

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ

17.3 2020
584

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

ПРЕДМЕТ: Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације и испуњености услова кандидата **Станка Алексића**, дипл. физичара

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-8/13 од 22. јануара 2020. год. и Закључка о исправци техничке грешке број IV-04-8/13-1 од 12. фебруара 2020. год, а на предлог Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку (одлука бр. 17-2811/6 од 11.12. 2019. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације под радним називом:

**"ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛОВАЊЕ СЕНЗОРСКИХ СИСТЕМА НА БАЗИ
ДЕБЕЛОСЛОЈНИХ СЕГМЕНТИРАНИХ НИКЛ МАНГАНИТНИХ NTC ТЕРМИСТОРА"**

из образовно-научног поља Техничко-технолошких наука, научна област Електротехничко и рачунарско инжењерство - Савремени материјали и технологије у електротехници, кандидата Станка Алексића, дипл. физичара. На основу пријаве дисертације и увида у научни рад кандидата, достављамо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

Предложена тема докторске дисертације припада научној области развоја савремених сензора на бази дебелослојних NTC термистора и њиховој примени за мерење протока течности, брзине ветра и профила температуре земљишта.

Дебелослојни термистори добијају се штампањем посебних термисторских пасти развијених од прахова на бази никл манганита NiMn_2O_4 и модификованог никл манганита $\text{Cu}_{0.2}\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{1.0}\text{Mn}_{1.3}\text{O}_4$ (делимична супституција NiO и MnO_2 додатком CuO и цинка Zn) уз додатак органског носиоца прахова и везивног стакла. Дебелослојни сегментирани термистори имају сложену планарну вишећелијску геометрију редно-паралелног типа, која је оптимизирана за праћење промена топлоте у испитиваним радним срединама (флуидима или земљи).

Током израде дисертације анализираће се одзиви и осетљивост све три методе мерења на лабораторијским прототиповима реализованих сензорских система. Анализа електричних појава на дебелослојним NTC термисторима при кретању флуида вршиће се у стационарним и нестационарним условима протока. Анализа профила температуре земљишта је заснована на свакодневном мерењу у горњем, обрадивом слоју земље током једногошњег циклуса промене климе.

Промена електричне отпорности и температуре на сегментираним термисторима у стационарним и динамичким условима амбијента је сложен процес током којег се одиграва пренос топлоте термистора (који се самозагрева) на флуид. Стога је промена електричног одзива на примењеним сегментираним NTC термисторима функција више параметара амбијента који утичу на опсег примене, осетљивост и несигурност мерења сва три сензорска система.

У горе поменутих сензорским системима у зависности од геометрије мерног места уграђују се најмање 2 а највише 10 дебелослојних сегментираних NTC термистора-сензорских елемената. Праћење промена електричних параметара на уграђеним сензорским елементима вршиће се у реалном времену како би се утврдило кашњење одзива у импулсном режиму и проширила примена на нестационарне услове рада. При томе посебан допринос се очекује у анализи режима рада дебелослојних NTC термистора као сензора брзине ветра и протока течности, а чије су измене брзе и веома честе.

Веза са досадашњим истраживањима

Кандидат се од уписа на докторске студије бави научном проблематиком дебелослојних сегментираних NTC термистора и сензорских система у којима су ови сензорски елементи уграђени. При томе је од интереса спровести карактеризацију термистора као сензора, оптимизацију радних тачака, анализу одзива сензорских система, моделовање резултата мерења и друго. Тема докторске дисертације је врло актуелна, а до сада добијени резултати истраживања показују постигнуте предности над постојећим сензорима. Кандидат је из области дисертације већ објавио радове у међународним научним часописима и саопштења на конференцијама, а неколико радова међународног карактера је у поступку публиковања што указује на позитиван крајњи исход рада. Предложени план докторске дисертације који је кандидат детаљно образложио у пријави теме указује на целовит мултидисциплинаран приступ у истраживању, уз прожимање експерименталног и теоријског рада.

