

РЕЦЕНЗИЯ

от д-р инж. Невена Стоянова Милева – професор в Пловдивски университет „Паисий Хилендарски”

на дисертационен труд за присъждане на образователната и научна степен „доктор“

по: област на висше образование 5. Технически науки

професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника

докторска програма Автоматизация на области от нематериалната сфера (медицина, просвета, наука, административна дейност и др.)

Автор: Тихомир Тихомиров Ловчалиев

Тема: Проектиране на антени за 5G и автоматизирано тестване на техните параметри

Научен ръководител: доц. д-р инж. Надежда Митева Кафадарова, ПУ „Паисий Хилендарски“.

1. Общо описание на представените материали

Със заповед № РД-21-720 от 02.04.2024 г. на Ректора на Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“ (ПУ) съм определена за член на научното жури по процедура за защита на дисертационен труд на тема „Проектиране на антени за 5G и автоматизирано тестване на техните параметри“ за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ в област на висше образование 5. Технически науки, професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника, докторска програма Автоматизация на области от нематериалната сфера (медицина, просвета, наука, административна дейност и др.). Автор на дисертационния труд е Тихомир Тихомиров Ловчалиев – докторант в редовна форма на обучение към катедра „Електроника, комуникации и информационни технологии“ с научен ръководител доц. д-р Надежда Митева Кафадарова от ПУ „Паисий Хилендарски“.

Представеният от Тихомир Ловчалиев комплект материали на хартиен носител е в съответствие с Чл.36 (1) от Правилника за развитие на академичния състав на ПУ и включва следните документи:

- молба до Ректора на ПУ за разкриване на процедурата за защита на дисертационен труд;
- автобиография в европейски формат;
- протокол от катедрения съвет, свързан с докладване на готовността за откриване на процедурата и с предварително обсъждане на дисертационния труд;

- дисертационен труд;
- автореферат;
- списък на научните публикации по темата на дисертацията;
- копия на научните публикации;
- декларация за оригиналност и достоверност на приложените документи;

2. Кратки биографични данни за докторанта

Тихомир Ловчалиев е роден през 1992 г. и завършва средното си образование в Професионална гимназия по електротехника и електроника през 2011 г. През 2015г. получава бакалавърска степен по Информационна физика и комуникации, а през 2018 г. придобива ОКС Магистър по Телематика в Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“. От 2016 г. до момента той е началник сектор Help Desk – Юг към Национална агенция за приходите, Пловдив, с основни дейности и отговорности – организиране, администриране и оптимизация на работните станции за цяла южна България.

На 01.03.2020 г. е зачислен като редовен докторант в катедра „Електроника, комуникации и информационни технологии“ на Пловдивския университет "Паисий Хилендарски" с научен ръководител доц. д-р Надежда Кафадарова и през м. март 2023 г. е отчислен с право на защита.

3. Актуалност на тематиката и целесъобразност на поставените цели и задачи

Тематиката на дисертационния труд, свързана с проектирането и изследването на характеристиките на антени за 5G мобилни комуникации е особено актуална поради няколко ключови фактора. 5G технологията обещава значително по-бързи скорости на пренос на данни и по-ниска латентност, което отваря врати за развитие на нови комуникационни услуги и приложения като виртуална реалност, интернет на нещата, умен град и др. За да се реализират тези възможности са необходими антени, които могат да осигурят търсената качествена комуникация. Оптимизираните антени могат да осигурят по-добро покритие и стабилност на връзката, което е от съществено значение за поддръжката на високи скорости и качество на услугите в 5G мрежите. Също така правилното проектиране на антените може да помогне за намаляване на разходите за разпространение на мрежата, като например подобряване на радиопокритието и оптимизиране на разпределението на базовите станции. От друга страна антените за 5G трябва да бъдат проектирани с оглед на съвместимостта и минимизирането на интерференцията с други съществуващи или бъдещи безжични мрежи, което е важен аспект за осигуряване на качествена и надеждна услуга за потребителите.

Целта на дисертационния труд е свързана с проектиране на антени за 5G и разработване на иновативна система за автоматизирано изследване на диаграмите на насочено действие на различни антени в лабораторни условия. За постигане на поставената цел докторантът е формулирал осем изследователски задачи, които напълно покриват изискванията за коректно провеждане на научното изследване. На тази основа оценявам темата като много актуална в контекста на бурното развитие на мобилните технологии и произтичащите от това изисквания към оптимизиране на използваните антени и техните характеристики. Приемам основната цел и задачи като адекватно формулирани.

