

РЕЦЕНЗИЯ

на 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: **Манол Стефанов Аврамов**

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

Рецензент: **проф. д-р инж. Илия Георгиев Илиев, Технически Университет – София, ФТК, кат. Радиокомуникации и видеотехнологии**

Настоящата рецензия е изготвена в качеството ми на член на научно жури, назначено със **Заповед №498/04.03.2025г.** на Ректора на Югозападен университет „Неофит Рилски”.

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

Безжичните комуникации са неразделна част от съвременния свят, като определят не само начина на живот на хората, но и коренно промениха начина на производство и управление на икономиката. Те позволяват бърз и лесен достъп до информация, свързват хора и устройства в реално време и създават нови възможности в различни сфери на живота. Проучванията показват експоненциално нарастване на използваните различни по вид и технология безжични устройства и нуждата от допълнителна енергия, необходима за тяхната работа. Появиха се множество изследвания и разработки, свързани с осигуряване на алтернативно енергийно захранване. Една от многото алтернативи е използването на енергията от изкуствено създадени електромагнитни полета от радио предаватели.

Представеният за рецензиране дисертационен труд разглежда проблематика, свързана с проектирането на антенни структури за приемане и преобразуване на енергията на електромагнитни полета от изкуствени източници, и възможностите за използването им за захранване на възли в безжични персонални мрежи.

От казаното до тук следва, че разработените проблеми в дисертационния труд са актуални и имат своята значимост в научно приложно отношение за осигуряване на алтернативни енергийни източници за захранване на възли от безжични комуникационни мрежи.

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

Същността на дисертацията е изложена в четири глави на 110 страници. Първа глава представя обзор на безжичните персонални мрежи и технологиите за събиране на енергия от алтернативни източници за захранване на възли от безжични персонални мрежи. Останалите три глави са свързани с решаване на поставените задачи, което е дефинирано в техните наименования: Методология за проектиране на антенна

структура за събиране на радиочестотна енергия от околната среда; Проектиране и изследване на ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи; Характеризиране на антенни структури на ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи. Представеният сравнителен анализ във всички глави демонстрира отлично познаване на изследваните проблеми, защото са определени празните полета в изследваната тематика, а от там и задачите за решаване в дисертационния труд.

Анализът и постигнатите резултати се базират върху изследванията от 121 литературни източника, като над 90% от тях са през последните 10 години. Смятам, че докторантът отлично познава разработваните проблеми и творчески интерпретира получените резултати.

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

Дисертационният труд има за цел разработването на нови методики и похвати за проектиране и характеризирание на ректени за захранване на комуникационни. За постигане на поставената цел са решени следните задачи:

1. Разработване на методология за проектиране на ректени за захранване на комуникационни възли.
2. Тестване и изследване на предложената методология за проектиране и изследване на антенни структури за захранване на комуникационни възли.
3. Разработване на методология за оценка на отделните елементи на ректен, с цел доказване на възпроизводството и повторяемостта на резултатите от измерване.
4. Апробиране на предложената методология.

Както се вижда от структурата на дисертацията и поставената цел и задачи използваният похват при нейното разработване е съставен от цикъл с два процеса: представяне на нова концепция, методология, методика и последващо тестване, апробиране, анализ и сравнение на получените резултати. Използвани са съвременни методи за проектиране и симулация на антенни структури, подкрепени с резултати от реализация и реални измервания. Избраната методика за изследване напълно съответства на поставената цел и задачи на дисертацията. Нещо повече, получените реални резултати от измервания на разработените структури носят съответната научно приложна значимост и достоверност на получените резултати.

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

В първа глава на дисертацията е направен преглед на стандартите за безжични персонални мрежи, като са анализирани различни възможности за проектиране и изследване на антенните структури за преобразуване на електромагнитните полета от изкуствени източници и тяхното приложение 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. Направен е анализ на различни съществуващи антенни структури за захранване на устройства с малка консумация.

Във втора глава е представена обобщената блокова схема на ректена, предложена е методика за проектиране на ректени, приложими за захранване на комуникационни възли. Представени са резултати от проведени измервания на интензитета на електрическото поле в градска среда [A1] и те са сравнени с тези, получени от други изследователи в различни части на света. Избрани са топологии на елементите на преобразувател на енергия за решаване на поставените задачи в следващите глави на дисертационния труд.