2. Образложење предмета, методе и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке

Предмет, методе и циљеви обухваћени овом дисертацијом су следећи

Предмет истраживања ове докторске дисертације су сензорски системи дебелослојних сегментираних NTC термистора на бази никл манганита NiMn_2O_4 и модификованог никл манганита $\text{Cu}_{0.2}\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{1.0}\text{Mn}_{1.3}\text{O}_4$ (делимична супституција NiO и MnO_2 додатком CuO и цинка Zn).

Циљ ове докторске дисертације је истраживање примене сегментираних NTC термистора у различитим сензорским системима: за мерење протока течности, као једноосни и троосни анемометар и као сензорски низ за мерење температуре тла.

С обзиром на спроведени преглед стања у светској литератури, као полазни материјали изабрани су никл манганит и модификовани никл манганит припремљени у форми пасти за израду дебелослојних филмова. За израду самих термистора примењује се геометрија сегментираног типа, а затим се технологијом синтеровања обезбеђује жељена микроструктура са својством негативног темепературског коефицијента електричне отпорности.

Значај развоја, карактеризације, оптимизације и моделовања три нова сензорска система на бази примене дебелослојних NTC термистора и анализе њихових електричних одзива огледа се у њиховим предностима над другим сензорима који раде на истим или другим принципима: Нови сензорски системи са сегментираним термисторима немају покретне делове, не захтевају појачавачку електронику, енергетски су ефикасни, лаки су и са ниским трошковима израде. Осетљивост дебелослојних термистора је висока и имају брз одзив. Код оба сензора који се самозагревају, радни опсег је подељен на подопсеге и примењено је адаптивно напајање.

Доминантни и најсложенији део истраживања су електрични одзиви на дебелослојним сегментираним NTC термисторима примењеним у описаним сензорским системима и моделовање њиховог електричног одзива ради оптимизације рада, стабилности и подизања осетљивости у температурским подопсезима.

Током истраживања у оквиру ове докторске дисертације ће се користити следеће експерименталне методе за карактеризацију дебелослојних сегментираних NTC термистора као основних сензорских елемената испитиваних сензорских система:

1. Дебелослојна хибридна технологија: израда више врста дебелослојних сегментираних NTC термистора-сензора штампањем термисторских пасти (NiMn_2O_4 и $\text{Cu}_{0.2}\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{1.0}\text{Mn}_{1.3}\text{O}_4$). Синтеровање дебелих слојева на $850\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ min}$ у тунелској пећи. Структурна карактеризација материјала (дифрактометрија X-зрацима (XRD), скенирајућа електронска микроскопија (SEM)).
2. Одређивање номиналне електричне отпорности конструисаних дебелослојних сегментираних NTC термистора у клима комори на $20\text{ }^\circ\text{C}$ и мерење паразитних капацитивности.
3. Снимање зависности електричне отпорности R од температуре T у клима комори. Одређивање вредности експоненцијалног фактора B на основу измерене температурске зависности $R(T)$ сегментираних NTC термистора и у опсегу температура од $-20\text{ }^\circ\text{C}$ до $40\text{ }^\circ\text{C}$.
4. Мерење струјне $I(T)$ и напонске $U(T)$ карактеристике у функцији од температуре T . Корелација ових карактеристика ради одређивање максималне и минималне струје термистора (I_{max} , I_{min}) при самозагревању, тј. ради одређивања радне тачке при константном напону за различите температурске подопсеге.