4. Познание на проблема

Докторантът Тихомир Тихомиров Ловчалиев показва умение за творческо проучване и целенасочена преценка на богат литературен материал. В дисертационния труд той е цитирал 74 литературни източника, голяма част от които са публикувани през последните 10 години. Литературният обзор е фокусиран върху клетъчните мобилни комуникационни системи с акцент към свързаните с 5G сценарии и услуги. Разгледани са различни видове антени за мобилни приложения, техните основни характеристики, подходите за тяхното измерване и източниците на грешки. Направеният обзор е достатъчно подробен, докторантът демонстрира необходимата научна компетентност и достатъчна задълбоченост в познаването на темата, които е приложил при формулирането на целта и произтичащите от нея задачи.

5. Методика на изследването

Избраната изследователска методика е съобразена с поставената цел и със задачите на дисертационното изследване. Докторантът е приложил съвременни методи, софтуери и средства при проектирането на антени и при разработването на иновативната лабораторна система за изследване на диаграмите на насочено действие на антените.

Въз основа на направения в Първа глава преглед на съвременните подходи за изследване на параметрите на антени за мобилни приложения е проектиран и изработен действащ прототип на система за изследване на антени за 5G. След извършени експерименти са систематизирани и анализирани недостатъците и критичните места на прототипа. Като следваща логична стъпка от методиката на изследването е разработването на действаща система за изследване на модел на насоченост на антени, както и методика за провеждане на изследванията с помощта на системата. За верификация на работоспособността на системата отново са извършени експерименти, чиито резултати и анализи са поместени в Пета глава. В шеста глава е описан алгоритъмът, който докторанта е използвал при проектирането и изработката

на пач антена за 5G, както и резултати от изследването на нейните излъчвателни характеристики посредством авторската система.

6. Характеристика и оценка на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 156 страници – състои се от използвани съкращения, увод, шест глави, изводи, приноси, списък с публикации по дисертационния труд и използвана литература. Дисертационният труд е логично структуриран, за да реши напълно поставените задачи и да постигне точно и ефективно целта на изследването.

Уводът има за цел да обоснове актуалността на проблема на дисертационния труд.

В първата глава се представя подробен анализ на клетъчните мобилни комуникационни системи с фокус върху технологиите, свързани с 5G, както и сценариите и услугите, които те предоставят. В рамките на анализа се разглеждат различни видове антени, които се използват за мобилни приложения, като се акцентира върху техните основни характеристики, методите за измерване и източниците на възможни грешки. В тази глава Тихомир Ловчалиев описва достатъчно обширно и задълбочено диаграма на насочено действие като една от най-важните характеристики на RF антените, която дава представа за насочеността на излъчването им и която е фокус на настоящата дисертация.

Във Втора глава докторантът подробно се е спрял върху процеса на проектиране и изработка на действащия прототип на системата за изследване на антени за 5G мобилни комуникации. Направен е задълбочен анализ на отделните модули и функционални възли, от които тя е изградена. В следствие на този анализ е взето решение за необходимите модули, които да бъдат включени в конструкцията на проектираната система като: предавателен модул с антена, измерителен модул, към който е включена изследваната антена, система за позициониране, модул за запис на данни и обработка. Движението на антената и измерването на сигнала се синхронизират със специално разработен от докторанта софтуер. В тази глава са представени резултати от тестово измерване на диаграмата на насочено действие на диполна антена, работеща на 2,5 GHz, които са дадени графично в полярни и декартови координати. Разработеният прототип на системата за автоматизирано тестване, представен в дисертационния труд, е авторски и ефективен в своя вид, доказвайки високата инженерна експертиза на автора.

На базата на разработения прототип на системата за изследване на антени и след направен критичен анализ на недостатъците му, е създадена действаща система с подобрени характеристики. Извършено е оптимизиране на основни функционални възли и използване на нови компоненти, които да подобрят работата на системата и да разширят нейните възмож-

ности. Тук отново проличава правилното инженерно мислене и систематичен научен подход на докторанта Тихомир Ловчалиев при поставяне и решаване на инженерни задачи.

Дисертационният труд, в Третата глава, представя иновативен подход към разработването на действаща система за изследване на модел на насоченост на антени чрез разработване на авторски електромеханичен функционален възел. Този подход има за цел да реши основния недостатък при много от съществуващите системи за изследване на насоченост на антени, свързан с усукването на свързващите коаксиални кабели при въртеливо движение на антената и стационарното позициониране на измерителната апаратура. Авторът представя подробни принципни схеми на отделните възли от механичната част на системата, което допринася за яснота и разбираемост на предложения модел. Инженерният подход и анализ на техническите предизвикателства са добре обосновани и отново показват високо ниво на техническа компетентност на автора.

