

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА, НОВИ САД

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Датум и орган који је именовao комисију Решењем бр. 012-199/5-2017, од 29. 06. 2017. године, декан Факултета техничких наука, именовao је комисију за оцену и одбрану докторске дисертације. 2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен: <ol style="list-style-type: none"> 1. Проф. др Стеван Станковски, редовни професор, уже научна област Мехатроника, роботика и аутоматизација и интегрални системи, изабран у звање 7.4.2005. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, председник комисије 2. Проф. др Зденка Бабић, редовни професор, уже научна област Општа електротехника, изабрана у звање 26.12.2012. године, Електротехнички факултет, Универзитет у Бањој Луци, члан 3. Проф. др Ласло Нађ, редовни професор, уже научна област Електроника, изабран у звање 14.11.2013. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, члан 4. Проф. др Миљко Сатарих, редовни професор, уже научна област Теоријска и примењена физика, изабран у звање 12.6.1995. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, члан 5. Проф. др Горан Стојановић, редовни професор, уже научна област Електроника, изабран у звање 21.10.2015. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, ментор
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Име, име једног родитеља, презиме: Митар, Стојан, Симић 2. Датум рођења, општина, држава: 17.10.1987. године, Љубовија, Србија 3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Универзитет у Источном Сарајеву, Електротехнички факултет, Аутоматика и електроника, Магистар електротехнике 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2012. година, Енергетика, електроника и телекомуникације 5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Кандидат није похађао магистарске студије.

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:
Нема.

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Преносиви електронски систем за карактеризацију и естимацију параметара сензора

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Текст докторске дисертације структуриран је у складу са принципима презентације научних истраживања. Целокупна дисертација има обим од 153 стране. Садржи насловну страну, кључну документацијску информацију на српском и енглеском језику, Захвалницу и Резиме на српском и енглеском језику, Анотирани садржај дисертације, Попис слика (укупно 92 слике), Попис табела (укупно 26 табела) и Попис коришћених скраћеница.

Текст дисертације организован је у 9 поглавља и садржи 3 прилога.

На крају дисертације дат је списак објављених радова у часописима и на конференцијама, библиографија са 122 референце и кратка биографија кандидата.

Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Стање у области истраживања
3. Теоријски модели и методе
4. Нови метод естимације вриједности елемената 2R-1C електричне мреже
5. Електронски мјерни систем за карактеризацију сензора
6. Фреквенцијска карактеризација фабрикованог сензора за мјерење рН вриједности
7. Систем за даљинско мјерење параметара важних за одређивање квалитета воде и ваздуха
8. Закључак

Литература

Прилози:

1. МАТЛАБ код
2. Списак објављених научних радова
3. Биографија кандидата

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Дисертација у целини има добро систематизовану структуру и план излагања. Наслов рада јасно је формулисан, разумљив, прецизно описује предмет истраживања и у потпуности указује на садржај дисертације.

У првом поглављу су дата уводна разматрања, описана је тема дисертације и представљена је структура дисертације.

У другом поглављу дисертације представљено је стање у области истраживања. Приказани су основни појмови везани за сензоре и процес карактеризације сензора. Анализирани су захтеви које је потребно испунити приликом карактеризације типичних сензора који се користе у мониторингу параметара животне средине. Уочена је потреба за развојем интегрисаног система за фреквенцијску карактеризацију сензора са променљивом импедансом који ће омогућити формирање функционалног блока који чине сензор и мерни систем. Анализиране су постојеће технике мерења импедансе сензора у широком фреквенцијском и мерном опсегу (електрични мостови, дигитални аутоматски мерни мостови, аутоматски балансирани мостови, резонантна метода и струјно-напонска метода), те су уочени недостаци појединих метода које је у пројектовању потребно превазићи. Предложена је примена струјно-напонске методе, која се заснива на обради напонског сигнала са сензора, јер је на тај начин омогућен широк мерни и фреквенцијски опсег без значајних промена у хардверској структури мерног система током мерења. Представљене су три често коришћене методе обраде напонског сигнала са сензора: интеграциона метода, корелациона метода, и Дискретна Фуријеова трансформација (ДФТ), те је извршена упоредна анализа ових метода у погледу грешке естимације амплитуде и почетне фазе мереног напонског сигнала.