5. Мерење статичких карактеристика сензора при одвођењу топлоте на сегментираним NTC термисторима у одсуству кретања флуида при различитим периодима самозагревања/хлађења.
6. Ради праћења одзива сензора на различите облике импулсних промена протока спровешће се мерења улазног протока воде $Q(t)$ ултразвучним сензором, температуре улазне воде помоћу сегментираног NTC термистора и струје самозагревања NTC термистора-сензора.
7. Мерење и анализа термичког одзива и термичког хистерезиса NTC сензора протока воде за различите облике импулсних промена протока.
8. Карактеризација једоосног анемометра са сегментираним NTC термистором; ради формирања зависности струје самозагревања NTC сензора од брзине ветра спровешће се мерења са референтним Vane anemometer-анемометром са пропелером.
9. Карактеризација троосног (X,Y,Z,T) анемометра са сегментираним NTC термисторима: формирање калибрационих кривих за интензитет брзине ветра и угао кретања ветра на основу вредности струје самозагревања NTC сензора, и то у X,Y равни и X,Y,Z простору.
10. Калибрација сензора температурног профила обрадивог слоја тла. Коришћење Steinhart-Hart-ове методе за одређивање температуре на основу измерене електричне отпорности на сегментима NTC термистора.

Комисија процењује да је истраживање прототипова сензорских система на бази дебелослојних сегментираних NTC термистора изузетно актуелно са евидентним бројним практичним применама.

3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема

Савремена техника је заснована на изузетном развоју сензорике – науке о дизајну, производњи и коришћењу сензора. Специјално место међу бројним сензорима заузимају NTC термистори који се намећу као једно од најефикаснијих решења за мерење не само температуре већ индиректно и за мерење других физичких величина (проток гаса, течности, топлотно зрачење, ...). Нова конструкторска и геометријска решења дебелослојних сегментираних сензора омогућавају ширење ефикасне примене сензорских система на бази NTC термистора. Као поуздани материјали за израду термистора изабрани су синтеровани филмови никл манганита $NiMn_2O_4$ и модификованог никл манганита $Cu_{0.2}Ni_{0.5}Zn_{1.0}Mn_{1.3}O_4$.

Током израде докторске дисертације развиће се три оригинална прототипа сензорских система (системи за мерење протока течности, брзине ветра и профила температуре земљишта) који као основни елемент имају два или више сегментираних NTC термистора-сензора. Добијени експериментални резултати одзива на променљиву побуду праћених физичких величина ће бити основа формирања калибрационих кривих и моделовања електричних и термичких појава на сензорима.

Проток течност у цеви мериће се сегментираним термисторима при различитим импулсима и тест секвенцама. При томе се температура воде узима као улазни параметар, а за референтни сензор протока користиће се комерцијални ултразвучни сензор. Спровешће се анализа термичког одзива и термичког хистерезиса сензора за различите динамичке облике протока воде.

Брзина ветра ће се најпре пратити једноосним анемометром са једним сегментираним термистором, у функцији температуре ваздуха и угла под којим ветар струји уз примену редуктора протока. Коришћењем ових искустава формираће се троосни X,Y,Z анемометар са три термистора и додатним сензором за мерење температуре. Мерење одзива на брзину ветра врши се за све три осе истовремено тј. на сва три термистора - сензора. Референтна мерења брзине ветра вршиће се помоћу комерцијалног Vane анемометра-анемометра са пропелером.

Резултати мерења градијента температуре спроведена помоћу сензорског низа по дубини тла у 40 тачака ће се систематизовати у дневне, недељне, месечне, кварталне и годишње дијаграме. Из мерених резултата одредиће се топлотна дифузивност тла, процена количине влаге у функцији дубине и уочени периоди када тло прима топлоту или је враћа у ваздух, периоди топлотне равнотеже и превојне тачке у календару.

За сва три сензорска система утврдиће се предности и недостаци у односу на друге сензоре (осетљивост, мерни опсег, несигурност, сложеност израде...).

На основу предложених полазних хипотеза, научних циљева, метода истраживања, очекиваних експерименталних резултата и моделовања електричних појава Комисија сматра да је тема ове докторске дисертације нова и изузетно актуелна. Очекује се да се оригинални прототипови сензорских система развијени током израде ове дисертације могу успешно применити у индустрији, пољопривреди, биологији и метеорологији.

