

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Александра Медведева 14 · Поштански фах 73
18000 Ниш · Србија
Телефон 018 529 105 · Телефакс 018 588 399
E-mail: efinfo@elfak.ni.ac.rs; <http://www.elfak.ni.ac.rs>
Текући рачун: 840-1721666-89; ПИБ: 100232259



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING

Aleksandra Medvedeva 14 · P.O. Box 73
18000 Niš - Serbia
Phone +381 18 529 105 · Fax +381 18 588 399
E-mail: efinfo@elfak.ni.ac.rs
<http://www.elfak.ni.ac.rs>

ДЕКАН

15.03.2023. године

О Б А В Е Ш Т Е Њ Е
НАСТАВНИЦИМА И САРАДНИЦИМА ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Докторска дисертација кандидата дипл. инж. Милоша Марјановића под насловом „Моделирање ефикасности минијатурних термоелектричних модула“ и Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације доступни су на увид јавности у електронској верзији на званичној интернет страници Факултета и налазе се у штампаном облику у Библиотеци Електронског факултета у Нишу, и могу се погледати до **14.04.2023. године**.

Примедбе на наведени извештај достављају се декану Електронског факултета у Нишу у напред наведеном року.

Председник Наставно-научног већа
ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА У НИШУ

Декан
Проф. др Драган Манчић



ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног
родитеља и име Марјановић Боривој Милош

Датум и место рођења 22.11.1989. - Књажевац

Основне студије

Универзитет Универзитет у Нишу

Факултет Електронски факултет у Нишу

Студијски програм Електротехника и рачунарство

Звање Дипломирани инжењер електротехнике за микроелектронику и микросистеме

Година уписа 2008.

Година завршетка 2013.

Просечна оцена 10,00

Мастер студије, магистарске студије

Универзитет

Факултет

Студијски програм

Звање

Година уписа

Година завршетка

Просечна оцена

Научна област

Наслов завршног рада

Докторске студије

Универзитет Универзитет у Нишу

Факултет Електронски факултет у Нишу

Студијски програм Електротехника и рачунарство – Нанотехнологије и микросистеми

Година уписа 2013.

Остварен број ЕСПБ бодова 150

Просечна оцена 10,00

НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације Моделирање ефикасности минијатурних термоелектричних модула

Име и презиме ментора, звање др Анета Пријић, редовни професор

Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације НСВ број 8/20-01-001/21-039 у Нишу, 22.02.2021.

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна 125

Број поглавља 6

Број слика (шема, графикона) 73

Број табела 19

Број прилога -

ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ
У НИШУ
Датум 15.03.2023.
Број
07/03-004/23-004