У трећем поглављу је представљен теоријски модел електронског система за фреквенцијску карактеризацију сензора са променљивом импедансом. Анализирана је архитектура модела система којим ће бити омогућена једноставна лабораторијска, али и *in-situ* мерења. Детаљно су представљени поједини блокови система неопходни за генерисање референтних сигнала, претварање струје у напон, те аквизицију и обраду добијеног напонског сигнала применом ДФТ-а како би се извршила естимација модула и аргумента импедансе. Важан сегмент процеса фреквенцијске карактеризације сензора је обрада експерименталних података тј. формирање статичке карактеристике сензора којом се добија функционална веза између промена модула и/или аргумента импедансе сензора и мереног параметра. Представљена су два најчешће коришћена приступа: полиномске статичке карактеристике и еквивалентне електричне мреже. Представљен је и модел система за даљинско праћење параметара животне средине који обједињује предложени систем за карактеризацију сензора, те елементе за комуникацију и пренос података на даљину. Анализиране су мрежне топологије у случају жичане и бежичне сензорске мреже.

У четвртном поглављу је презентован нови метод естимације вредности параметара две често коришћене 2R-1C електричне мреже (састављене од два отпорника и једног кондензатора) који омогућава знатно бржу естимацију вредности параметара модела у поређењу са стандардним приступом методом најмањих квадрата.

Пето поглавље садржи најважније експерименталне резултате. Представљени су прототипови појединих сегмената система: јединица за напајање са аутоматским допуњавањем батерија преко пуњача са соларним панелом, мерни систем за фреквенцијску карактеризацију сензора са променљивом импедансом те експериментална верификација тачности мерења импедансе различитих референтних RLC мрежа. Измерене су импедансе:

- 25 отпорника номиналне отпорности у опсегу од 100 Ω до 20 k Ω са циљем да се испита тачност уређаја приликом мерења када се модул и аргумент импедансе не мењају са променом фреквенције,
- 6 кондензатора номиналне капацитивности у опсегу од 470 pF до 8200 pF са циљем да се испита тачност уређаја приликом мерења када се модул мења (смањује се), а аргумент анализиране импедансе остаје исти при промени фреквенције,
- серијске и паралелне везе кондензатора и отпорника са циљем да се испита тачност мерења импедансе чији се модул и аргумент мењају са променом фреквенције и
- калема номиналне индуктивности 50 mH са циљем да се испита тачност уређаја приликом мерења када се модул мења (повећава се), а аргумент анализиране импедансе остаје исти при промени фреквенције.

Као референтни мерни уређаји коришћени су Impedance/Gain Phase Analyzer HP4194 и Agilent 4263B LCR meter.

У шестом поглављу је описан процес фреквенцијске карактеризације фабрикованог сензора променљиве импедансе за мерење рН вредности на бази TiO_2 филма. Описан је поступак фабрикације сензора као и физичке карактеристике сензора (добијене скенирајућом електронском микроскопијом и Рамановом спектроскопијом). Анализирани су резултати добијени на основу фреквенцијске карактеризације и формиране су полиномске статичке карактеристике сензора за модул и аргумент импедансе сензора. Извршена је анализа утицаја реда полинома на тачност естимације рН вредности. Одређене су и осетљивости фабрикованог сензора тј. промене модула и аргумента импедансе сензора са променама рН вредности раствора. Као додатни научни допринос анализирана је и еквивалентна електрична мрежа предложена у литератури за моделовање сензора (састављена од 3 отпорника и 2 кондензатора). Квалитет тог модела је анализиран на основу статистичке обраде података (корелационом анализом) и одређивањем мерне грешке. Анализом мерних података показано је да је могуће извршити смањивање сложености модела сензора на 2R-1C мрежу за чије је параметре могуће естимирати вредности предложеном новом неитеративном методом. Добијени резултати за редуковани модел су статистички обрађени и упоређени су са резултатима добијеним применом методе најмањих квадрата. Анализирано је време извршавања предложеног алгоритма и методе најмањих квадрата.