4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације

Кандидат Станко Алексић је у достављеној пријави теме докторске дисертације правилно дефинисао предмет истраживања, полазећи од никл манганитних материјала преко праћења сензорских сигнала до препоручених области примена, користећи одговарајуће научне и стручне термине из савремене сензорике. Предложене хипотезе су базиране на обимним изворима података из међународне научне литературе у области развоја савремених материјала и технологија за израду сензора. На основу свеобухватне анализе проблематике која је предмет докторске дисертације предложене су и адекватне експерименталне методе уз поштовање свих научноистраживачких принципа.

5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

Биографски подаци

Станко Алексић је рођен 16. маја 1983. године у Београду, где је завршио основну школу и XII Београдску гимназију. Дипломирао је на Физичком факултету Универзитета у Београду, на Одсеку за примењену физику и информатику 2016. год. (признат мастер). Прве кораке у истраживачком раду направио је 2012. године на сензору протока воде на бази дебелослојних NTC термистора у институту ИРИТЕЛ, Београд. После тога је радио на аутоматизацији мерења и изради дипломског рада. Докторске академске студије уписао је школске 2016. год. на Факултету техничких наука у Чачку, студијски програм Електротехничко и рачунарско инжењерство, модул „Савремени материјали и технологије у електротехници“. Током 2017. год започео је истраживачки рад на више сензорских система. После обављене праксе, од јануара 2019. год ради у Институту ИРИТЕЛ на пројекту Иновативне електронске компоненте и системи базирани на неорганским и органским технологијама уграђеним у робе и производе широке потрошње - ТР 32016, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Стечено научно-истраживачко искуство

Докторске академске студије кандидат је уписао школске 2016/17 године на Факултету техничких наука у Чачку Универзитета у Крагујевцу, на смеру Електротехничко и рачунарско инжењерство, модул Савремени материјали и технологије у електротехници, где је положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија.

Списак положених испита на докторским академским студијама:

- 1) Теоријске и експерименталне методе истраживања (оцена: 10)
- 2) Физика кондензованог стања материје (оцена: 8)
- 3) Специјална електронска мерења (оцена: 9)
- 4) Термијска анализа-методе и примена (оцена: 10)
- 5) Процесирање керамичких материјала (оцена: 8)
- 6) Аморфни материјали, наноматеријали и нанотехнологије (оцена: 10)
- 7) Сензорика (оцена: 10)
- 8) Докторска дисертација-теоријске основе (оцена: 10)

Списак објављених научних и стручних радова из научне области из које је пријављена тема докторске дисертације

Радови чији је кандидат први аутор или коаутор публиковани су у међународним часописима категорије М21, домаћем часопису националног значаја М52 и презентовани на међународним и домаћим научним конференцијама.

Радови у истакнутим међународним часописима М21

1. **S. O. Aleksic**, N. S. Mitrovic, M. D. Lukovic, S. D. Veljovic-Jovanovic, S. G. Lukovic, M. V. Nikolic, and O. S. Aleksic, *A Ground Temperature Profile Sensor Based on NTC Thick Film Segmented Thermistors: Main Properties and Applications*, IEEE Sensors Journal, Vol.18 (11), 2018, pp. 4414-4421. ISSN : 1530-437X
2. D. Kosanović, V.A. Blagojević, A. Maričić, **S. Aleksić**, V.P. Pavlović, V.B. Pavlović, B. Vlahović, *Influence of mechanical activation on functional properties of barium hexaferrite ceramics*, Ceramics International, Vol. 44 (6), 2018, pp. 6666-6672. ISSN: 0272-8842

Радови саопштени на међународним скуповима штампани у целини М 33

3. **S. O. Aleksić**, N. S. Mitrović, M.D. Luković, S. Djukic, *Thick Film Thermistor Sensor for Measuring Temperature Profile of Ground Top Layer*, 41st International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE2018 Research and Development Tendencies in Advanced Electronics Technologies), 16-20 May 2018, Zlatibor, Serbia, Electronic ISBN: 978-1-5386-5731-7, pp. 1-3.
4. **S. O. Aleksić**, N. S. Mitrović, M. D. Luković, N. Blaž, S. G. Luković, Lj. D. Živanov, *Uniaxial Heat Loss Anemometer in Power Save Regime*, 42nd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE2019 Advances in Printed and Ceramic Microsystems), 15-19 May 2019, Wrocalaw, Poland, ISBN: 978-1-7281-1874-1, pp. 1-5,

