

СТАНОВИЩЕ

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: **Манол Стефанов Аврамов**

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

Изготвил становище: доц. д-р инж. Иван Иванов Недялков

Настоящото становище е изготвено в качеството ми на член на научно жури, назначено със Заповед № 498/04.03.2025 г. на Ректора на ЮЗУ „Неофит Рилски“.

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

В момента безжичните мрежи и интернет на нещата се разрастват експоненциално и заедно с тях се увеличава използването на всякакви комуникационни устройства, които се използват в интелигентни градове, домашна автоматизация, здравеопазване, интелигентни транспортни системи, автомобилна индустрия и дори в земеделието. Всички тези комуникационни устройства, които се използват в изброените сектори се нуждаят от захранване. Изискванията към захранването са: да е автономно, да е компактно, да осигурява непрекъснатото захранване на устройствата, да не се нуждае от свързване към електро преносната мрежа. Да се проектира такова захранване е много трудно. Съществуват всякакви технологии за „събиране“ на енергия от всякакви алтернативни източници, като слънце, температура, вибрации и други. Използването на електромагнитното поле, създадено от всякакви излъчващи устройства (базови станции на мобилни оператори, домашните безжични маршрутизатори и други), за захранване на комуникационни устройства все още не е толкова развито, въпреки че тази енергия е навсякъде около нас – у дома, навън, навсякъде и само чака да бъде „усвоена“, и използвана за захранване. Поради изтъкнатото по – горе, разгледаният дисертационен труд изследва много актуална в момента тематика и свързаните с нея проблеми. В дисертационния труд са представени алгоритми за проектиране и резултати от изследване на антенни структури за приемане и преобразуване на електромагнитните полета от изкуствени източници (антени на базови станции на клетъчни мрежи, безжични устройства и т.н.), и възможностите за използването им за захранване на възли в безжични персонални мрежи.

Поставената цел за изпълнение: **„да се разработят нови методологии за проектиране и за характеризирание на ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи“** 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 безжичните персонални мрежи. Обърнато е внимание и на изискванията към захранването на комуникационните възли в безжичните персонални мрежи. Разгледани са различните технологии за събиране на енергия от алтернативни източници, като енергия от слънце, вятър, топлинната енергия. Акцентирано е на антенни структури за захранване на устройства с малка консумация и различните методи за изследване на антенни структури за приемане на ЕМП – та от изкуствени източници.

Чрез Глава 2, по – точно в 2.1 докторантът разглежда теоретично и практически дали плътността на потока на мощност и/или интензитета на електрическото поле, създавано от изкуствени източници, може да осигурява захранването на комуникационни възли в безжични мрежи.

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.

Основната цел на дисертационният труд е **да се разработят нови методологии за проектиране и за характеризирание на ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи.**

За изпълнението на тази цел, са формулирани следните задачи:

- 1. Да се разработи методология за проектиране на ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи** – за решаването на тази задача, докторантът е разработил методология за проектиране на ректени, 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. Представената методология е разработена благодарение на детайлния литературен преглед, в който са разгледани обстойно безжичните персонални мрежи, изискванията към захранването на комуникационните възли в тези мрежи, както и на различните антенни структури за приемане на ЕМП – та от изкуствени източници за захранване на устройства с малка консумация;
- 2. Да се апробира предложената методология, като се проектират и изследват антенни структури за ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи** – за решаването на тази задача докторантът е проектирал две нови антенни структури върху гъвкави подложки за ректени за захранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи, като е използвал разработената методология. Изработени и изследвани са прототипи

на две антенни структури. Първата предложена антенна структура е базирана на модифицирана правоъгълна микролентова (patch) антена с кръгова поляризация, предназначена за приемане на радиочестотна мощност от източници в 2,40 GHz – 2,48 GHz честотен обхват (ISM 2,45 GHz), с висока ефективност, повече от 70% и е подходяща за интегриране в малки, преносими комуникационни възли. Втората предложена антенна структура е правоъгълна монополна антенна структура с вертикална поляризация, предназначена за приемане на радиочестотна мощност от източници в 2,40 GHz – 2,48 GHz честотен обхват (ISM), която също осигурява висока ефективност, от повече от 75% и е подходяща за ректена на комуникационни възли в безжични персонални мрежи. Освен това докторантът е проектирал съгласуващата и изправителната верига, които се характеризират с малки размери и са със съсредоточени параметри. Изработил е прототип, и са проведени изследвания в широк честотен обхват, които доказват, че проектираната изправителна верига работи;

3. **Да се разработи методология, която позволява да се осъществи оценка на отделните елементи на ректената, възпроизводимост и повторяемост на резултатите от измерване. Апробиране на предложената методология** – за решаването на тази задача докторантът е предложил методология, която позволява да се осъществи оценка на отделните елементи на ректената. Приложимостта на методологията е доказана чрез множество практически измервания. На базата на предложената методология са характеризирани предложените две нови антенни структури върху гъвкави подложки за ректени за хранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи и една диполна антена върху трислойна подложка. Освен това предложените съгласуваща и токоизправителна верига са характеризирани.

