

РЕЦЕНЗИЯ

**върху дисертационен труд за придобиване на образователна и
научна степен „доктор” по професионално направление**

5.2.Електротехника, електроника и автоматика,

Докторска програма: „Микроелектроника“

Автор на дисертационния труд: маг. инж. РУМЯНА АНГЕЛОВА СТОЯНОВА

**Тема на дисертационния труд: „РАЗРАБОТВАНЕ НА ИНОВАТИВНИ МЕТОДИ И
МЕХАНИЗМИ ЗА ЕНЕРГИЙНИ ПИЕЗОХАРВЕСТИРИ“**

Научни ръководители:

доц. д-р инж. Велимира Димитрова Тодорова

проф. д-р инж. Анатолий Трифонов Александров

**Рецензент: проф. д-р инж. Иван Борисов Евстатиев, Русенски университет
„Ангел Кънчев” – гр. Русе**

1. ОБЩО ОПИСАНИЕ НА ПРЕДСТАВЕНИТЕ МАТЕРИАЛИ

Предоставен е на файл дисертационен труд на **159** стр., разположен в **4** глави, включващ също, увод, виждане на автора за научно-приложни приноси, списък с публикации по дисертационния труд и литературна справка. Представеният списък на публикации по дисертационния труд, съдържа **5** заглавия.

Списъкът на анализирани литературни източници, съдържа **200** публикации. Повечето от публикациите имат имейл адрес и DOI, което позволява улеснен достъп до тях.

Представен е също списък с използвани съкращения и означения, списък със **77** таблици и списък със **180** фигури.

Считам, че предоставените материали по дисертационния труд отговарят на общо приетите изисквания.

2.ТЕМА И АКТУАЛНОСТ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Тематиката на дисертационния труд е свързана с областта на възобновяемата енергетика, изследваща и разработваща не конвенционални източници на електрическа енергия, осигуряващи енергийно захранване на устройства и системи с ниска консумация. За отбелязване е, че тези източници на енергия използват

принципи и ефекти, позволяващи добив на енергия, характеризиращ се с използване на разлика в енергийни нива, вибрации и други ефекти, не замърсяващи околната среда. Този тип захранващи източници позволяват енергийно осигуряване на устройства и системи, без използване на батерии и конвенционална енергия.

Това направление на изследванията е особено актуално, като се отчете и тенденцията на намаляването на енергийната консумация от съвременните електронни устройства и системи.

Целта на дисертационния труд е създаване и оптимизация на съществуващи модели, както и математическо моделиране на пиезоелектрични харвестери от вибрационен и компресионен тип.

Отчитайки по-горе казаното, както и поставената цел, решавана в основните задачи по дисертационния труд, убедено може да се твърди, че темата и целта на дисертационния труд са изключително актуални.

3.СТЕПЕН НА ПОЗНАВАНЕ СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА И ТВОРЧЕСКА ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ЛИТЕРАТУРНИЯ МАТЕРИАЛ

За постигането на целта дисертантът е поставил **5** задачи, последователно решавани в отделните глави на дисертацията.

Извършеното литературно проучване (глава 1) и направения анализ в него показват едно отлично познаване на тематиката. Литературните заглавия са **200** и съответстват на темата. От литературните източници **3** са на кирилица и **197** на латиница от които **55** са представени с линкове.

В резултат на анализа на литературните източници е фиксирана целта на дисертационния труд и са поставени задачите за постигането на тази цел.

От предоставения материал, може да се твърди, че докторантът познава много добре състоянието на проблема и творчески е интерпретирал информацията от анализа на литературните източници.

4.МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Методиката на изследването има следната последователност – анализ на състоянието на проблема, анализиране на съществуващи модели, усъвършенстване и разработване на нови математични модели, верификация на моделите и техните параметри, симулационно изследване с модели.

Считам, че избраната методика на изследване съответства на поставената цел и задачи на дисертационния труд.

5.КРАТКА АНАЛИТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Представеният труд е в обем от **159** страници. Основният материал съдържа **4** глави. Представени са също анализ и изводи, виждане на дисертанта за приносите на дисертационния труд, публикациите по труда (**5** на брой) и литературна справка. Литературната справка се състои от **200** източника. Дисертацията съдържа **184** фигури, **76** таблици и **177** формули.

В **първа глава** дисертантът е разгледал и анализирал съвременното състояние на енергийните харвестери и техните приложения.

Анализирани са методи за генериране на електрическа енергия. Направено е изследване на устройства за извличане на енергия от външни източници, такива като слънчева енергия; топлинна енергия; енергия на вятъра; енергия, извлечена от градиента на соленост; кинетична енергия, радиовълнов фон и др. Предназначението на тези устройства е за запазване на безжични автономни устройства или безжични сензорни мрежи. Този вид източници на енергия са известни като Energy Harvesting.

Анализирани са предимствата и недостатъците на различните методи.

