

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: Александър Евгениев Ганев

Тема на дисертационния труд: Изследване на интелигентни методи за оптимизация на ефективността на фотоволтаични системи в динамични среди.

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

Настоящата рецензия е изготвено в качеството ми на член на научно жури, назначено със Заповед № 1102/24.04.2026 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 със системите за проследяване на слънчевата траектория (СПСТ). Какви биват тези системи как се осъществява следенето, каква е ефективността на отделните СПСТ и друго. Овен това авторът е разгледал и различните алгоритмите за следене на максималната точка на мощността (MPPT – Maximum Power Point Tracking) как работят, какви биват, каква им е ефективността и друго. Разработен е унифициран теоретичен модел за оценка на енергийната ефективност на фотоволтаичните системи, който интегрира геометричните аспекти на ориентацията на ФВ модулите и електрическите режими на работа, определяни от MPPT управлението. Анализът на енергийните загуби и теоретичните граници на ефективността показва, че максималният потенциал на фотоволтаичните системи може да бъде реализиран единствено при съгласувано и координирано управление между системите за проследяване на слънчевата траектория и алгоритмите за следене на максималната точка на мощността.

Поставената цел за изпълнение: **„е да се извърши задълбочен теоретичен анализ и оценка на методите за проследяване на слънчевата траектория и алгоритмите за максимално извличане на мощност при фотоволтаични системи, с цел**

идентифициране на научни пропуски, формулиране на унифицирани концептуални модели и определяне на теоретични насоки за оптимизация на енергийната ефективност на фотоволтаични инсталации“ 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 анализира и оценява СПСТ, алгоритмите им за управление и възможните грешки по време на следенето. Обърнато е внимание и на алгоритмите за проследяването на максималната точка на мощността, като е направен анализ и оценка на основните MPPT алгоритми. Главата завършва с преглед на различните видове преобразуватели, които се използват при реализацията на различните MPPT алгоритми.

Чрез Глава 2 докторантът подробно и задълбочено ни запознава с направени теоретичен анализ на ефективността при фотоволтаични системи със слънчево проследяване и MPPT. Разгледани са ефективност на фотоволтаични системи, теоретични основи на слънчевото проследяване, анализ на съвременните системи за MPPT, синергичен модел на взаимодействието между слънчево проследяване и MPPT управление, аналитичен модел на енергийните загуби във фотоволтаичните системи различните повреди и проблеми, свързани с фотоволтаичните системи. Представянето е направено на базата на задълбочен преглед и анализ на различни литературни източници и симулационни модели.

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.

Целта на дисертационния труд е: **„да се извърши задълбочен теоретичен анализ и оценка на методите за проследяване на слънчевата траектория и алгоритмите за максимално извличане на мощност при фотоволтаични системи, с цел идентифициране на научни пропуски, формулиране на унифицирани концептуални модели и определяне на теоретични насоки за оптимизация на енергийната ефективност на фотоволтаични инсталации“**. За изпълнението на тази цел, са формулирани следните задачи:

1. Анализ на физичните и геометричните принципи, определящи слънчевата траектория и ориентацията на фотоволтаични модули – за решаването на тези задача, докторантът е направил задълбочен литературен преглед и анализ, който включва: геометрични аспекти и оптимизация на пространствената ориентация при фотоволтаични (ФВ) системи (разглежда се влиянието на ориентацията, азимутът (γ) и наклона на модула, ъгълът на наклона (β), като в зависимост от техните стойности, генерираната енергия от