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

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

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

Научен принос: Разработена е методология за 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.;

Научно – приложен принос: Предложена е методология, която позволява да се осъществи оценка на основните параметри и характеристики на отделните елементи на ректена, възпроизводимост и повторяемост на резултатите от измерване.

Приложни приноси:

1. Предложена е постановка за оценка на интензитета на електрическото поле от изкуствени източници в градска среда, позволяваща повторимост и сравнимост на резултатите от измерване. Постановката е апробирана и резултатите от измерване са представени;

2. Проектирани и изследвани са две нови антенни структури върху гъвкави подложки за ректени за хранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи;
3. Въз основа на предложена методология са характеризирани предложените две нови антенни структури върху гъвкави подложки за ректени за хранване на комуникационни възли в безжични персонални мрежи, както и една диполна антена върху трислойна подложка.

5. Мнение за публикациите по темата на дисертационния труд.

Основните постижения в дисертационния труд са популяризирани в 4 научни публикации, като 3 от тях са от престижни научни конференции, индексирани в световните бази данни с множество цитирания от различни международни учени. Всички публикации са с теоретично и приложно значение, свързани са с дисертацията и с професионалното направление 5.3. Комуникационна и компютърна техника. Освен това авторът участва и в научно-изследователски проекти. Приемам публикационната дейност като напълно достатъчна по обем, като за бъдеще е желателно авторът да продължи да разширява и увеличава своята публикационна дейност.

6. Мнения, препоръки и бележки.

Представеният за рецензиране дисертационен труд е оформен, и структуриран правилно. Нямам сериозни забележки, освен някои несъществени редакционни забележки като:

- Част от фигурите са, с лошо качество Част от тези фигури са: Фиг. 3.2-12, Фиг. 3.2-10, Фиг. 3.2-4, Фиг. 3.2-3 и други;
- Литературните източници не са подредени по азбучен ред;
- В първа глава е можело да се отдели повече обяснения на изискванията към хранването на комуникационните модули/възли, изграждащи мрежи по стандарти от групата IEEE 802.15, тъй като темата на дисертационния труд е свързана със хранване на такива модули. Обърнатото внимание към този проблем в дисертационния труд е твърде малко – около една страница само.

В бъдещите си изследвания авторът може да обърне внимание към приложението на разработените антенни структури за хранване, да зареждат елементи за съхранение на енергия или да разработи нови антенни структури, които да са специализирани само за зареждане на клетки/елементи за съхранение на енергия.

7. Заключение и оценка на дисертационния труд.

В заключение считам, че дисертационният труд е оформен в съответствие с изискванията, 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. **Манол Стефанов Аврамов** в професионално направление 5.3. Комуникационна и компютърна техника по научна специалност „Компютърни системи комплекси и мрежи”.

Дата:
28.03.2025 г.

ЧЛЕН НА НАУЧНОТО ЖУРИ: доц. д-р инж. Иван Иванов Недялков

OPINION

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

Professional direction **5.3 Communication and computer technology**

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

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

Dissertation topic: **Study of antenna structures for power supplying nodes in wireless personal area networks**

Prepared opinion: Associate Professor Ivan Ivanov Nedyalkov, Ph.D., Eng

This opinion was prepared in my capacity as a member of a scientific jury, appointed by Order № 498/04.03.2025 of the Rector of the South – West University “Neofit Rilski”.

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

Currently, wireless networks and the Internet of Things are growing exponentially, and along with them is the increasing use of all sorts of communication devices being used in smart cities, home automation, healthcare, intelligent transportation systems, automotive, and even agriculture. All these communication devices that are used in the listed sectors need power supply. The requirements for the power supply are: to be autonomous, to be compact, to ensure the uninterrupted power supply of the devices, not to need to be connected to the power grid. To design such a power supply is very difficult. There are all sorts of technologies to "harvest" energy from all sorts of alternative sources, such as sun, temperature, vibration, etc. The use of the electromagnetic field created by all sorts of emitting devices (base stations of mobile operators, home wireless routers, etc.) to power communication devices is not yet that developed, even though this energy is all around us - at home, outside, everywhere and just waiting to be "absorbed", and used for power. Because of the above, the dissertation under review explores a very topical subject and related issues that are currently of great interest. The dissertation presents design algorithms and results from a study of antenna structures for receiving and converting electromagnetic fields from artificial sources (cellular network base station antennas, wireless devices, etc.), and the possibilities of using them to power supplying nodes in wireless personal area networks.

The stated performance goal: **"to develop new methodologies for the design and characterization of rectennas for power supplying of communication nodes in wireless personal area networks"** 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 discussing wireless personal area networks in great detail. Attention is also paid to the power requirements of communication nodes in wireless personal area networks. Different technologies for harvesting energy from alternative sources such as solar, wind, and thermal energy are discussed. Emphasis is placed on antenna structures for powering low power devices and various methods for investigating antenna structures for receiving EMF - ta from artificial sources.

Through Chapter 2, more specifically in 2.1, the PhD student examines theoretically and practically whether the power flux density and/or the electric field strength created by artificial sources can provide the power for communication nodes in wireless networks.