**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1	<p>Miloš Marjanović, Aneta Prijić, Branislav Randelović, Zoran Prijić, „A Transient Modeling of the Thermoelectric Generators for Application in Wireless Sensor Network Nodes”, <i>Electronics</i>, 2020, 9, 1015.</p> <p>У раду су приказани резултати моделирања минијатурних термоелектричних модула за хлађење/грејање као генератора електричне енергије са циљем одабира најпогоднијих за употребу у термички напајаним чворовима бежичне сензорске мреже. Генерисан је еквивалентни електротермички модел чвора за временски променљиви режим рада погодан за примену у SPICE симулаторима. Представљени модел је искоришћен за карактеризацију различитих термоелектричних генератора у оквиру компактнoг чвора са алуминијумским штампаним плочама са аспекта ефикасности прикупљања енергије, временска хладног старта, димензија и компактности чвора и максималне температуре примене. Предложени су критеријуми за избор одговарајућег генератора у зависности од примарног циља пројектовања и постављених термичких радних услова.</p>	M22
2	<p>Miloš Marjanović, Aleksandra Stojković, Aneta Prijić, Danijel Danković, Zoran Prijić, „Spatial SPICE Model of a Wireless Sensor Network Node Based on a Thermoelectric Generator“, <i>Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics</i>, 2022, Vol. 35, No. 4, pp. 513-539.</p> <p>Овај рад приказује просторни SPICE модел чвора бежичне сензорске мреже који омогућава симулацију његових перформанси у стационарном и временски променљивом режиму рада. Модел укључује конструктивне неелектричне делове чвора и термоелектрични генератор, а његова валидност је потврђена поређењем резултата симулације са експерименталним мерењима. Омогућена је карактеризација чворова бежичне сензорске мреже који се састоје од различитих термоелектричних генератора и хладњака у смислу ефикасности конверзије топлотне у електричну енергију.</p>	M24
3	<p>Aneta Prijić, Miloš Marjanović, Jana Vračar, Aleksandra Stojković, Zoran Prijić, “Consideration of alternative materials for passive heatsinks under natural cooling conditions”, <i>Book of abstracts 10th Serbian Ceramic Society Conference “Advanced Ceramics and Application”</i>, p. 43, Belgrade, Serbia, September 2022.</p> <p>Овај рад представља поређење перформанси четири нестандартна хладњака (од керамике алумине, микропорозне алумине и микропорозне бакарне пене) са алуминијумским хладњаком сличних димензија у условима природног хлађења. Разматрани хладњаци служе за дисипацију топлоте са хладне стране изабраног стандардног минијатурног термоелектричног генератора. Пролена ефикасности хладњака је заснована на вредностима напона који генератор преноси на оптерећење при различитим примењеним температурним разликама између топле стране генератора и околине. Експериментална поставка је праћена одговарајућим нумеричким симулацијама. Добијени резултати указују на то да хладњаци од алумине и микропорозних материјала сличних спољашњих димензија имају блиске перформансе у разматраном температурном опсегу.</p>	M32
4	<p>Miloš Marjanović, Aleksandra Stojković, Aneta Prijić, Danijel Danković, Zoran Prijić, „A SPICE Compatible Spatial Equivalent Circuit Model of the Heatsink“, <i>Proc. 32nd IEEE International Conference on Microelectronics (MIEL-2021)</i>, pp. 103-106, Niš, Serbia, September 2021.</p> <p>У овом раду је приказана процедура за креирање SPICE компатибилног просторног модела еквивалентног кола хладњака. Модел је заснован на електро-термалној аналогiji и приступу партиционисања коначних запремина. Потврђен је поређењем резултата симулације са експериментално добијеним подацима и нумеричким симулацијама заснованим на методу коначних елемената. Моделом су омогућене симулације сложених, спрегнутих термоелектричних система у симулаторима електричних кола.</p>	M33
5	<p>Miloš Marjanović, Aneta Prijić, Zoran Prijić, „Open Circuit Test of a Thermoelectric Generator with Different Heatsources and Heatsinks“, <i>Proc. of Student conference „Energy efficiency and sustainable development”</i>, 2019, pp. 8-13, Skopje, North Macedonia.</p> <p>У овом раду се анализира утицај површине извора топлоте и димензија хладњака на временску зависност генерисаног напона отвореног кола термоелектричног генератора за различите тренутно примењене температурне разлике. Експериментално је потврђено да је хладњак већих димензија ефикаснији. С друге стране, велика површина извора топлоте доводи до загревања околине и смањења температурне разлике током времена, а тиме и до смањења генерисаног напона термоелектричног генератора. Приликом дизајнирања система са термоелектричним генераторима, мора се постићи компромис између жељене ефикасности у погледу излазне снаге и димензија генератора и хладњака.</p>	M33
6	<p>Jana Vračar, Miloš Marjanović, Aleksandra Stojković, Zoran Prijić, Aneta Prijić, Ljubomir Vračar, „Application of a Low-Voltage Step-Up Circuit for Thermal Energy Harvesting Under Natural Convection“, <i>Proc. of 6th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2019</i>, 2019, pp. 564-569, Silver Lake, Serbia.</p> <p>Овај рад описује дизајн кола за подизање напонског нивоа у систему за сакупљање топлотне енергије при условима природне конвекције. Аналитички одређена учестаност Мајснеровог осцилатора, заснована на електричном моделу за мале сигнале, показује добро слагање са експериментално добијеним резултатима. Анализом таласних облика напона</p>	M33