модула е различна. При този анализ авторът е обърнал внимание и на многоредови ФВ централи, при които от критично значение е определянето на минималното разстояние между редовете от ФВ модули (d), за да се избегне взаимното засенчване. Авторът е направил и задълбочен преглед и анализ на основите на слънчевото проследяване. Тук той разглежда основните параметри, свързани с определяне на траекторията и ориентацията на ФВ модулите, които оказват влияние върху количеството генерирана енергия. Разгледани са основни ограничения на съществуващите системи. Накрая докторантът обръща внимание на тенденции и предизвикателства при интелигентното управление на СПСТ. Като начин на реализиране на интелигентно управление, се предлага използването на вградени системи, базирани на нискоенергийни Ардуино и ESP32 за прости алгоритми за управление на СПСТ, до мощни системи с Raspbери Пи. На базата на направеният анализ авторът достига до изводът, че **„Слънчевото проследяване представлява механизъм за поддържане на оптимален ъгъл между нормалата на фотоволтаичния модул и вектора на падащото слънчево лъчение.“**

2. Анализ и оценка на MPPT алгоритми и системите за слънчево проследяване според конструкция и управление – за решаването на тези задачи докторантът е направил детайлен преглед на алгоритмите за MPPT. Разгледаните алгоритми са групирани в две групи – класически (при които се изменя напрежението, за да се „търси“ максимална изходна мощност) и интелигентни (при които е налице някаква логика или модел, или се използва изкуствен интелект). За всеки един от разгледаните алгоритми, авторът е направил анализ и оценка, в резултат на което е отбелязал предимствата и недостатъците на разгледаните алгоритми. Накрая авторът е разгледал и различните ключови стабилизатори, които се управляват от съответните алгоритми и се използват за „търсенето“ на MPPT. За всеки един от преобразувателите са дадени изразите, с които се описват предаването на енергията, както и предимствата, недостатъците и особености, които са характерни за всеки от преобразувателите.

3. Теоретичен анализ на взаимодействието между слънчево проследяване и MPPT при оптимизация на енергийния добив. – за решаването на тази задача докторантът е комбинирал получените резултати от предходните две задачи и е представил анализ от предимствата, които се получават при комбинирането на СПСТ и MPPT системи. Системният ефект от тази комбинация може да бъде описан чрез разширен енергиен баланс, при който общата произведена енергия се разглежда като функция от производението на коефициента на геометрично усвояване (СПСТ система) и коефициента на електрическо извличане на мощност (MPPT алгоритъм). Направеният анализ показва, че ефективността на фотоволтаичните системи със слънчево проследяване и MPPT представлява резултат от нелинейно взаимодействие между геометрични, термодинамични, електрически и контролни фактори. Този извод е онагледен много добре в труда чрез графики, таблици и математически изрази.

4. Разработване на унифицирани теоретични и математически модели за оценка на енергийната ефективност, включващи както ориентацията на ФВ модулите, така и електрическите работни режими - за решаването на тези задачи докторантът е разгледал: условия за стабилно проследяване на максималната мощност; стабилност на

MPPT при взаимодействие със слънчевото проследяване и различните енергийни загуби във фотоволтаичните системи. За онагледяване на енергийните загуби във фотоволтаична система със СПСТ и MPPT, докторантът е разработил няколко симулационни модела, на базата на представените математически изрази. Допълнително към загубите, авторът е доразвил своите модели, като е добавил и засенчвания от облаци, за да се симулира максимално реална фотоволтаична система. Авторът е представил математически изрази, чрез които може да се прогнозира годишният енергиен добив. На базата на получените резултати, авторът е разработил математически модел, чрез който се определя ефективността на фотоволтаични системи със слънчево проследяване и MPPT управление. За доказване приложимостта на модела, докторантът е представил и числен пример, който разглежда реален фотоволтаичен модул, с реални статистически данни за слънчевата радиация за избраният от автора географски район. Численият пример е направен за четири режима на работа – без СПСТ, със СПСТ (без MPPT), използване само на MPPT (без СПСТ) и комбиниран режим, при който се използва едновременно СПСТ и MPPT. Формулираните математически и симулационни модели създават теоретична основа за оптимизация на фотоволтаичните системи и позволяват оценка на влиянието на различни фактори върху енергийния добив.