Измервателната система е управлявана от специализиран софтуер, който е разработен от докторанта за целите на изследването и е инсталиран на персонален компютър. Този софтуер играе ключова роля в реализацията на потребителския интерфейс и в синхронизирането на действията на различните изпълнителни модули, които участват в процеса на изграждане на системата. За разработването на софтуера е използван изцяло програмният език Python заедно с подходящи библиотеки, което демонстрира доброто владение на този език от страна на докторанта. За подобряване на качеството на измерванията и за елиминиране на нежелания шум Тихомир Ловчалиев прилага филтъра на Savitzky–Golay за цифрова филтрирация на сигнала. В потребителския интерфейс е предвидена възможност за промяна на основните му параметри, които са: размер на прозореца и ред на полинома.

Разработката на специализиран софтуер, особено когато той е адаптиран за нуждите на конкретна измервателна система, е показател за високо ниво на инженерни умения и компетентност от страна на автора на работата. Използването на Python допринася за гъвкавостта и ефективността на софтуера, като същевременно предоставя широк спектър от възможности за разширение и интеграция с други технологии.

В Четвърта глава подробно е представена методиката за провеждане на изследването на антени с помощта на разработената система. Тази методика може успешно да се използва при провеждане на научни изследвания на антени, както и на лабораторни упражнения по телекомуникации със студенти.

В Пета глава е представен алгоритъм за инициализация на системата при провеждане на измервания, както и резултати от измервания на диаграмите на насоченост на различни видове антени за 5G. За изследване на работоспособността и ефективността на разработената система са проведени множество измервания на диаграмите на насоченост в E и H равнината на различни видове антени. Резултатите от всички измервания остават близки до теоретично дефинираните за изследваните антени. В табличен вид са показани основните елементи на диаграмите на насоченост на антените съответно в E равнина и H равнина.

В Шеста глава са представени резултати от проектирането и измерването на пач антена за 5G. Нейните излъчвателни свойства са симулирани с помощта на специализирания софтуер ANSYS HFSS и са верифицирани чрез използването на авторската измерителна система.

7. Приноси и значимост на разработката за науката и практиката

Приемам формулираните в дисертацията научно-приложни приноси. Поставената цел и задачи в дисертационния труд са изпълнени изцяло. Резултатите от извършените изследвания имат приложен и научно-приложен характер.

В дисертацията докторантът е представил подробен критичен анализ на клетъчните мобилни комуникационни системи, различни видове антени, участващи в тяхното изграждане като се акцентира върху техните основни характеристики, методите за измерване и източниците на възможни грешки. Анализът е насочен към съвременните подходи за изследване на параметрите на антени за мобилни приложения.

Проектиран и изработен е действащ прототип на системата за изследване на антени за 5G мобилни комуникации, който се състои от модули и функционални възли, някои от които са разработени от дипломанта за целите на дисертацията, както и авторски софтуер. Направен е критичен анализ на недостатъците и ограниченията на прототипа, който служи за отправна точка при създаването на уникална действаща система с подобрени характеристики. Извършено е оптимизиране на основни функционални възли, както и е разработен авторски електромеханичен функционален модул, чрез който се предотвратява усукването на свързващия кабел между изследваната въртяща антена и спектралния анализатор. Използвани са нови компоненти, които подобряват работата на системата и разширяват нейните възможности. Оптимизиран е авторския специализиран софтуер, който притежава потребителски интерфейс и с който се синхронизират действията на изпълнителните механизми на системата, извършва се филтриране на сигнала, визуализират се получените резултати в цифров и графичен вид (в декартова и полярна координатни системи), създават се база данни от стой-

ностите на мощността на сигнала приет от изследваната антена в зависимост от ъгловата ѝ позиция.

Функционалността на системата е доказана чрез проведени множество изследвания на различни видове антени за 5G. Построени са техните диаграми на насочено действие и са определени основните параметри на тези диаграми, които са в съответствие с известните теоретични модели на насоченост на тези антени.

Проектирана и изработена е пач антена за 5G. Нейните излъчвателни характеристики са симулирани с помощта на специализирания софтуер ANSYS HFSS и са верифицирани с работената иновативна измервателна система.

8. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Основните резултати от дисертационното изследване са представени в 6 (шест) публикации в специализирани издания.

В две от публикациите, които са на български език и са публикувани в сборник с научни трудове на Съюза на учените в България - Пловдив, докторантът е единствен автор. Останалите 4 публикации са на английски език, в които докторантът е съавтор (в 1 публикация с двама автори, в 2 публикации с трима автори и в 1 публикация с четирима автори) и са докладвани на международни конференции. Две от тези публикации са в издания реферирани в SCOPUS (International Scientific Conference "Electronics ET2022, Созопол), а останалите две са в издания, включени в Google Наука (ICERI21 и SOCIOINT22).