	у карактеристичним тачкама у колу, утврђено је да се при температурној разлици између топле стране термоелектричног генератора и околине од око 30 °C генерише напон довољан за покретање осцилатора и касније генерисање напона неопходног за напајање електронских компонената.	
7	<p>Aneta Prijić, Miloš Marjanović, Ljubomir Vračar, Danijel Danković, Dejan Milić, Zoran Prijić, „A Steady-State SPICE Modeling of the Thermoelectric Wireless Sensor Network Node“, <i>Proc. of 4th International Conference on Electrical, Electronics and Computing Engineering, IcETRAN 2017</i>, 2017, pp. MOI2.3.1-6, Kladovo, Serbia.</p> <p>Рад представља резултате моделирања термоелектричног чвора бежичне сензорске мреже реализованог са алуминијумским штампаним плочама помоћу симулатора SPICE. Перформансе чвора у стационарном стању су анализирани при различитим температурним разликама између топле стране и околине узимајући у обзир три комерцијална термоелектрична модула који се користе унутар чвора као термоелектрични генератори. Параметри модела изведени су из техничких спецификација модула и термичких и геометријских својстава осталих елемената чвора. Резултати симулације су упоређени са резултатима добијеним мултифизичким нумеричким симулацијама и експериментално. Акцент је стављен на утицај Пелтијевог ефекта и Џуловог загревања на тачност модела.</p>	M33
8	<p>Miloš Marjanović, „Termoelektrični modul kao izvor napajanja u čvorovima bežičnih senzorskih mreža – pregled“, <i>Proc. IEEEESTEC - 14th Student Projects Conference</i>, pp. 189-193, Niš, Srbija, 2021.</p> <p>Прикупљањем различитих видова енергије из околине и њеним претварањем у електричну енергију омогућен је рад самонапајајућих сензорских чворова и електронских компонената. У овом раду дат је литературни преглед различитих самонапајајућих система заснованих на термоелектричним модулима.</p>	M63
9	<p>Aleksandra Stojković, Miloš Marjanović, Jana Vračar, Aneta Prijić, Zoran Prijić, „Performanse sklopova termoelektrični modul-hladnjak namenjenih samonapajajućim sistemima u uslovima prirodnog hlađenja“, <i>Zbornik radova LXV konferencije ETRAN</i>, pp. 330-334, Etno selo Stanišići, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina, 2021.</p> <p>Склопови термоелектрични модул-хладњак налазе широку примену у системима за конверзију термичке у топлотну енергију и обрнуто. У овом раду је анализиран изабрани термоелектрични модул у улози термоелектричног генератора у спрези са шест различитих хладњака блиских димензија под условима природног хлађења. Разматрана је ефикасност склопова са аспекта електричног напона предатог потрошачу при различитим температурним побудама. Извршена су експериментална мерења и одговарајуће нумеричке симулације, при чему су анализирани доприноси појединих термоелектричних ефеката и механизма одвођења топлоте са површина хладњака. Показано је да равни хладњаци од микропорозних материјала могу адекватно да замене екструдирани алуминијумске хладњаке код самонапајајућих система у условима природног хлађења</p>	M63

ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА

На основу Извештаја о испуњености критеријума за покретање поступка за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата дипл. инж. Милоша Марјановића заведеног под бројем 07/03-004/23-001 од 06. 02. 2023. године, који је одговарајућа Комисија Електронског факултета у Нишу поднела Декану факултета, утврђује се да кандидат **ИСПУЊАВА** све предвиђене услове за оцену и одбрану докторске дисертације. Кандидат дипл. инж. Милош Марјановић је доставио доказе да је првопотписани аутор рада у часопису са SCI листе, као и рада у часопису који издаје Универзитет у Нишу, на основу чега је Комисија предложила покретање поступка за оцену и одбрану његове докторске дисертације.

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

Докторска дисертација кандидата дипл. инж. Милоша Марјановића је изложена на 125 страна формата А4. Текст дисертације садржи 6 поглавља, спискове табела, слика и ознака, кратак резиме написан на српском и енглеском језику, списак коришћене литературе, као и списак објављених научних радова и биографију аутора. Дисертација је јасно и прецизно написана, а изложена материја има логичан ток разматрања.

