

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију  <b>Решењем бр. 012-199/10-2014 од 02. 07. 2015</b>, декан Факултета техничких наука, проф. др Раде Дорословачки именовao је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1. <b>др Ласло Нађ</b>, редовни професор, ужа област Електроника, изабран у звање 14.11.2013. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</p> <p>2. <b>др Милан Ковачевић</b>, ванредни професор, ужа област Атомска, молекулска и оптичка физика, изабран у звање 23.01.2014. године, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу</p> <p>3. <b>др Зоран Митровић</b>, ванредни професор, ужа област Електрична мерења и метрологија, изабран у звање 11.06.2014. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</p> <p>4. <b>др Сандра Дедијер</b>, доцент, ужа област Графичко инжењерство и дизајн, изабрана у звање 25.02.2013. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</p> <p>5. <b>др Љиљана Живанов</b>, редовни професор, ужа област Електроника, изабрана у звање 01.10.2000. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</p> <p>6. <b>др Милош Живанов</b>, редовни професор, ужа област Електроника, изабран у звање: 12.07.2004. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду.</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме:  <b>Јован Слободан Бајић</b></p> <p>2. Датум рођења, општина, држава:  <b>16.04.1986. Сремска Митровица, Србија</b></p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив  <b>Факултет техничких наука, Енергетика, електроника и телекомуникације, Дипломирани инжењер - мастер електротехнике и рачунарства</b></p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија  <b>2010. Енергетика, електроника и телекомуникације</b></p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</p>

нема

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

нема

### **III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

**Метода мерења угаоног положаја на бази нове класе оптоелектронских сензора**

### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

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

**Дисертација има 111 страна, 13 поглавља, 133 референце, 96 слика и 6 табела. Садржај дисертације:**

#### **1. УВОД**

1.1. ПРЕДМЕТ И КОНЦЕПЦИЈА ИСТРАЖИВАЊА

#### **2. ДЕФИНИЦИЈА И КАРАКТЕРИСТИКЕ СЕНЗОРА И СЕНЗОРСКОГ СИСТЕМА**

2.1. ПАРАМЕТРИ СЕНЗОРА

2.2. КОНДИЦИОНЕРИ СИГНАЛА

2.3. ПАРАМЕТРИ А/Д КОНВЕРТОРА

2.4. МЕРНА НЕСИГУРНОСТ

#### **3. ПРЕГЛЕД МЕТОДА МЕРЕЊА УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА**

3.1. КОНТАКТНИ СЕНЗОРИ УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА

3.2. СЕНЗОРИ УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА НА БАЗИ ХОЛОВОГ ЕФЕКТА

3.3. ОПТИЧКИ ЕНКОДЕРИ

3.4. СЕЛСЕНИ И РЕСОЛВЕРИ

3.5. СЕНЗОРИ УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА НА БАЗИ ПРОМЕНЉИВЕ РЕЛУКТАНСЕ

3.6. КАПАЦИТИВНИ ЕНКОДЕРИ

3.7. ОСТАЛИ ТИПОВИ СЕНЗОРА УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА

#### **4. ПРЕГЛЕД НАУЧНИХ РАДОВА ИЗ ОБЛАСТИ СЕНЗОРА УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА**

4.1. ОПТИЧКИ СЕНЗОРИ

4.2. МАГНЕТНИ И ИНДУКТИВНИ СЕНЗОРИ

4.3. КАПАЦИТИВНИ СЕНЗОРИ

#### **5. УПОРЕДНА АНАЛИЗА СЕНЗОРА ЗА МЕРЕЊЕ УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА**

#### **6. КОЛОРИМЕТРИЈА И ОПТИЧКИ РЕФЛЕКСИОНИ СЕНЗОРИ**

6.1. ДЕФИНИЦИЈА БОЈЕ И ОСНОВНИ ПРОСТОРИ БОЈА

6.1.1. CIE XYZ простор боја и хроматски дијаграм

6.1.2. RGB и CMY/CMYK простори боја

6.1.3. HSI фамилија простора боја

6.1.4. Принцип рада сензора боје

6.2. ОПТИЧКИ РЕФЛЕКСИОНИ СЕНЗОР

6.2.1. Одбијање светлости од произвољне површи

#### **7. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА СЕНЗОРА БОЈЕ**

7.1. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА СЕНЗОРА БОЈЕ КОРИШЋЕЊЕМ FDMI И IFOSIS УРЕЂАЈ

7.2. КАЛИБРАЦИЈА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА СЕНЗОРА БОЈЕ

#### **8. МЕТОДА МЕРЕЊА УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА БАЗИРАНА НА ТРАНСФОРМАЦИЈИ У ЦИЛИНДРИЧНИ ПРОСТОР БОЈА**

8.1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРА ПРЕДЛОЖЕНЕ МЕТОДЕ ЗА МЕРЕЊЕ УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА

#### **9. МОДИФИКОВАНА МЕТОДА МЕРЕЊА УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА БАЗИРАНА НА ТРАНСФОРМАЦИЈИ У ЦИЛИНДРИЧНИ ПРОСТОР БОЈА**

9.1. ИЗБОР ШАБЛОНА СА СИВОМ СКАЛОМ И РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ РАДА СЕНЗОРА

9.2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОСТАВКА И КАЛИБРАЦИЈА СЕНЗОРА

9.3. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА ПРЕДЛОЖЕНОМ МЕТОДОМ

#### **10. ИЗРАДА И ТЕСТИРАЊЕ ПРОТОТИПА СЕНЗОРА ЗА МЕРЕЊЕ УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА**

10.1. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА НА ПРЕДЛОЖЕНОМ ПРОТОТИПУ

#### **11. ДИСКУСИЈА**

#### **12. ЗАКЉУЧАК**

#### **13. ЛИТЕРАТУРА**

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У дисертацији је извршен преглед постојећих метода мерења угаоног положаја и дат је предлог нове методе за мерење апсолутног угаоног положаја на бази оптоелектронски сензора.