В трета глава труд са представени резултатите от проектирането на две антенни структури върху гъвкави подложки за ректени въз основа на предложена методология, представена във втора глава. Разработени са симулационни модели и са изработени прототипи за всяка структура. Изследвани са параметрите на антенните структури. За доказване на приложимостта на методологията е проектирана съгласуващо трансформираща и изправителна верига със съсредоточени параметри. Изследван е изработен прототип, и са проведени измервания в честотен обхват от 2 GHz до 3 GHz при различно съпротивление на товара. Резултатите са представени в авторски публикации [A2, A3].

Четвърта глава е предложена и изследвана методика за оценка на отделните елементи на ректен, чрез измервания с цел възпроизводимост и повторемост на резултатите. Методиката включва изисквания към опитната постановка за измерване, процедура за провеждане на измерванията и процедура за обработка на резултатите. Същата е тествана при изследване на основните параметри на две нови антенни структури върху гъвкави подложки, както и на съгласуващата и токоизправителната вериги на ректените.

Резултатите, с които се доказва приложимостта на разработените методики са получени чрез проектиране и измерване параметрите на прототипи на нови структури. По този начин ясно се демонстрира, че приносите на дисертационния труд имат своята тежест и се потвърждава достоверността на направените изследвания.

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

Приносите в дисертацията имат преди всичко научно-приложен и приложен характер. Същите се отнасят до създаване на нови структури и алгоритми за придобиване на нови и усъвършенстване на съществуващи функционални параметри на антенни за захранване на възли в безжични персонални мрежи. Те могат да бъдат обобщени по следния начин:

1. Научно–приложни приноси:

- Разработена е методология за проектиране на ректени, демонстрирана чрез алгоритъм, включваща специфичните особености на комуникационните възли,

работещи в персонални мрежи, изградени по стандарти IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4 или IEEE 802.15.6.

- Предложена е методика за оценка на основните параметри и характеристики на отделните елементи на ректен, целяща възпроизводимост и повторяемост на резултатите от измерване.

И двете методики са тествани и изследвани чрез проектиране, реализация и измерване параметрите на нови антенни структури върху гъвкава подложка.

2. Приложни приноси:

- 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 чрез измервания.

- Проектирани и изследвани са две нови антенни структури върху гъвкави подложки за ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи.

- Чрез методиката за оценка характеристиките на ректен са оценени двете нови антенни структури върху гъвкави подложки за захранване на комуникационни възли и една диполна антена върху трислойна подложка.

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

Приносите от дисертацията са коректно дефинирани и напълно съответстват на получените резултати. Същите притежават необходимата публичност чрез представените доклади, публикации и лично участие на докторанта в два национални научни проекта. Темата на дисертацията е от областта на компетенции на докторанта и няма съмнение за неговото активно участие, а резултатите несъмнено показват, че той е разширил и задълбочил своите компетенции.

7. Мнение за публикациите по темата на дисертационния труд.

Научните публикации, получените резултати и разработените идеи са дело на дисертанта с подкрепата на ръководителя му. В резултат на дисертацията са публикувани 4 труда. Три от тях са публикувани в национални конференции с международно участие, индексирани в SCOPUS. Има една самостоятелна публикация в национален научен форум на млади учени. Две от публикациите са цитирани от международни автори в издания, реферирани в SCOPUS. Едната [A3] е от 2019г. и е цитирана 6 пъти, а другата [A4] от 2022 един път.

Докторантът е участвал в два успешно приключили национални научно-изследователски проекта. Това е позволило на докторанта да популяризира резултатите от дисертацията си.

8. Мнения, препоръки и бележки.

Съществуват множество терминологични неточности в дисертацията. Например:

- Използва се понятието „ламинат” вместо приетото диелектрична подложка стр. 72, 73;
- В глава 3 се говори за „числени модели”, а в действителност става въпрос за симулационни, топологични модели;
- Не е необходимо пространното изследване параметрите на микролентова линия с вълново съпротивление 50 ома в обхвата на 2.4GHz за диелектрична подложка FR4 – фиг. 3.2-1, 3.2-2, таблица 3.2-1. Същото е напълно достъпно и изчерпателно изследвано в множество публикации, още от средата на 20 век;
- Не е дефиниран честотния обхват на измерванията напрегнатостта на електромагнитното поле – Глава 2. Полезно е да се представят резултати и анализ за разпределението на енергийния спектър в честотна област. Това би подкрепило обоснования избор на честотните обхвати за работа на антенните структури и рентабилността на преобразувателите на енергия.

9. Заключение и оценка на дисертационния труд.

Представената работа има необходимите качества на дисертационен труд. Докторантът се е изявил като изграден научен работник, способен самостоятелно да решава сложни задачи. Получени са съществени научно-приложни и приложни приноси с голям потенциал и значение за бъдещото на безжичните технологии и алтернативни източници за хранване. По тази причина направените по-горе забележки и препоръки не омаловажават общата ми положителна оценка.