У оквиру дисертације су креирани ефикасни једнодимензиони и просторни еквивалентни термоелектрични SPICE компатибилни модели чвора бежичне сензорске мреже (чвора WSN) за временски променљиви режим рада. Ови модели омогућавају карактеризацију различитих минијатурних комерцијалних термоелектричних модула/генератора (ТЕМ/ТЕГ-ова) као делова чвора са алуминијумских штампаним плочама са аспекта ефикасности прикупљања енергије, времена хладног старта, димензија и компактности система, као и минималне и максималне температуре њихове примене. Осим тога, анализирана је ефикасност сета склопова термоелектрични генератор-хладњак намењених самонапајајућим системима у условима природног хлађења и извршена карактеризација нисконапонског кола за подизање вредности термоелектрично генерисаног напона.

Након резимеа на српском и енглеском језику на почетку дисертације су дати спискови табела, слика и ознака које она садржи.

У уводном делу је изложена проблематика и дат кратак приказ истраживања спроведених у оквиру дисертације.

У оквиру другог поглавља су описани физички принципи рада и дефинисани битни параметри термоелектричних модула/генератора. Осим тога, дат је и литературни преглед примера примене термоелектричних модула као извора напајања у чворовима бежичних сензорских мрежа. Део овог поглавља чине и резултати експерименталне карактеризације једног комерцијалног термоелектричног модула са аспекта величине површина његовог загревања и хлађења.

Треће поглавље садржи два потпоглавља. У првом је описан поступак формирања једнодимензионалног SPICE компатибилног модела WSN чвора са ТЕГ-ом за временски променљиви режим рада. Такође, овде су дати резултати карактеризације WSN чвора са различитим ТЕГ-овима добијени формираном SPICE моделом. Просторни SPICE модел WSN чвора са ТЕГ-ом представљен је у другом потпоглављу. Овај модел омогућава симулацију перформанси у стационарном и временском домену. Обухвата саставне неелектричне делове чвора и термоелектрични генератор са укљученим термоелектричним ефектима. Симулациони резултати су упоређени са експерименталним да би се извршила валидација предложеног модела. Модел омогућава карактеризацију чворова бежичне сензорске мреже у погледу ефикасности конверзије енергије.

Четврто поглавље садржи анализу ефикасности низа склопова термоелектрични модул - хладњак намењених самонапајајућим системима. У оквиру ове главе описана је аутоматизована експериментална поставка за мерење напона предатог од стране склопа потрошачу при различитим температурним побудама и описана симулациона поставка за моделирање склопова коришћењем нумеричке термоелектричне анализе у спрегнутим доменима и анализе динамике флуида. Добијени резултати су анализирани са циљем процене ефикасности појединих типова хладњака при условима природне конвекције на перформансе ТЕГ-ова под оптерећењем. Извршена је и процена утицаја Пелтијевог ефекта на перформансе ТЕГ-ова при различитим температурним побудама.

Пето поглавље обрађује коло за подизање вредности напона засновано на Мајснеровом осцилатору. У оквиру овог поглавља је дат аналитички модел за мале сигнале осцилатора који омогућава одређивање фреквенције његовог осциловања у оквиру кола за подизање напонског нивоа. Осим тога, дати су и резултати експерименталне карактеризације оваквог кола при условима термоелектричног напајања.

У закључном разматрању су сумирани резултати истраживања. Истакнут је научни допринос докторске дисертације и предложени правци даљег истраживања.

На крају дисертације је дат списак коришћене литературе, као и списак објављених научних радова и биографија аутора.

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације (до 200 речи)

У дисертацији су приказани ефикасни једнодимензиони и просторни еквивалентни термоелектрични SPICE компатибилни модели WSN чвора за временски променљиви режим рада који су креирани током истраживања. Ови модели су искоришћени за карактеризацију различитих минијатурних комерцијалних TEM-ова унутар WSN чвора са алуминијумских штампаним плочама са аспекта ефикасности прикупљања енергије, времена хладног старта, димензија и компактности система, као и минималне и максималне температуре њихове примене.

Анализиран је одабир геометрије и материјала пасивних хладњака оптималних за примену са различитим ТЕГ-овима као деловима разматраног WSN чвора у смислу ефикасности конверзије топлотне у електричну енергију у условима природне конвекције. При томе су резултати за анализу добијени новопроектваном експерименталном методом, као и симулацијама према процедури специфичној за микропорозне материјале.

Додатно је извршено пројектовање, тестирање и оптимизација кола за подизање напонског нивоа погодног за примену у термоелектрично напајаним самонапајајућим системима. Развијени аналитички модел за одређивање фреквенције осциловања осцилатора, који чини есенцијални део кола, је верификован експерименталним мерењима.