5. Идентифициране на научни пропуски и формулиране на концептуални насоки за интегрирани системи за управление – авторът е формулирал концептуални насоки и пропуски основно в текста към глави 1 и 2. Там почти навсякъде се забелязват коментари, от страна на докторанта, в които той изтъква своите виждания за бъдещи насоки и забелязани пропуски.

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 три глави.

В първа глава авторът е направил детайлно литературно проучване, чрез което ни запознава с проблематиката по тематиката на дисертационния труд. Представянето започва с запознаване с основите на слънчевото проследяване, какво представлява, как се реализира, какви са системите за проследяване на слънчевата траектория как се осъществява управлението на тези системи. Главата завършва с представяне на различните видове MPPT алгоритми, какво представляват. Докторантът ги е групирал в две големи групи – класически и интелигентни. Накрая той представя основният елемент, който се управлява от алгоритмите на MPPT – ключовият стабилизатор, като е разгледал ключовите стабилизатори, които се използват за реализиране на MPPT.

Във втора глава авторът започва да представя същинската част от своя труд – теоретичен анализ на ефективността при фотоволтаични системи със слънчево проследяване и MPPT. Тук той представя математически изрази, чрез които се описват процесите в СПСТ системите, загубите в тези системи. Представен е математическият израз, описващ електрическото поведение на фотоволтаичната клетка, както и

математически изрази, описващи други зависимости, свързани с фотоволтаичната клетка. В главата са дадени и математически модели, свързани с МРРТ. На базата на представените математически модели и изрази, авторът представя математически изрази, описващи процеси в комбинирана система със СПСТ и МРРТ. За визуализиране на предимствата от използването на комбинирана система, докторантът е представил графики и таблици, показващи предимствата на комбинираната система. Главата завършва с аналитичен модел на енергийните загуби във фотоволтаичните системи, като авторът е направил няколко симулации на енергийни загуби в комбиниран система. Към разработените симулации, докторантът е добавил и засенчване на модулите, за да бъдат симулациите максимално близки до реални комбинирани системи. Накрая на глава 2 авторът представя теоретичен модел за прогнозиране на годишния енергиен добив на комбинирана система.

В последната глава от дисертационният труд авторът предлага математически модел на ефективността на фотоволтаични системи със слънчево проследяване и МРРТ управление, който е базиран на направеният анализ в глава 2. За доказване приложимостта на модела, докторантът е представил и числен пример, който разглежда реален фотоволтаичен модул, с реални статистически данни за слънчевата радиация за избраният от автора географски район. Численият пример е направен за четири режима на работа – без СПСТ, със СПСТ (без МРРТ), използване само на МРРТ (без СПСТ) и комбиниран режим, при който се използва едновременно СПСТ и МРРТ. Формулираните математически и симулационни модели създават теоретична основа за оптимизация на фотоволтаичните системи и позволяват оценка на влиянието на различни фактори върху енергийния добив.

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

В разработването на дисертационния труд са представени 1 научен принос, 3 научно-приложени и 1 приложен принос, както следва:

Научен принос:

- Разработени са унифициран теоретичен и математически модели за оценка на енергийната ефективност на фотоволтаичните системи, интегриращ геометричните аспекти на слънчевото проследяване и електрическите режими на работа, определяни от МРРТ алгоритмите.

Научно – приложени приноси:

- Извършен е комплексен теоретичен анализ и оценка на системите за проследяване на слънчевата траектория и алгоритмите за максимално извличане на мощност, разгледани като взаимосвързани подсистеми в рамките на фотоволтаичните инсталации;
- Предложен е модел за оценка на динамичната грешка на МРРТ алгоритмите при променящи се условия на осветеност, чрез многопараметричен анализ;
- Формулиран е оптимизационен критерий за максимизиране на енергийния добив на фотоволтаични системи с комбинирано управление.