Смятам, че дисертацията напълно съответства на изискванията на Закона за висше образование и Закона за развитието на академичния състав в Република България. Затова без съмнение декларирам пред Научното жури, че дисертацията съдържа всички елементи като такава, давам **положителна оценка** на дисертация на **маг. Манол Аврамов** и предлагам на научното жури да му бъде присъдена образователно-научна степен „доктор”.

Дата 03.04.2025

ЧЛЕН НА НАУЧНОТО ЖУРИ:

/проф. д-р инж. Илия Илиев/

REVIEW

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

Professional field: **5.3. Communication and computer technology**

Scientific specialty: **Computer systems, complexes and networks**

Author of the dissertation: **Manol Stefanov Avramov**

Topic of the dissertation: **Investigation of Antenna Structures for Powering Nodes in Wireless Personal Networks**

Reviewer: **Prof. Dr. Eng. Ilia Iliev, Technical University - Sofia, FTC, Department of Radio Communications and Video Technologies**

This review has been prepared in my capacity as a member of the scientific jury, appointed by Order No. **498/04.03.2025** of the Rector of the South-West University "Neofit Rilski".

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

Wireless communications are an integral part of the modern world, defining not only people's lifestyles but also fundamentally changing the methods of production and economic management. They enable quick and easy access to information, connect people and devices in real-time, and create new opportunities in various fields of life. Studies indicate exponential growth in the use of different types and technologies of wireless devices, leading to an increased need for additional energy for their operation. Numerous studies and developments have emerged, focusing on providing alternative energy sources. One of the many alternatives is the use of energy from artificially created electromagnetic fields from wireless transmitters.

The dissertation submitted for review addresses issues related to designing antenna structures for receiving and converting the energy of electromagnetic fields from alternative sources and their potential use for powering nodes in wireless personal networks.

From the above, it follows that the problems developed in the dissertation are relevant and have scientific and practical significance in ensuring alternative energy sources for powering nodes in wireless communication networks.

2. Level of familiarity with the state of the problem and creative interpretation of the literature.

The essence of the dissertation is presented in four chapters covering 110 pages. The first chapter provides an overview of wireless personal networks and energy harvesting technologies from alternative sources for powering wireless personal network nodes. The remaining three chapters focus on solving the defined tasks, as indicated by their titles:

- Methodology for designing antenna structures for harvesting radio frequency energy from the environment;
- Design and investigation of rectennas for powering communication nodes in wireless personal networks;
- Characterization of rectenna antenna structures for powering communication nodes in wireless personal networks.

The comparative analysis presented in all chapters demonstrates an excellent understanding of the researched problems, as the knowledge gaps in the studied field have been identified, forming the basis for the dissertation tasks. The analysis and obtained results are based on studies from 121 references, with over 90% of them from the last 10 years. I believe the doctoral candidate has an excellent command of the researched problems and creatively interprets the obtained results.

3. Compliance of the chosen research methodology with the dissertation's objectives and tasks.

The dissertation aims to develop new methodologies and approaches for designing and characterizing rectennas for powering communication nodes. To achieve this goal, the following tasks have been addressed:

1. Development of a methodology for designing rectennas for powering communication nodes.
2. Testing and investigation of the proposed methodology for designing and analyzing antenna structures for powering communication nodes.
3. Development of a methodology for evaluating individual rectenna components to verify reproducibility and repeatability of measurement results.
4. Validation of the proposed methodology.

The dissertation structure and the defined objectives and tasks show that the approach used in its development consists of a cycle with two processes: the introduction of new concepts, methodologies, and techniques, followed by testing, validation, analysis, and comparison of obtained results. Modern methods for designing and simulating antenna structures are used, supported by results from real implementations and actual measurements. The selected research methodology fully corresponds to the dissertation's objectives and tasks. Moreover, the obtained real measurement results of the developed structures contribute to the scientific and practical significance and reliability of the results.

4. Brief analytical characterization and assessment of the reliability of the material supporting the dissertation's contributions.

The **first chapter** of the dissertation reviews wireless personal network standards, analyzing various possibilities for designing and researching antenna structures for converting electromagnetic fields from artificial sources and their application for powering nodes in wireless personal networks. The classification of renewable energy sources is presented, and their applicability in wireless personal networks is discussed. An analysis of existing antenna structures for low-power device powering is provided.

The **second chapter** presents a generalized block diagram of the rectenna, proposing a design methodology for rectennas applicable for powering communication nodes. Measurement results of electric field intensity in an urban environment are provided and compared with those obtained by other researchers worldwide. Topologies of energy conversion elements are selected for solving the tasks in the following chapters.