Прегледът на публикациите показва, че е осигурена необходимата публичност на постигнатите резултати от направените научни изследвания в дисертационния труд. Броят им е достатъчен и съответства на приетите изисквания.

9. Лично участие на докторанта

След като внимателно се запознах с дисертационния труд и публикациите на докторант Тихомир Ловчалиев, мога убедено да заявя, че постигнатите резултати от научните изследвания, включени в дисертацията, са получени изцяло с негово участие. Докторантът демонстрира натрупан научен и практически опит, задълбочено инженерно мислене и систематичен научен подход при поставяне и решаване на инженерни задачи.

10. Автореферат

Авторефератът е направен според изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за прилагане на ЗРАСРБ и съответния Правилник на ПУ „Паисий Хилендарски“. Той е в обем от 32 стр. и представя в кратък и информативен вид съдържанието на дисертацията.

Авторефератът е много добре структуриран, с отлично изпълнени илюстрации от фигури, графики и схеми. В него точно и ясно са открити целите и задачите на дисертационния труд, постигнатите резултати от проведените научни изследвания, извършените критични анализи на резултатите и получените изводи.

11. Критични забележки и препоръки

Критични бележки към предложената ми за рецензия дисертация нямам. Имам определени препоръки, които са с пожелателен характер и не омаловажават оценката ми за високото качество на проведеното дисертационно изследване.

Препоръките ми са както следва:

- Въпреки, че отделните части на разработения от докторанта авторски софтуер са добре описани и обяснени в текста на дисертационния труд, препоръчвам целият сорс код да бъде представен в дисертацията като отделно приложение.
- За целите на бъдеща изследователска работа и за разширяване на възможностите на системата е добре да се конструира екраниращ Фарадеев кафез, в който да се помести измервателната система.
- Според мен принос 4 и принос 5 биха могли да се обединят в един.

12. Лични впечатления

Познавам Тихомир Ловчалиев още като студент в бакалавърска специалност „Информационна физика и комуникации“ и после в магистърската специалност „Телематика“. Той винаги е правил впечатление на целенасочен, любознателен, работлив и скромен млад човек. След дипломирането му като магистър Тихомир Ловчалиев е бил и продължава да бъде хонорирован преподавател към катедра ЕКИТ по дисциплини, като „Безжични комуникационни системи“, „Компютърни мрежи“ и др. Придобитите знания в областта на безжичните комуникации, мобилни комуникации и компютърната техника като студент, а после и в процеса му на работа като преподавател, са послужили като солидна основа при разработката на дисертацията. Тези теоретични и практически знания и умения Тихомир Ловчалиев е доразвил и приложил в решаването на научно-изследователски задачи и постигането на научни и научно-приложни резултати.

13. Препоръки за бъдещо използване на дисертационните приноси и резултати

Работата трябва да продължи в посока разширяване възможностите на системата за изследване на антени, която да се използва както в бъдеща изследователска работа, така и при обучението на студенти по съответните телекомуникационни дисциплини.

Пред вид изключително актуалната област на мобилните телекомуникации, към която е насочена разработката, както и големия потенциал от възможности, които предлага описаната в дисертационния труд система, препоръчвам изследванията в тази област да бъдат продължени и популяризирани в списания, по възможност с импакт фактор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисертационният труд *съдържа научно-приложни и приложни резултати, които представляват оригинален принос в науката* и отговарят на всички изисквания(та) на Закона за развитие на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за прилагане на ЗРАСРБ и съответния Правилник на ПУ „Паисий Хилендарски“.

Дисертационният труд показва, че докторантът Тихомир Тихомиров Ловчалиев **притежава** задълбочени теоретични знания и професионални умения по научна специалност „Автоматизация на области от нематериалната сфера (медицина, просвета, наука, административна дейност и др.)“ като **демонстрира** качества и умения за самостоятелно провеждане на научно изследване.

Поради гореизложеното, убедено давам своята *положителна оценка* за проведеното изследване, представено от рецензираните по-горе дисертационен труд, автореферат, постигнати резултати и приноси, и *предлагам на почитаемото научно жури да присъди образователната и научна степен „доктор“* на Тихомир Тихомиров Ловчалиев в област на висше образование: 5. Технически науки, професионално направление 5.3. Комуникационна и компютърна техника, докторска програма Автоматизация на области от нематериалната сфера (медицина, просвета, наука, административна дейност и др.).

Пловдив, 15.05.2024 г.

Рецензент:

(подпис)

проф. д-р Невена Милева

(ак. дл., н. ст., име, фамилия)