Главата завършва с формиране на цел и задачи на дисертационния труд.

Втора глава е озаглавена „Математическо моделиране на пиезоелектрични харвестери от вибрационен и компресионен вид“.

Предложен е математически модел, който да помогне за оценка на количеството енергия, което е възможно да се извлече от предложеното енергогенериращо устройство. За целта са определени основните свойства на материалите и на геометричните размери на пиезоелектрични харвестери. Анализирани и изследвани са модели на еднослоен, биморфен и компресионен пиезоелектрически харвестери, чрез използване на частни диференциални уравнения в среда на MATLAB и по метода на крайните елементи.

Главата завършва с изводи.

Трета глава е озаглавена „Приложни модели и симулация на пиезоелектрични енергийни вибрационни и компресионни харвестери“.

Анализирани са историята и принципите на преобразуване, както и методите за генериране на електрическа енергия от пиезоелектрични елементи.

Използвайки моделиране на механичната и електрическата част са моделирани вибрационен пиезоелектричен харвестер, биморфен пиезоелектричен харвестер и компресионен пиезоелектричен харвестер. Усъвършенствани са предложените модели, чрез разширени еквивалентни схеми, имащи за цел да отразят реалните условия, на които могат да бъдат подложени вибрационните пиезоелектрични харвестери.

Предложен е собствен модел на конструкцията на компресионен харвестер. На базата на направеният модел се правят обосновани предположения, че промените в конструкцията на компресионния харвестер, ще доведат до промяна в генерираната енергия от няколко порядъка. Под промяна на харвестерната конструкция се предполага промяната на взаимното разположение между пиезоелементите, чиито параметри си остават константни.

Предложено е свързване между отделните елементи на харвестера по обосновано предположение за действието на отделните пиезоелектрични елементи. Последователното електрическо свързване на пиезоелектричните елементи не е подходящо поради факта, че за да се генерира сигнал за цялата матрица, всички елементи трябва да бъдат подложени на механичен натиск едновременно, което не е реално в предложената конфигурация. Затова в конструкцията е използвано паралелно електрическо свързване на пиезоелектричните елементи, за по-нататъшното експериментално изследване.

Главата завършва с анализ и изводи.

Четвърта глава е „Експериментални изследвания на пиезоелектрични харвестери от вибрационен и компресионен тип“.

Представена е разработена опитна установка за експериментални изследвания на вибрационен пиезоелектричен харвестер. Проведени са експериментални изследвания на пиезоелектричния преобразувател, за да се установи каква мощност може да бъде извлечена от него. За изследванията е използван вибростенд, чрез който се осигуряват механични вибрации с различни честоти за въздействие.

Експерименталните изследвания се провеждат с наличен в търговската мрежа пиезоелектричен харвестер от типа S233-H5FR-1107XB с биморфна структура с последователно свързване на слоевете. За предизвикване на външното механично въздействие се използва електромеханичен шейкър.

Първата група експерименти се провежда с инерционна маса $m=1.13$ g с различни стойности на резистивния товар (RL) и промяна на честотния диапазон от 119 до 127 Hz. В резултат на тези изследвания, поради значителни отклонения за очакваните резултати на полученият ток е взето решение за следващи изследвания да се използва изправителен мост.

Правени са изследвания за различни стойности на филтриращия кондензатор след изправителния мост, съответно промяна на активен товар и на честота на вибрациите на харвестера.

Създадена е също опитна постановка за експериментално изследване на компресионен пиезоелектричен харвестър. Проведено е експериментално изследване с прекъснато въздействие върху пиезоелектрична пътека. Изследвано е въздействието на субекти с различна контактна повърхност и маса върху пиезоелектрична пътека. За изследванията са разработени методики.

Главата завършва с анализ и изводи.

Следват **„Анализ и изводи“**, където са представени обобщеният анализ на дисертационния труд и основните изводи, **„Виждането на докторанта за научно-приложните приноси“**, **„Списък на публикациите“**, свързани с дисертацията и **„Литературна справка“**.

Представеният материал в дисертационния труд отговаря напълно на темата „Разработване на иновативни методи и механизми за енергийни пиезохарвестери“.

Считам, че материала също отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Р. България и Правилника към него, както и на Правилника на Технически университет-Габрово за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

6. ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Съгласен съм с автора за приносите на дисертационния труд. Приносите в

настоящия дисертационен труд имат научно-приложен и приложен характер.

Научно-приложни приноси

1. На базата на разгледаните физико-математически принципи на действие на пиезоелектричните харвестери е обосновано разглеждането на пиезоелектричните вибрационни гредови харвестерни конструкции като специфичен частен случай на пиезоелектричните компресионни харвестери.

2. Предложени са усъвършенствани еквивалентни схеми на вибрационен пиезоелектричен харвестер от гредови тип с цел отразяване на реалните условия, на които могат да бъдат подложени този тип конструкции. Елементите на предложените еквивалентни схеми отразяват някои от променливите параметри в работата на този вид харвестери (като паразитни капацитети), както и параметрите на външните за схемата елементи, които оказват въздействие върху работата на харвестера.