The **third chapter** presents the design results of two flexible substrate antenna structures for rectennas based on the proposed methodology. Simulation models and prototypes for each structure are developed and examined. The parameters of the antenna structures are studied. To prove the applicability of the methodology, a matching and rectifier circuits with lumped elements are designed. A prototype is tested, and measurements are conducted within the frequency range of 2 GHz to 3 GHz under different load resistances. The results are published in academic articles.

The **fourth chapter** proposes and investigates a methodology for evaluating individual rectenna elements through measurements to ensure reproducibility and repeatability of results. The methodology includes requirements for the experimental setup, measurement procedure, and data processing. This has been tested by studying the primary parameters of two new flexible substrate antenna structures, as well as the matching and rectifying circuits of the rectennas.

5. Scientific and applied contributions of the dissertation.

The contributions in the dissertation are primarily of scientific and applied nature. They introduce new structures and algorithms for acquiring and enhancing functional parameters of antennas for powering nodes in wireless personal networks. The contributions can be summarized as follows:

Scientific and applied contributions:

- Development of a rectenna design methodology, demonstrated through an algorithm incorporating the specific features of communication nodes operating in personal networks under IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, or IEEE 802.15.6 standards.
- Proposal of a methodology for evaluating the main parameters and characteristics of rectenna elements, ensuring measurement result reproducibility and repeatability.

Both methodologies have been tested and validated through the design, implementation, and measurement of new flexible substrate antenna structures.

Applied contributions:

- A setup for estimating the electric field intensity from artificial sources in an urban environment has been proposed, allowing repeatability and comparability of measurement results. The setup has been tested through measurements;
 - Two new antenna structures on flexible substrates for rectennas for powering communication nodes in wireless personal networks have been designed and investigated;
 - Using the methodology for evaluating the characteristics of a rectenna, two new antenna structures on flexible substrates for powering communication nodes and one dipole antenna on a three-layer substrate have been evaluated.

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

The dissertation contributions are correctly defined and fully correspond to the results obtained. They have the necessary publicity through the presented reports, publications, and personal participation of the doctoral candidate in two national scientific projects. The topic of the dissertation is the field of doctoral candidate competence and there is no doubt about his

active participation. The results undoubtedly show that he has expanded and deepened his competencies.

7. Opinion on the Publications on the Topic of the Dissertation

The scientific publications, the obtained results, and the developed ideas are the work of the doctoral candidate with the support of his supervisor. As a result of the dissertation, four papers have been published. Three have been presented at national conferences with international participation, indexed in SCOPUS. There is one independent publication in a national scientific forum for young scientists. Two of the publications have been cited by international authors in SCOPUS-referenced journals. Publication [A3] is from 2019 and has been cited six times, [A4] is from 2022 and has been cited once. The doctoral student has participated in two successfully completed national research projects. This has allowed him to disseminate the dissertation results.

8. Opinions, Recommendations, and Notes:

There are numerous terminological inaccuracies in the dissertation. For example:

- The term "laminate" is used instead of the accepted term "dielectric substrate" (pp. 72, 73);
- In Chapter 3 the term "numerical models" is used, but in real it concerns simulation and topological models;
- It is unnecessary to extensively study the parameters of a microstrip line with a wave impedance of 50 ohms in the 2.4 GHz range for a dielectric substrate FR4 – Figures 3.2-1, 3.2-2, Table 3.2-1. This topic has been fully covered and extensively studied in numerous publications since the mid-20th century;
- In Chapter 2 the frequency range for measuring the electromagnetic field strength is not defined. It would be useful to present results and an energy spectrum distribution analysis in the frequency domain. This would support the justified selection of frequency ranges for the operation of antenna structures and the efficiency of energy converters.

9. Conclusion and evaluation of the dissertation work.

The presented work has the necessary qualities of a dissertation. The doctoral student has shown as a well-established researcher, capable of solving complex tasks on his own. Significant scientific and applied contributions have been obtained with great potential and importance for the future of wireless technologies and alternative power sources. For this reason, the above remarks and opinions do not belittle my overall positive assessment.

I believe the dissertation fully meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria. Therefore, I am without a doubt declaring before the Scientific Jury that the dissertation contains all the elements as such, I give a positive assessment of the dissertation of mag. Manol Avramov, and I propose to the Scientific Jury that he be awarded the educational and scientific degree "doctor".

Date:03.04.2025

Member of the Scientific Jury:.....
/Prof. Dr. Eng. Ilia Iliev/