Приложни приноси:

1. Реализирана е симулация на синергичният ефект между системите за проследяване на слънчевата траектория и алгоритмите за проследяване на точката на максимална мощност;

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 преглед на голям брой литературни източници. 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 3 % 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 четири научни публикации, като всичките са от научни конференции, индексирани в националните бази данни. Две 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.

След направената проверка на представените 4 публикации, се установи, че две от тях – „ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЪЩЕСТВУВАЩИТЕ СИСТЕМИ ЗА ПРОСЛЕДЯВАНЕ НА СЛЪНЧЕВАТА ТРАЕКТОРИЯ ПРИ ФОТОВОЛТАИЧНИ ИНСТАЛАЦИИ“ и „ОБЗОР НА ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ С ПРОСЛЕДЯВАНЕ НА СЛЪНЧЕВАТА ТРАЕКТОРИЯ“ са с идентичен текст и фигури. След проверка с платформата StrikePlagiarism.com се установи сходство от 72% между двете публикации. Съществените разлики между двете публикации са в заглавията и представената таблица, която в двете публикации е различна. Поради това, че двете публикации са еднакви и нямат съществен научен принос, ще се приравнят за една публикация. След това приравняване докторантът има признати 3 публикации, в две от които е самостоятелен автор и една е в съавторство.

Приемам публикационната дейност като задоволителна, като за бъдеще е желателно авторът да внимава в публикационния процес, за да не допуска повече такива грешки. Той трябва да продължи да разширява и увеличава своята публикационна дейност.

8. Мнения, препоръки и бележки.

Към представения 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, както и кои от публикациите са свързани със съответната глава.

Част от представените фигури са с лошо качество.

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 бъдеще авторът не трябва да допуска такива грешки, както е случаят с дублираните публикации.

Публикационната активност трябва да се увеличи, като за бъдеще трябва да има и публикации, които да са индексирани в Scopus/WoS.

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 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. Александър Ганев в професионално направление 5.2. Електроника, електротехника и автоматика по научна специалност „Електронизация”.

Дата: 28.05.2026

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: **Alexander Ganev**

Dissertation topic: **Research on intelligent methods for optimization of the efficiency of photovoltaic systems in dynamic environments.**

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. 1102/ 24.04.2026 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 solar farms and solar power systems in general—designed to generate electricity and power supply for all kinds of residential and non-residential needs—is growing exponentially. The installation of such power generation systems is carried out by professionals as well as non-professionals and hobbyists. However, there are certain requirements that must be followed when building such systems to ensure maximum energy generation. The general perception is that building such power systems is simple—you take a few panels; install them in a well-lit location; connect them in a specific way (depending on the desired voltage and output power), then connect them to an inverter or other electrical energy converter (depending on the required output voltage), connect a battery, and the photovoltaic system is ready. The reality, however, is different. Due to the reasons outlined above, the dissertation under review explores a topic that is highly relevant at present and the issues associated with it. In the dissertation, the doctoral candidate has carried out a very thorough and in-depth review and analysis of issues related to solar tracking systems (SPTS). What these systems are, how tracking is performed, what the efficiency of individual SPTS is, and more. Furthermore, the author has examined the various algorithms for Maximum Power Point Tracking (MPPT)—how they work, what types exist, what their efficiency is, and more. A unified theoretical model has been developed to assess the energy efficiency of photovoltaic systems, which integrates the geometric aspects of PV module orientation and the electrical operating modes determined by MPPT control. An analysis of energy losses and theoretical efficiency limits shows that the maximum potential of photovoltaic systems can only be realized through coordinated and synchronized control between solar tracking systems and maximum power point tracking algorithms.

The objective of this project is **“to carry out an in-depth theoretical analysis and evaluation of methods for tracking the sun’s trajectory and algorithms for maximizing power output in photovoltaic systems, with the aim of identifying scientific gaps, formulate unified conceptual models, and establish theoretical guidelines for optimizing the energy efficiency of photovoltaic installations”**, along with the resulting tasks to be addressed, further underscore the contemporary relevance of the dissertation.

