importance, as various network attacks have been observed to disrupt the normal operation of the individual modules of a PV system.

9. Conclusion and evaluation of the dissertation work

In conclusion, I believe that the dissertation is formatted in accordance with the requirements, despite the remarks related to the layout and structuring of the dissertation. The submitted work has certain and confirmed practical and defined as scientific, scientific and applied contributions, reflected and promoted in a sufficient number of scientific publications in relevant international and national conferences. I propose to the Honourable Scientific Jury **to award the** degree of Doctor of Education and Science to Theodoros Petroglu in the professional field 5.2. Electronics, Electrical Engineering and Automatics in the scientific specialty "Electronization".

Date: 15.08.2025

Assoc. Prof. Ivan Ivanov Nedyalkov, Ph.D., Eng