Рад саопштен на међународном скупу штампан у изводу М 34

5. **S. O. Aleksic**, M. D. Lukovic, Z. Nikolic, Z. I. Stanimirovic, N. S. Mitrovic, *Analysis of heat loss of thick film segmented thermistors used in water flow sensor*, 9th Session : Materials for High-technology Application II, **Book of Abstracts**, paper 9.4, pp. 43, ISBN: 9788680321332, The 16th Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering, December 6-8, Belgrade 2017.

Рад у истакнутом националном часопису М52

6. **С. О. Алексић**, Н. С. Митровић, М. Д. Луковић, С. Г. Луковић, Н. Н. Обрадовић, *Примена дебелослојних сегментираних термистора за мерење и анализу температурног профила горњег слоја земље*, Техника (Електротехника), Вол. 67 (4), 2018, стр. 533-538. ISSN 0040-2176.

Рад саопштен на скупу националног значаја штампан у целини М 63

7. **С. О. Алексић**, Н. С. Митровић, М. Д. Луковић, С. Ђукић, А. Калезић-Глишовић, *Оптимизација и моделовање дебелослојног сегментираних термистора за градијентни сензор температуре тла*, Сесија МО1: Микроелектроника, микросистеми и оптоелектроника, ЕТРАН 2018, Палић 11-14. 06. 2018, Зборник радова, МО, стр. 308-313. ИСБН 978-86-7466-752-1.


На основу приложене документације, као и познавања досадашњег научног рада кандидата Станка Алексића, дипл. физичара, утврђујемо следећи

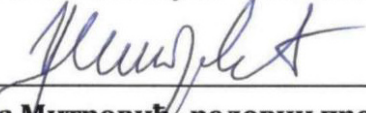
ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

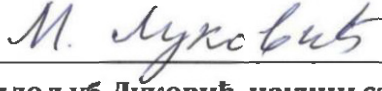
1. Кандидат Станко Алексић, дипл. физичар испуњава све формалне и суштинске услове који се захтевају Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Крагујевцу и Статутом Факултета техничких наука у Чачку за одобрење теме за израду докторске дисертације.
2. Предложена тема дисертације ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛОВАЊЕ СЕНЗОРСКИХ СИСТЕМА НА БАЗИ ДЕБЕЛОСЛОЈНИХ СЕГМЕНТИРАНИХ НИКЛ МАНГАНИТНИХ NTC ТЕРМИСТОРА припада научној области савремених материјала и технологија за израду сензора. На основу предложених полазних хипотеза, научних циљева, метода истраживања, очекиваних експерименталних резултата и моделовања електричних појава Комисија сматра да је тема дисертације нова и актуелна. Нови сензорски системи развијени као прототипови током израде дисертације могу се успешно применити у индустрији, пољопривреди, биологији и метеорологији.
3. Комисија референата предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Чачку Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да прихвати Извештај Комисије и кандидату Станку Алексићу одобри израду докторске дисертације под напред наведеним називом.
4. Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Небојша Митровић, редовни професор Факултета техничких наука у Чачку Универзитета у Крагујевцу.

У Чачку и Београду, марта 2020. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

1. 
Др Нина Обрадовић, научни саветник, председник
Научна област: Материјали,
Институт техничких наука - ИТН САНУ, Београд

2. 
Др Небојша Митровић, редовни професор, предложени ментор
Научне области: Примењена физика, Сензорика,
Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу

3. 
Др Милољуб Луковић, научни саветник, члан
Научна област: Материјали,
Институт за мултидисциплинарна истраживања- ИМСИ
Универзитет у Београду.