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

A realistic understanding and justification of the scientific level or degree of knowledge regarding the state of the problem, as well as a corresponding creative interpretation of the literature, can be formed based on the discussion in Chapters 1 and 2 of the dissertation. In Chapter 1, the doctoral candidate provides an introduction to the topic by analyzing and evaluating PV systems, their control algorithms, and potential errors during tracking in great detail. Attention is also given to maximum power point tracking (MPPT) algorithms, with an analysis and evaluation of the main MPPT algorithms. The chapter concludes with an overview of the various types of converters used in the implementation of the different MPPT algorithms.

In Chapter 2, the doctoral candidate provides a detailed and in-depth overview of the theoretical analysis of the efficiency of photovoltaic systems with solar tracking and MPPT. The chapter examines the efficiency of photovoltaic systems, the theoretical foundations of solar tracking, an analysis of modern MPPT systems, a synergistic model of the interaction between solar tracking and MPPT control, an analytical model of energy losses in photovoltaic systems, and various faults and issues related to photovoltaic systems. The presentation is based on an in-depth review and analysis of various literature sources and simulation models.

The literature sources used in these two chapters consist entirely of scientific publications, reports, and articles from reputable journals, as well as proceedings from international conferences by scholars and experts in the field covered by the dissertation.

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

The aim of this dissertation is: **“to conduct an in-depth theoretical analysis and evaluation of methods for tracking the sun’s path and algorithms for maximizing power output in photovoltaic systems, with the aim of identifying scientific gaps, formulate unified conceptual models, and establish theoretical guidelines for optimizing the energy efficiency of photovoltaic installations.”** To achieve this objective, the following tasks have been formulated:

1. Analysis of the physical and geometric principles governing the sun’s path and the orientation of photovoltaic modules – to address these issues, the doctoral candidate carried out an in-depth literature review and analysis, which includes: geometric aspects and optimization of spatial orientation in photovoltaic (PV) systems (the influence of orientation, azimuth (γ), and module tilt angle (β) is examined, as the energy generated by the module varies depending on their values). In this analysis, the author also focuses on multi-row PV power plants, where determining the minimum distance between rows of PV modules (d) is critical to avoid mutual shading. The author has also conducted an in-depth review and analysis of the fundamentals of solar tracking. Here, he examines the key parameters related to determining the trajectory and orientation of PV modules, which influence the amount of energy generated. Major limitations of existing systems are discussed. Finally, the doctoral student draws attention to trends and challenges in the intelligent control of PV systems. As a means of implementing intelligent control, the use of embedded systems is proposed, ranging from low-power Arduino and ESP32-based

systems for simple PV control algorithms to powerful systems using Raspberry Pi. Based on the analysis, the author concludes that **“Solar tracking is a mechanism for maintaining an optimal angle between the normal of the photovoltaic module and the vector of the incident solar radiation.”**

2. Analysis and evaluation of MPPT algorithms and solar tracking systems based on design and control—to address these issues, the doctoral student conducted a detailed review of MPPT algorithms. The algorithms examined are grouped into two categories—classical (in which the voltage is adjusted to “seek” maximum output power) and intelligent (in which some logic or model is employed, or artificial intelligence is used). For each of the algorithms examined, the author conducted an analysis and evaluation, as a result of which he noted the advantages and disadvantages of the algorithms in question. Finally, the author examined the various key regulators controlled by the respective algorithms and used to “search” for the MPPT. For each of the converters, expressions are provided that describe the energy transfer, as well as the advantages, disadvantages, and specific characteristics of each converter.

