

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор”
Професионално направление 5.3. Комуникационна и компютърна техника
Научна специалност: Компютърни системи, комплекси и мрежи

Автор на дисертационния труд: маг. **Манол Стефанов Аврамов**

Тема на дисертационния труд: **„Изследване на антенни структури за захранване на възли в безжични персонални мрежи“**

Рецензент: **доц. д-р инж. Иван Динков Иванов**

Настоящата рецензия е изготвена в качеството ми на член на научно жури, назначено със Заповед №498 г. на Ректора на Югозападен университет „Неофит Рилски“.

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

Безжичните технологии са от ключово значение за успеха на цифровата трансформация и за развитието на индустрията, интелигентните градове, модерното образование и т.н. От друга страна прогнозите показват, че до края на 2025г. в световен мащаб ще бъдат свързани около 75 милиарда устройства, които ще обменят информация помежду си. Този огромен брой на безжични устройства от своя страна ще доведе до драстично увеличаване на потреблението на енергия. Поради тази причина, въпросът, как да се осигури захранване на устройствата в безжични мрежи от алтернативни източници на енергия, става все по-актуален и належащ за решение. **Темата на дисертацията е изключително актуална, фокусирана върху актуална тематика свързана с решаване на въпроса как да се осигури захранване на устройствата в безжични персонални мрежи от алтернативни източници на енергия, породен от големия брой на безжични устройства, използвани в почти всеки сектор – от банкиране и селско стопанство до транспорт и здравеопазване.**

Целта на дисертационния труд е да се разработят нови методи за проектиране и характеризирание на ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи.

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

Представеният материал показва, че докторантът задълбочено е проучил голям брой от значимите научни публикации в областта на решаване на въпроса как да се осигури захранване на устройствата в безжични персонални мрежи от алтернативни източници на енергия. Общият брой на цитираните литературни източници е 127, като повече от 85% от тях са публикувани през последните десет години, което е следствие от актуалността на темата. Въз основа на това правилно са формулирани целта на дисертационния труд и задачите за нейното постигане.

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

В изпълнение на поставените задачи, във втора глава е разработена и представена методология за физическо проектиране на ректени, приложими за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи. Методологията е демонстрирана чрез алгоритъм. В настоящи дисертационен труд са представени резултати от проведени измервания на интензитета на електрическото поле в градска зона, подходяща за развитие на „интелигентно градско земеделие“. За провеждане на измерванията е приложен методът на широколентово измерване, който е избран в съответствие с европейските стандарти EN 50413:2019. Прилагането на този метод позволява да се оцени интензитета на електрическото поле в широка честотна лента, осреднен за определен интервал от време. За постигане на повторимост и сравнимост на представените резултати е предложена четири стъпкова методология за провеждане на измерванията. Избрани са топологии на елементите за решаване на поставените задачи. В трета глава, проектирането на ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи е осъществено чрез предложената във втора глава на дисертационния труд методология. В четвърта глава, е представена разработената методология, която позволява да се осъществи оценка на отделните елементи на ректената и в същото време позволява възпроизводимост и повторимост на резултатите. Методологията е апробирана чрез изследване на основните параметри на три антенни структури върху гъвкави подложки, както и на съгласуващата и токоизправителната вериги на ректената. На базата на гореизложеното, считам, че е налице пълно съответствие между избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд.

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

В **първа глава**, е направен кратък преглед на стандартите за безжични персонални мрежи, като са разгледани специфични особености във връзка с проектирането и изследването на антенните структури за приемане и преобразуване на електромагнитните полета от изкуствени източници и възможностите за използването им за захранване на възли в безжични персонални мрежи. Представена е класификация на възобновяемите източници на енергия и са разгледани възможностите за приложението им в безжичните персонални мрежи. Определени са представените към настоящия момент видове антенни структури за преобразуване на мощността от ЕМП и използването и като източник на захранване на устройства с малка консумация.

Във **втора глава** на дисертационния труд са представени обобщената блокова схема на ректена, разработената методология за проектиране на ректени, приложими за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи, демонстрирана чрез алгоритъм. Представени са резултати от проведени измервания на интензитета на електрическото поле в градска среда, оповестени в авторска публикация [A1]. Избрани са топологии на елементите за решаване на поставените задачи в следващите глави на дисертационния труд.

В **трета глава** на дисертационния труд е осъществено проектиране на три антенни структури за ректени въз основа на предложената методология, представена във втора

глава. Разработени са числени модели и прототипи на всяка от отделните антенни структури. Изследвани са параметрите на антенните структури в избрания честотен обхват. Проектирана е съгласуваща и изправителна верига с малки размери със съсредоточени параметри. Изработен е прототип, и са проведени изследвания в широк честотен обхват.