Седмо поглавље представља пример реализације система за даљинско праћење параметара важних за одређивање квалитета воде и ваздуха. Коришћени су развијени електронски мерни систем и фабриковани сензор за мерење рН вредности, те додатни комерцијални сензори за мерење температуре, релативне влажности и нивоа штетних гасова. Представљено је решење даљинског приступа резултатима мерења путем Интернета коришћењем две додатне Arduino плочице, IBM Watson IoT платформе и MQTT протокола. Анализиране су предности и недостаци овог решења, те је представљена реализација бежичног преноса података од мерног места ка аквизиционој јединици.

У осмом поглављу је дат закључак истраживања, те су представљени правци будућег рада.

Девето поглавље садржи списак коришћене научне литературе.

У првом прилогу је наведен програмски код написан у МАТЛАБ-у којим је извршено поређење тачности естимације вредности параметара модела сензора и времена извршавања предложене нове неитеративне методе и методе најмањих квадрата. У другом прилогу је наведена листа објављених научних и стручних радова кандидата, а трећи прилог представља кратку биографију кандидата.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 1. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

У периоду рада на изради ове докторске дисертације објављено је 16 научних и стручних радова који имају директну или индиректну повезаност са темом докторске дисертације. Од објављених радова посебно се истичу радови у часописима са ISI листе са импакт фактором, укупно 2 категорија M21 и M23. Поред тога објављен је и 1 рад у водећем часопису националног значаја категорије M51, 1 рад у научном часопису категорије M53, 10 радова на међународним конференцијама категорије M33 и 2 рада на домаћим скуповима категорије M63. Треба посебно истаћи чињеницу да је кандидат први аутор на 15 од 16 научних радова до сада публикованих/саопштених, као и да су према *Google Scholar* ти радови цитирани укупно 15 пута (без самоцитата).

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. **Mitar Simić**, Libu Manjakkal, Krzysztof Zaraska, Goran M. Stojanović, Ravinder Dahiya, "TiO₂ Based Thick Film pH Sensor", *IEEE Sensors Journal*, ISSN: 1530-437X, (IF 2015: 1,889;

Рад у међународном часопису (M23)

1. **Mitar Simić**, Zdenka Babić, Vladimir Risojević, Goran M. Stojanović, "A Novel Non-Iterative Method for Real-Time Parameter Estimation of the Fricke-Morse Model", *Advances in Electrical and Computer Engineering*, ISSN: 1582-7445, (IF 2015: 0,459; Engineering, Electrical & Electronic: 218/257), Vol. 16, No. 4, pp. 57-62, 2016.

Рад у водећем часопису националног значаја (M51)

1. **Mitar Simić**, Daniel Petrisor, "Data Acquisition and Remote Monitoring System for Indoor Environmental Parameters", *TEHNIKA*, ISSN: 0040-2176, Vol. 64. No. 4, pp. 663-669, 2015.

Рад у научном часопису (M53)