3. Theoretical analysis of the interaction between solar tracking and MPPT in optimizing energy yield. – To address this task, the doctoral student combined the results obtained from the previous two tasks and presented an analysis of the advantages gained by combining solar tracking and MPPT systems. The systemic effect of this combination can be described through an extended energy balance, in which the total energy produced is considered as a function of the product of the geometric utilization coefficient (SST system) and the electrical power extraction coefficient (MPPT algorithm). The analysis shows that the efficiency of photovoltaic systems with solar tracking and MPPT results from a nonlinear interaction between geometric, thermodynamic, electrical, and control factors. This conclusion is clearly illustrated in the paper through graphs, tables, and mathematical expressions.

4. Development of unified theoretical and mathematical models for assessing energy efficiency, incorporating both the orientation of PV modules and electrical operating modes—to address these issues, the doctoral student examined: conditions for stable maximum power point tracking; stability of MPPT when interacting with solar tracking and the various energy losses in photovoltaic systems. To illustrate the energy losses in a photovoltaic system with PSC and MPPT, the PhD student developed several simulation models based on the presented mathematical expressions. In addition to the losses, the author further developed his models by adding cloud shading to simulate a photovoltaic system as realistically as possible. The author has presented mathematical expressions that can be used to predict annual energy yield. Based on the results obtained, the author has developed a mathematical model to determine the efficiency of photovoltaic systems with solar tracking and MPPT control. To demonstrate the model’s applicability, the doctoral candidate has also presented a numerical example that examines a real photovoltaic module, using real statistical data on solar radiation for the geographical region selected by the author. The numerical example was performed for four operating modes: without SPST, with SPST (without MPPT), using only MPPT (without SPST), and a combined mode in which both SPST and MPPT are used simultaneously. The formulated mathematical and simulation models provide a theoretical basis for the optimization of

photovoltaic systems and allow for the assessment of the influence of various factors on energy yield.

5. Identification of research gaps and formulation of conceptual guidelines for integrated management systems – the author has outlined conceptual guidelines and identified gaps primarily in the text of Chapters 1 and 2. Throughout these sections, the doctoral candidate has included comments in which he outlines his views on future directions and identified gaps.

In summary: the research objectives and methodology are consistent with the stated goal 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 dissertation consists of three chapters.

In the first chapter, the author conducts a detailed literature review, introducing the issues related to the topic of the dissertation. The presentation begins with an introduction to the fundamentals of solar tracking: what it is, how it is implemented, what systems are used to track the sun's path, and how these systems are controlled. The chapter concludes with a presentation of the various types of MPPT algorithms and what they entail. The doctoral student has grouped them into two main categories—classical and intelligent. Finally, he presents the main element controlled by the MPPT algorithms—the key stabilizer—and discusses the key stabilizers used to implement MPPT.

In the second chapter, the author begins to present the main body of his work—a theoretical analysis of the efficiency of photovoltaic systems with solar tracking and MPPT. Here, he presents mathematical expressions that describe the processes in SPT systems and the losses in these systems. The mathematical expression describing the electrical behavior of the photovoltaic cell is presented, as well as mathematical expressions describing other relationships related to the photovoltaic cell. The chapter also provides mathematical models related to MPPT. Based on the presented mathematical models and expressions, the author derives mathematical expressions describing processes in a combined system with a PV array and MPPT. To illustrate the advantages of using a combined system, the doctoral student has provided graphs and tables showing the benefits of the combined system. The chapter concludes with an analytical model of energy losses in photovoltaic systems, with the author having performed several simulations of energy losses in a combined system. To the developed simulations, the doctoral student has also added shading of the modules to make the simulations as close as possible to real combined systems. At the end of Chapter 2, the author presents a theoretical model for forecasting the annual energy yield of a combined system.

In the final chapter of the dissertation, the author proposes a mathematical model of the efficiency of photovoltaic systems with solar tracking and MPPT control, based on the analysis presented in Chapter 2. To demonstrate the model's applicability, the doctoral candidate has also presented a numerical example that examines a real photovoltaic module, using actual statistical data on solar radiation for the geographic region selected by the author. The numerical example was performed for four operating modes: without SPST, with SPST (without MPPT), using only MPPT (without SPST), and a combined mode in which both SPST and MPPT are used

simultaneously. The formulated mathematical and simulation models provide a theoretical basis for the optimization of photovoltaic systems and allow for the assessment of the influence of various factors on energy yield.