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

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

The main objective of this dissertation is **to develop new methodologies for the design and characterization of rectennas for power supplying of communication nodes in wireless personal area networks**. In order to fulfil this objective, the following tasks have been formulated:

- 1. To develop a methodology for designing rectennas for power supplying of communication nodes in wireless personal area networks** - to solve this task, the PhD student has developed a methodology for designing rectennas that allows to take into account the specific features of communication nodes operating in personal area networks built to IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4 or IEEE 802.15.6 standards. The presented methodology has been developed thanks to the detailed literature review, which thoroughly discusses wireless personal area networks, the power requirements of communication nodes in these networks, and the different antenna structures for receiving EMF from artificial sources to power low-power devices;
- 2. To appropate the proposed methodology by designing and investigating antenna structures for rectennas for power supplying of communication nodes in wireless personal area networks** - to solve this task the PhD student has designed two new antenna structures on flexible rectennas pads for power supplying communication nodes in wireless personal area networks using the developed methodology. Prototypes of two antenna structures have been fabricated and studied. The first proposed antenna structure is based on a modified rectangular microstrip (patch) antenna with circular polarization, designed to receive RF power from sources in the 2.40 GHz - 2.48 GHz frequency range (ISM 2.45 GHz), with high efficiency, more than 70%, and is suitable for integration in small, portable communication nodes. The second proposed antenna structure is a rectangular monopole antenna structure with vertical polarizations, designed for receiving RF power from sources in the 2.40 GHz - 2.48 GHz frequency range (ISM), which also provides high efficiency, of more than 75%, and is suitable for rectenna communication nodes in wireless personal area networks. In addition, the PhD student has designed the matching and rectification

circuit, which are characterized by small size and focused parameters. A prototype has been designed, and studies have been carried out over a wide frequency range to prove that the designed rectifier circuit works;

3. **To develop a methodology that allows the assessment of the individual elements of the rectenna, reproducibility and repeatability of measurement results. Validation of the proposed methodology** - for the solution of this task the PhD student has proposed a methodology that allows the assessment of the individual elements of the rectenna. The applicability of the methodology has been demonstrated through numerous practical measurements. Based on the proposed methodology, two new antenna structures on flexible rectenna substrates for feeding communication nodes in wireless personal area networks and one dipole antenna on a three-layer substrate have been characterized. In addition, the proposed matching and rectifying circuit are characterized.

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

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

In the development of the dissertation, 1 scientific contribution, 1 scientific-applied and 3 applied contributions are presented, as follows:

Scientific contribution: A design methodology for rectennas is developed, demonstrated by an algorithm that allows to take into account the specific features of communication nodes operating in personal area networks built according to IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4 or IEEE 802.15.6 standards;

Scientific-Applied Contribution: A methodology is proposed that allows to evaluate the main parameters and characteristics of the individual elements of the rectenna, reproducibility and repeatability of the measurement results.

Applied Contributions:

1. A setup for estimating the electric field intensity from artificial sources in urban environments is proposed, allowing repeatability and comparability of measurement results. The setup is approbated and the measurement results are presented;
2. Two novel antenna structures on flexible rectenna pads for power supplying of communication nodes in wireless personal area networks are designed and investigated;
3. Based on a proposed methodology, the proposed two novel antenna structures on flexible rectenna pads for power supplying of communication nodes in wireless personal area networks, and one dipole antenna on a three-layer pad are characterized.

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

The main achievements in the dissertation work are popularized in 4 scientific publications, 3 of them are from prestigious scientific conferences, indexed in world databases with numerous citations from various international scientists. All publications are of theoretical and applied importance, related to the dissertation and to the professional field 5.3. Communication and Computer Engineering. In addition, the author is involved in research projects. I accept the publication activity as fully sufficient in volume, and in the future, it is desirable for the author to continue to expand and increase his publication activity.

6. Opinions, recommendations and comments.

The dissertation submitted for review is properly formatted and structured. I have no serious remarks, except some minor editorial remarks such as:

- Some of the figures are of poor quality Some of these figures are: fig. 3.2-12, fig. 3.2-10, fig. 3.2-4, fig. 3.2-3, etc;
- The references are not arranged in alphabetical order;
- The first chapter could have spent more explanation on the requirements of the power supplying of communication modules/nodes building networks according to IEEE 802.15 group of standards, since the topic of the thesis is related to the power supply of such modules. The attention paid to this problem in the dissertation is very small - about one page only.

In future research, the author may address the application of the developed antenna structures, charge energy storage cells or develop new antenna structures that are specialized for charging only energy storage cells/cells.

7. Заключение и оценка на дисертационния труд.

In conclusion, I believe that the dissertation is formatted in accordance with the requirements, 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 the Honorable Scientific Jury **to award** the educational and scientific PHD degree to M.Sc. Manol Stefanov Avramov in the professional field 5.3. Communication and Computer Engineering in the scientific specialty "Computer Systems Complexes and Networks".

Date: 28.03.2025

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