В **четвърта глава** е представена методология, която позволява да се осъществи оценка на основни параметри и характеристики отделните елементи на ректената, която позволява възпроизводимост и повторимост на резултатите. Методологията е апробирана чрез изследване на основните параметри на три антенни структури върху гъвкави подложки, както и на съгласуващата и токоизправителната вериги на ректената.

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

Основните приноси са:

1. Разработената методология за физическо проектиране на ректени, демонстрирана чрез алгоритъм, която позволява да се отчетат специфичните особености при комуникационните възли, работещи в персонални мрежи, изградени по стандарти IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4 или IEEE 802.15.6.
2. Предложена е методология, която позволява да се осъществи оценка на отделните елементи на ректена, възпроизводимост и повторяемост на резултатите от измерване.
3. Предложена е постановка за оценка на интензитета на електрическото поле от изкуствени източници в градска среда, позволяваща повторяемост и сравнимост на резултатите от измерване. Постановката е апробирана и резултатите от измерване са предавани.
4. Проектирани и изследвани са две нови антенни структури върху гъвкави подложки за ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи.
5. Въз основа на предложената методология са характеризирани предложените две нови антенни структури върху гъвкави подложки за ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи, както и една диполна антена върху трислойна подложка..

Считам, че тези приноси правилно отразяват постигнатото от автора в процеса на проведените изследвания и несъмнено ще намерят своята практическа приложимост.

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

Самостоятелната публикация и тези, на които е на първо място, са доказателство за неговото водещо участие при извършването на научните изследвания и приносите към тях.

7. Мнение за публикациите по темата на дисертационния труд.

По темата на дисертационния труд са представени четири публикации: и четирите са в сборници от международни научни конференции, в научната област на дисертацията. В една от публикациите [A1] маг. Манол Стефанов Аврамов е самостоятелен автор. Две от публикациите [A3 и A4] са в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестната база данни с научна информация Scopus. От направената справка за цитиранията се вижда, че в базата данни SCOPUS са налични 9 цитата на публикациите по дисертацията.

Всичко това показва, че работата е получила необходимата публичност. Същността и обема на направените публикации и доклади напълно отразяват разработените проблеми от дисертационния труд.

8. Мнения, препоръки и бележки.

Към представеният дисертационен труд могат да се отправят следните препоръки и критични бележки:

- В текста на дисертационния труд се срещат чуждици, правописни, стилистични и печатни грешки;
- Препоръчвам докторанта да продължи развитието си в избраната от него област.
- Въпрос 1: Може ли да бъде увеличена и по какъв начин ефективността на изправителната верига?
- Въпрос 2: Оказва ли влияние поляризацията на антената върху приетата мощност?

9. Заключение и оценка на дисертационния труд.

Въпреки отправените забележки изразявам **положително мнение** за предоставения ми дисертационен труд. Спазени са изискванията за присъждане на образователна и научна степен „доктор“. Получените резултати в дисертационния труд представляват оригинален научно-приложен принос.

Въз основа на предоставените материали по дисертационния труд, тяхната актуалност, представени научно-приложни и приложни приноси, считам за основателно да предложа на Уважаемите членове на Научното жури да подкрепят присъждането на образователна и научна степен „доктор“ на маг. Манол Стефанов Аврамов.

Дата 04.04.2025г.

ЧЛЕН НА НАУЧНОТО ЖУРИ:

/доц. д-р инж. Иван Динков Иванов/

REVIEW

of a dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor"

Professional field: 5.3. Communication and Computer Engineering

Scientific specialty: Computer Systems, Complexes, and Networks

Author of the dissertation: **M.Sc. Manol Stefanov Avramov**

Title of the dissertation: ***"Study of Antenna Structures for Powering Nodes in Wireless Personal Networks"***

Reviewer: **Assoc. Prof. Dr. Eng. Ivan Dinkov Ivanov**

This review has been prepared in my capacity as a member of the scientific jury appointed by Order No. 498 of the Rector of South-West University "Neofit Rilski".

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

Wireless technologies are key to the success of digital transformation and the development of industry, smart cities, and modern education. On the other hand, forecasts indicate that by the end of 2025, approximately 75 billion devices will be connected worldwide, exchanging information with each other. This enormous number of wireless devices will lead to a drastic increase in energy consumption. For this reason, the issue of how to power devices in wireless networks using alternative energy sources is becoming increasingly relevant and urgent.

The topic of the dissertation is extremely relevant, focused on addressing how to provide power to devices in wireless personal networks from alternative energy sources. This issue arises due to the large number of wireless devices used in nearly every sector—from banking and agriculture to transportation and healthcare.

The aim of the dissertation is to develop new methods for designing and characterizing rectennas for powering communication nodes in wireless personal networks.

2. Degree of topic knowledge and creative interpretation of the literary material.

The presented material shows that the doctoral candidate has thoroughly studied a large number of significant scientific publications related to powering wireless personal network devices using alternative energy sources. A total of 127 literature sources are cited, more than 85% of which have been published in the last ten years, demonstrating the relevance of the topic. Based on this, the dissertation's objectives and the tasks to achieve them are appropriately defined.