1. **Mitar Simić**, "Complex Impedance Measurement System for the Frequency Range from 5 kHz to 100 kHz", *Key Engineering Materials*, ISSN: 1662-9795, Vol. 644, pp. 133-136, 2015.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. **Mitar Simić**, Goran M. Stojanović, "*Compact Electronic System for Complex Impedance Measurement and its Experimental Verification*", In Proceedings of the 23th European Conference on Circuit Theory and Design - ECCTD, 4-6 September 2017, Catania, Italy, прихваћен рад.
2. **Mitar Simić**, Zdenka Babić, Vladimir Risojević, Goran M. Stojanović, "*A novel approach for parameter estimation of Fricke-Morse model using Differential Impedance Analysis*", In Proceedings of the 2nd International Conference on Medical and Biological Engineering, 16-18 March 2017, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, ISBN: 978-981-10-4165-5, pp. 487-494.
3. **Mitar Simić**, Goran M. Stojanović, Libu Manjakkal, Krzysztof Zaraska, "*Multi-Sensor System for Remote Environmental (Air and Water) Quality Monitoring*", In Proceedings of the 24th Telecommunications forum - TELFOR, 22-23 November 2016, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-1-5090-4085-8, pp. 1-4.
4. Miloš Ljubojević, Marina Zorić, **Mitar Simić**, Zdenka Babić, "*Quality of Life Context Influence Factors Improvement Using Houseplants and Internet of Things*", In Proceedings of the IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking - BlackSeaCom, 6-9 June 2016, Varna, Bulgaria, ISBN: 978-1-5090-1925-0, pp. 1-5.
5. **Mitar Simić**, Zdenka Babić, Vladimir Risojević, Goran Stojanović, Antonio L.L. Ramos, "*A System for Rapid and Automated Bioimpedance Measurement*", In Proceedings of the Society for Design and Process Science conference - SDPS, 1-5 November 2015, Dallas, USA, ISSN: 1090-9389, pp. 242-247.
6. **Mitar Simić**, "*Complex Impedance Measurement System for Environmental Sensors Characterization*", In Proceedings of the 22nd Telecommunications forum - TELFOR, 25-27 November 2014, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-1-4799-6191-7, pp. 660-663.
7. **Mitar Simić**, "*Realization of Digital LCR Meter*", In Proceedings of the International Conference And Exposition On Electrical And Power Engineering - EPE, 16-18 October 2014, Iasi, Romania, ISBN: 978-1-4799-5849-8, pp. 769-773.
8. **Mitar Simić**, "*Design and Development of Air Temperature and Relative Humidity Monitoring System With AVR Processor Based Web Server*", In Proceedings of the International Conference And Exposition On Electrical And Power Engineering - EPE, 16-18 October 2014, Iasi, Romania, ISBN: 978-1-4799-5849-8, pp. 38-41.
9. **Mitar Simić**, "*Realization of Complex Impedance Measurement System Based on the Integrated Circuit AD5933*", In Proceedings of the 21st Telecommunications forum - TELFOR, 26-28 November 2013, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-1-4799-1420-3, pp. 573-576.
10. **Mitar Simić**, "*Microcontroller Based System for Measuring and Data Acquisition of Air Relative Humidity and Temperature*", Presented at the 37th International Conference of IMAPS-CPMT, 22-25 September 2013, Poland, Krakow, ISBN:9788393246410.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. **Mitar Simić**, "*Design of Monitoring and Data Acquisition System for Environmental Sensors*", In Proceedings of the 10th International Symposium on Industrial Electronics - INDEL,

6-8 November 2014, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, ISBN 978-99955-46-22-9, pp. 146-149.

2. **Mitar Simić**, Mariana Siretenau, "*Real Time Temperature And Relative Humidity Monitoring System Using LabView*", In Proceedings of the Metrology and quality in production engineering and environmental protection conference - ETIKUM, 19-20 June 2014, Novi Sad, Serbia, ISBN: 978-86-7892-616-7, pp. 67-70.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Разматрајући целокупну докторску дисертацију, Комисија је закључила да она својим садржајем, постигнутим резултатима и закључцима задовољава критеријуме који се постављају пред докторску дисертацију и стога представља оригинални научни допринос од значаја у областима електронике и електричних мерења.