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

This dissertation presents 1 scientific contribution, 3 scientific-applied contributions, and 1 applied contribution, as follows:

Scientific contribution:

- Unified theoretical and mathematical models have been developed for evaluating the energy efficiency of photovoltaic systems, integrating the geometric aspects of solar tracking and the electrical operating modes determined by MPPT algorithms.

Scientific – applied contributions:

- A comprehensive theoretical analysis and evaluation of solar tracking systems and maximum power point tracking (MPPT) algorithms, considered as interconnected subsystems within photovoltaic installations, has been conducted;
- A model has been proposed for evaluating the dynamic error of MPPT algorithms under varying illumination conditions through a multi-parameter analysis;
- An optimization criterion has been formulated to maximize the energy yield of photovoltaic systems with combined control.

Applied contributions:

A simulation of the synergistic effect between the solar tracking systems and the peak power point tracking algorithms has been carried out.

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

I believe that the contributions mentioned are the doctoral candidate's own work. They are the result of independent research involving a review of a large number of literature sources. These contributions reflect the main findings of the dissertation. It should be noted that the results obtained and the analyses conducted in the dissertation, which led to the formulation of the contributions, have been presented 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 results of a check conducted using specialized software to verify the authorship and originality of the dissertation show that there is only a 3% overlap with known literary sources. This result, the presented work, and the relevant attached publications give me reason to believe that the proposed dissertation is his own original work.

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

The main findings of the dissertation have been presented in four scientific publications, four of which are from scientific conferences indexed in national databases. Two of them are in the process of being printed and are accompanied by letters from the publisher confirming their

imminent publication. All publications have theoretical and practical significance, are related to the dissertation, and align with professional field 5.2.

After reviewing the four publications submitted, it was determined that two of them— “STUDY OF EXISTING SYSTEMS FOR TRACKING THE SUN’S TRAJECTORY IN PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS” and “OVERVIEW OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH SUN TRACKING” – have identical text and figures. A check using the StrikePlagiarism.com platform revealed a 72% similarity between the two publications. The significant differences between the two publications are in the titles and the table presented, which is different in the two publications. Since the two publications are identical and do not make a significant scientific contribution, they will be counted as a single publication. After this consolidation, the doctoral student has 3 recognized publications, two of which are as sole author and one as co-author.

I consider the author’s publication record to be satisfactory; however, in the future, the author should pay closer attention to the publication process to avoid such errors. The author should continue to expand and increase their publication output.

8. Opinions, recommendations and comments.

I have some comments on the dissertation submitted for review, primarily regarding the formatting and structure of the work. The manuscript should have been better formatted and structured, and it should have been made clear which publications are related to each chapter.

Some of the figures shown are of poor quality.

Before the thesis is submitted to the relevant libraries, it is advisable to have it reviewed by a copyeditor, as there are many sentences and passages that are not structured correctly. There are also quite a few grammatical and technical errors (missing letters).

In the future, the author should avoid making such mistakes, as is the case with duplicate publications.

Publication output must be increased, and future publications should also be indexed in Scopus/WoS.

9. Conclusion and evaluation of the dissertation work

In conclusion, I believe that the dissertation has been prepared in accordance with the requirements, notwithstanding the comments regarding its formatting and structure. The presented work has certain scientific, applied scientific, and applied contributions, which have been reflected and disseminated in a sufficient number of scientific publications at relevant international and national conferences. I propose that the Honorable Academic Jury **award the educational and scientific degree** of “Doctor” to Alexander Ganev, M.Sc., in the professional field 5.2. Electronics, Electrical Engineering, and Automation, in the scientific specialty “Electronics.”

Date: 28.05.2026

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