На основу наведених резултата, закључује се да је кандидат у потпуности реализовао све циљеве постављене у пријави теме докторске дисертације.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације (до 200 речи)

Према оцени Комисије, најзначајнији резултати докторске дисертације дипл. инж. Милоша Марјановића су:

- Развијени SPICE компатибилни једнодимензиони и просторни модели WSN чвора за временски променљиви режим рада. Ови модели омогућавају истраживање функционалних карактеристика чвора када су различити комерцијални термоелектрични модули коришћени као извори напајања.
- Извршена процена ефикасности минијатурних комерцијалних термоелектричних модула искоришћених за напајање WSN чвора са алуминијумским штампаним плочама са аспекта ефикасности прикупљања енергије, времена хладног старта, димензија и компактности система, као и минималне и максималне температуре примене.
- Постављен критеријум за избор оптималне геометрије и материјала пасивних хладњака компатибилних са ТЕГ-овима намењеним напајању WSN чвора у условима природне конвекције на основу експеримената и симулације. Показано је да равни хладњаци од микропорозних материјала могу адекватно да замене екструдиране алуминијумске хладњаке код самонапајајућих система у условима природног хлађења.
- Дефинисан аналитички модел за мале сигнале за одређивање фреквенције осциловања осцилатора у колу за подизање напонског нивоа.

Наведени резултати представљају допринос како у теоријском, тако и практичном домену. Развијени SPICE компатибилни модели, дефинисани критеријуми за избор хладњака и модел за одређивање фреквенције осциловања омогућавају пројектовање високо ефикасних и поузданих термално напајаних WSN чворова.

Оцена самосталности научног рада кандидата (до 100 речи)

Током трајања докторских академских студија и израде докторске дисертације, кандидат дипл. инж. Милош Марјановић је показао висок степен самосталности и истрајности у раду. Истиче се његова иницијатива да се циљеви дефинисани темом дисертације што темељније обраде, као и да се реализују додатна истраживања као њихова надоградња. Самосталност у раду кандидата потврђена је публикованим научним радовима где је он првопотписани аутор.

ЗАКЉУЧАК (до 100 речи)

На основу увида у поднету докторску дисертацију дипл. инж. Милоша Марјановића, може се закључити да она презентује оригиналне резултате истраживања и, поред научног, садржи и практични допринос са аспекта инжењерске примене. Резултат свеобухватног научно-истраживачког рада кандидата представљају и публиковани радови у области термоелектрично напајаних чворова бежичних сензорских мрежа.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Електронског факултета у Нишу да докторску дисертацију дипл. инж. Милоша Марјановића под насловом: „**Моделирање ефикасности минијатурних термоелектричних модула**“ **прихвати и одобри њену усмену одбрану.**






КОМИСИЈА

Број одлуке ННВ о именовану Комисије

НСВ број 8/20-01-002/23-022

Датум именовања Комисије

У Нишу, 27.02.2023.

Р. бр.	Име и презиме, звање		Потпис
1.	др Зоран Пријић, редовни професор Микроелектроника и микросистеми <small>(Ужа научна област)</small>	председник Универзитет у Нишу, Електронски факултет у Нишу <small>(Установа у којој је запослен)</small>	
2.	др Анета Пријић, редовни професор Микроелектроника и микросистеми <small>(Ужа научна област)</small>	ментор, члан Универзитет у Нишу, Електронски факултет у Нишу <small>(Установа у којој је запослен)</small>	
3.	др Весна Пауновић, редовни професор Материјали за електронику <small>(Ужа научна област)</small>	члан Универзитет у Нишу, Електронски факултет у Нишу <small>(Установа у којој је запослен)</small>	
4.	др Данијел Данковић, ванредни професор Микроелектроника и микросистеми <small>(Ужа научна област)</small>	члан Универзитет у Нишу, Електронски факултет у Нишу <small>(Установа у којој је запослен)</small>	
5.	др Дана Васиљевић-Радовић, научни саветник Микроелектроника и микросистеми <small>(Ужа научна област)</small>	члан Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију <small>(Установа у којој је запослен)</small>	

Датум и место:

15.03.2023. године у Нишу