Добијени резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације се могу груписати на следећи начин:

1. Систематизација знања у области пројектовања и реализације система за фреквенцијску карактеризацију сензора променљиве импедансе, те реализација модела преносивог мерног система којим се елиминишу недостаци расположивих комерцијалних решења у погледу сложености, димензија и цене.
2. Нови приступ мерењу рН вредности течности са сензором променљиве импедансе на бази TiO_2 филма фабрикованог у LTCC технологији. Сензор је реализован са интердигиталним електродама тако да се елиминише потреба за постојањем референтне сензорске електроде, што представља основни недостатак често коришћених сензора са стакленом електродом за мерење рН вредности.
3. Анализа могућности примене нових метал-оксидних материјала (TiO_2) у фабрикацији сензора за мерење рН вредности.
4. Анализа електрохемијских процеса који се дешавају на површини фабрикованог сензора приликом промене рН вредности раствора у који је сензор уроњен, те анализа еквивалентне електричне мреже којом се може моделовати сензор и физички процеси који се дешавају на површини сензора када је сензор уроњен у раствор.
5. Нова неитеративна метода естимације вредности елемената еквивалентне електричне мреже (модела сензора) која омогућава бржу естимацију у поређењу са методом најмањих квадрата уз прихватљиву грешку.
6. Интеграција развијеног мерног система и сензора за мерење рН вредности у систем за мерење параметара важних за одређивање квалитета воде и ваздуха са даљинским приступом резултатима мерења.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Кандидат Митар Симић у целости је обавио истраживања која су била предвиђена планом представљеним у пријави докторске дисертације. Резултати дисертације су настали из обимних и детаљних истраживања из мултидисциплинарног проблема истраживања који обухвата области:

- пројектовања и реализације електронских мерних система за карактеризацију сензора,
- моделовања сензора променљиве импедансе еквивалентним електричним мрежама,
- естимације вредности параметара модела, и
- реализације хардверског прототипа преносивог електронског мерног система за карактеризацију и естимацију параметара сензора.

Резултати су приказани јасно и прегледно. Анализом добијених резултата изведени су закључци, који описују све предности и мане описаног дизајна електронског мерног система, као и нове методе естимације вредности елемената модела сензора, пружајући корисне информације за будућа истраживања и могућност примене развијеног мерног система у другим областима, попут биомедицине, анализи материјала, итд.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Дисертација садржи оригиналне научне доприносе као и све елементе потребне за разумевање обрађене тематике и добијених резултата. Дат је преглед коришћене литературе,

а резултати су приказани и тумачени на одговарајући начин.	
3.	По чему је дисертација оригиналан допринос науци
	(1) У докторској дисертацији је формулисана и анализирана оригинална метода естимације вредности елемената две 2R-1C електричне мреже које се често користе приликом моделовања сензора. Предложена метода је заснована на естимацији карактеристичне фреквенције и решавању система алгебарских једначина, што омогућава знатно бржу естимацију вредности параметара модела у поређењу са стандардним приступом методом најмањих квадрата, чиме се омогућава естимација у реалном времену на самом мерном месту. (2) Фабрикацијом сензора за мерење рН вредности са интердигиталним електродама омогућен је приступ мерењу рН вредности сензором без референтне електроде, чиме се омогућава значајно једноставније и јефтиније мерење рН вредности. (3) Анализирана је могућност примене нових метал-оксидних материјала (TiO_2) у фабрикацији сензора за мерење рН вредности, чиме је дат значајан допринос у анализи материјала за примену у фабрикацији сензора.
4.	Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања:
	Дисертација нема битне недостатке који утичу на резултате истраживања.
X	ПРЕДЛОГ:
	На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
	да се докторска дисертација кандидата Митра Симића под насловом „Преносиви електронски систем за карактеризацију и естимацију параметара сензора”, урађена под менторством проф. др. Горана Стојановића прихвати, а кандидату одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Др Стеван Станковски, редовни професор,
ФТН, Нови Сад, председник комисије

Др Зденка Бабић, редовни професор,
ЕТФ, Бања Лука, члан

Др Миљко Сатарих, редовни професор,
ФТН, Нови Сад, члан

Др Ласло Нађ, редовни професор,
ФТН, Нови Сад, члан

Др Горан Стојановић, редовни професор,
ФТН, Нови Сад, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.