3. Consistency of the selected research methodology with the dissertation goal and tasks.

To accomplish the set tasks, Chapter 2 presents a methodology for the physical design of rectennas applicable for powering communication nodes in wireless personal networks. The methodology is demonstrated through an algorithm. The dissertation includes results from measurements of electric field intensity in an urban area suitable for the development of "smart urban agriculture." The method used for these measurements is broadband measurement, selected according to European standard EN 50413:2019. This method allows for the evaluation of the electric field intensity over a wide frequency range, averaged over a certain period.

To ensure the repeatability and comparability of the results, a four-step methodology for conducting the measurements is proposed. Element topologies were selected for solving the set tasks. In Chapter 3, the rectenna design for powering communication nodes is carried out using the methodology presented in Chapter 2. In Chapter 4, a developed methodology is presented, which enables the evaluation of individual rectenna elements and ensures reproducibility and repeatability of the results. The methodology was validated through a study of the key parameters

of three antenna structures on flexible substrates, along with the matching and rectifying circuits of the rectenna.

Based on the above, I conclude that there is full alignment between the chosen research methodology and the set objectives and tasks of the dissertation.

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

Chapter 1 presents a brief overview of wireless personal network standards and specific considerations for designing and studying antenna structures for receiving and converting electromagnetic fields from artificial sources and the possibilities of using them to power wireless network nodes. A classification of renewable energy sources is provided, along with their application in wireless personal networks. Existing types of antenna structures for converting EMF power into usable energy for low-power devices are discussed.

Chapter 2 outlines a block diagram of a rectenna, a developed methodology for their design, and results from measurements in an urban environment, published in author publication [A1]. Selected topologies for further research are presented.

In Chapter 3, the design of three antenna structures for rectennas is carried out based on the proposed methodology. Numerical models and prototypes of each antenna structure are developed. Their parameters are studied within a selected frequency range. A compact matching and rectifying circuit is designed and prototyped, and studies are conducted over a wide frequency range.

Chapter 4 introduces a methodology for evaluating the key parameters and characteristics of individual rectenna elements, ensuring reproducibility and repeatability of the results. This methodology is validated through the study of three antenna structures on flexible substrates, including matching and rectifying circuits.

5. Scientific and/or applied research contributions of the dissertation.

The main contributions are:

A methodology for the physical design of rectennas demonstrated through an algorithm that accounts for the specific features of communication nodes operating in personal networks built on IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, or IEEE 802.15.6 standards.

A proposed methodology for evaluating individual rectenna elements, ensuring reproducibility and repeatability of the measurement results.

A measurement setup for evaluating the electric field intensity from artificial sources in an urban environment, enabling repeatability and comparability of measurement results. The setup has been validated, and results have been published.

Two new antenna structures on flexible substrates for rectennas designed and studied for powering communication nodes in wireless personal networks.

Based on the proposed methodology, the two new antenna structures and one dipole antenna on a three-layer substrate have been characterized.

These contributions accurately reflect the research accomplishments of the author and will undoubtedly find practical applications.

6. Evaluation of the degree of personal participation of the PhD candidate

The independent publication and those where the candidate is listed as the first author are evidence of his leading role in the scientific research and contributions.

7. Assessment of dissertation publications

Four publications have been presented on the dissertation topic—all published in proceedings of international scientific conferences in the relevant field. One of the publications [A1] is solely

authored by M.Sc. Manol Stefanov Avramov. Two publications [A3 and A4] are in journals indexed and referenced in the globally recognized Scopus database. According to Scopus, there are nine citations of the dissertation-related publications. This shows that the research has received adequate public exposure. The essence and volume of the publications and conference reports fully reflect the issues addressed in the dissertation.

8. Comments, recommendations, and remarks

The following remarks and recommendations can be made regarding the dissertation:

The dissertation text contains some foreign words, spelling, stylistic, and typographical errors.

It is recommended that the doctoral candidate continue his development in the chosen field.

Question 1: Can the efficiency of the rectifying circuit be increased, and how?

Question 2: Does antenna polarization affect the received power?

9. Conclusion and dissertation assessment.

Based on the above, I express a positive opinion regarding the submitted dissertation. The requirements for the award of the educational and scientific degree "Doctor" have been met. The results represent original scientific and applied contributions.

Based on the submitted dissertation materials, their relevance, and the presented scientific and applied contributions, I consider it justified to propose to the esteemed members of the Scientific Jury to award M.Sc. Manol Stefanov Avramov with the educational and scientific degree "Doctor".

Date: 04.04.2025

MEMBER OF THE SCIENTIFIC JURY:

/Assoc. Prof. Dr. Eng. Ivan Dinkov Ivanov/