3. Създаден е модел на планарна конструкция на пиезоелектричен харвестер от компресионен тип, който отразява особеностите на елементите, изграждащи това устройство и се базира на основните принципи на съпротивлението на материалите за вертикално и хоризонтално усилие.

4. Обосновано е паралелно електрическо свързване между отделните елементи на компресионния харвестер, поради факта че последователното електрическо свързване на елементи в случая не е подходящо, тъй като, за да се генерира сигнал за цялата матрица, всички нейни елементи трябва да бъдат подложени на механичен натиск едновременно.

5. В резултат на експериментални изследвания е обосновано и доказано включването на изправителната част към измервателните схеми, оценяващи количеството на придобита енергия от харвестерите поради получаване на разходимост на получените експериментални резултати за получената променливотокова мощност. Това се обяснява с наличието на реактивна съставляваща на мощността, която води до неточно отчитане при непреките методи на оценка на количеството получавана енергия.

6. Предложени са два варианта на планарна конструкция на компресионен пиезоелектричен харвестер и методика за изследването им. От направените

изследвания се доказва че вертикалното усилие с прекъснат (ударен) характер постига по-добра ефективност спрямо непрекъснатото (хоризонтално- ротационно) въздействие, което се корелира с предложението в трета глава модел.

Тези приноси имат характера на обогатяване на съществуващите знания, свързани с добив на енергия от пиезоелектрични харвестери.

Приложни приноси

1. Направена е оценка на адекватността на използваните измервателни схеми от типа AV и VA, както и комбинацията между тях. Резултатите за постояннотоковата част показват голяма степен на сходимост, което доказва правилността на използването на изправителна част в експерименталната установка.

2. Във връзка с разработката на компресионни пиезоелектрични харвестери е създадена конструкция за по-ефективно събиране на енергия чрез намаляване на разстоянието между активните елементи на харвестера, доказано от направените експериментални изследвания.

Приносите се отнасят към приложение на съвременни технически средства за добив на енергия за захранване на системи и устройства с ниска консумация без използване на батерии и конвенционална енергия.

7.ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД И АВТОРСТВО НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Публикациите по дисертационния труд са **5** на брой, **3** от които са в конференции на **IEEE** и реферирани в **Scopus**, **4** са в международни научни конференции.

Една от публикациите е самостоятелна. **Четири** от публикациите са в съавторство с ръководител и други съавтори. В **две** от тях докторантката е на първо място.

Според дадения материал и направените по него публикации, считам, че приносите в настоящия труд са лично дело на докторанта, под ръководството на неговите ръководители.

Приемам, че публикациите отразяват основните части на разработката.

Докторанта изпълнява наукометричните критерии за придобиване на научна степен „доктор“.

8.ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД В ПРАКТИКАТА

Считам, че изследванията в дисертационния труд и получените резултати могат да се ползват при разработка на захранващи устройства за системи и устройства с не конвенционални източници на електрическа енергия и ниска консумация без използване на батерии. Отчитайки резултатите от дисертационният труд и тенденциите на развитие на съвременната електроника, считам че той е изключително актуален и резултатите от разработката ще намерят голямо приложение в практиката.

9. АВТОРЕФЕРАТ

Съдържанието на автореферата съответства на съдържанието на дисертационния труд. Означенията на фигурите и формулите в автореферата съвпадат с тези от дисертацията.

Оценката ми за автореферата е, че той отговаря на общо приетите изисквания и отразява вярно съдържанието и приносите на дисертационния труд.

10.МНЕНИЯ, ПРЕПОРЪКИ, ЗАБЕЛЕЖКИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Към работата методични забележки нямам.

За отбелязване също е много добрата структура на дисертацията. Всяка глава завършва с резултати и изводи.

Забелязаните неточности са предоставени на автора.

11.ЛИЧНИ ВПЕЧАТЛЕНИЯ

Не познавам лично докторанта. Отчитайки представеният дисертационен труд и публикациите към него, мога да твърдя че маг. инж. Румяна Ангелова Стоянова е учен с вкус към научно-изследователската работа, насочена към новости в електрониката и микропроцесорната техника.

Изключително добро впечатление прави силната математична част - използването на интегрални и диференциални уравнения и матрици за теоретичната част на разработката.

12.ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Считам, че представеният дисертационен труд отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и на Процедурните правила на Технически университет-Габрово. Постигнатите резултати ми дават основание да предложа **да бъде придобита** образователната и научна степен **„Доктор”** от **маг. инж. Румяна Ангелова Стоянова** в професионално направление 5.2. Електротехника, електроника и автоматика, Докторска програма: „Микроелектроника“.

02.01.2025 г.

Подпис: /п/

/проф. д-р инж. И. Евстатиев/