Циљ истраживања у овој дисертацији био је предлог новог решења за мерење апсолутног угаоног положаја које се темељи на хипотези да је могуће реализовати оптоелектронски сензор апсолутног угаоног положаја који се заснива на трансформацији из *RGB* (енг. *Red, Green, Blue*) у цилиндрични простор боја. Предложено решење за мерење апсолутног угаоног положаја требало је да на јединствен начин обједини сложене захтеве различитих примена, као што су: једноставна конструкција, ниска цена, релативно висока резолуција мерења, робусност и релативно висока имуност на сметње.

У уводном делу дисертације описан је конкретан предмет и проблем истраживања дисертације, изложена је хипотеза, и дат је преглед фаза и метода истраживања предузетих у циљу доказивања хипотезе.

У другом поглављу под називом ДЕФИНИЦИЈА И КАРАКТЕРИСТИКЕ СЕНЗОРА И СЕНЗОРСКОГ СИСТЕМА, изложене су основне дефиниције и карактеристике сензора и сензорских система са посебним освртом на параметре сензора, кондиционера сигнала и аналого-дигиталних конвертора, неопходних за пројектовање савременог сензорског система.

У трећем и четвртном поглављу извршен је преглед научне и стручне литературе из области сензора угаоног положаја. У трећем поглављу под називом ПРЕГЛЕД МЕТОДА МЕРЕЊА УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА изложене су значајније постојеће методе мерења угаоног положаја, док је у четвртном поглављу под називом ПРЕГЛЕД НАУЧНИХ РАДОВА ИЗ ОБЛАСТИ СЕНЗОРА УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА извршен преглед научних радова и решења за мерење угаоног положаја која представљају резултате истраживања у овој области.

У петом поглављу под називом УПОРЕДНА АНАЛИЗА СЕНЗОРА ЗА МЕРЕЊЕ УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА изложене су главне предности и мане постојећих и предложених метода и сензора за мерење угаоног положаја.

У поглављу под називом КОЛОРИМЕТРИЈА И ОПТИЧКИ РЕФЛЕКСИОНИ СЕНЗОРИ изложене су теоријске основе дисертације, потребне за тестирање и доказивање хипотезе. У датом поглављу укратко су изложени начини представљања боје неког објекта и оптички рефлексioni сензор.

Реализација и тестирање сензора боје неопходног за експерименталну проверу предложене методе мерења угаоног положаја дато је у поглављу ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА СЕНЗОРА БОЈЕ

У поглављима МЕТОДА МЕРЕЊА УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА БАЗИРАНА НА ТРАНСФОРМАЦИЈИ У ЦИЛИНДРИЧНИ ПРОСТОР БОЈА и МОДИФИКОВАНА МЕТОДА МЕРЕЊА УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА БАЗИРАНА НА ТРАНСФОРМАЦИЈИ У ЦИЛИНДРИЧНИ ПРОСТОР БОЈА изложен је главни допринос ове дисертације, односно методе мерења угаоног положаја на бази нове класе оптоелектронских сензора. У поглављима је детаљно изложена реализација експерименталне поставке и резултати експерименталног тестирања свих релевантних параметара сензора заснованог на предложеној мерној методи.

На бази модификоване методе мерења угаоног положаја реализован је прототип сензора који је изложен у поглављу ИЗРАДА И ТЕСТИРАЊЕ ПРОТОТИПА СЕНЗОРА ЗА МЕРЕЊЕ УГАОНОГ ПОЛОЖАЈА

Највећу вредност докторске дисертације представља оригинални научни допринос у виду развијене методе за мерење угаоног положаја, представљене као резултат експерименталног и теоријског истраживања.

У поглављу ДИСКУСИЈА извршено је поређење предложених метода мерења угаоног положаја, док је у поглављу ЗАКЉУЧАК истакнут је научни допринос ове дисертације и дат преглед

могућности за унапређење сензора.

У поглављу ЛИТЕРАТУРА дат је преглед коришћене литературе.

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

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. **Jovan S. Bajić**, Dragan Z. Stupar, Bojan M. Dakić, Milos B. Živanov, Laszlo F. Nagy: „*An absolute rotary position sensor based on cylindrical coordinate color space transformation*”, Sensors and Actuators A: Physical, 2014, Vol. 213, pp. 27-34, ISSN 0924-4247.
2. **Jovan S. Bajić**, Dragan Z. Stupar, Lazo M. Manojlović, Miloš P. Slankamenac, Miloš B. Živanov: „*A simple, low-cost, high-sensitivity fiber-optic tilt sensor*”, Sensors and Actuators A: Physical, 2012, Vol. 185, pp. 33-38, ISSN 0924-4247.

Рад у међународном часопису (M23)

1. **J. S. Bajić**, D. Z. Stupar, A. Joža, M. P. Slankamenac, M. Jelić and M. B. Živanov , „*A simple fibre optic inclination sensor based on the refraction of light*”, Physica scripta, 2012, Vol. T149, pp. 1-4, ISSN: 0031-8949.
2. **Jovan S. Bajić**, Dragan Z. Stupar, Bojan M. Dakić, Lazo M. Manojlović, Miloš P. Slankamenac and Miloš B. Živanov: „*Implementation and characterization of a fibre-optic colour sensor*”, Physica Scripta, 2014, T162, p. 1-5, ISSN 0031-8949.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. **J. S. Bajić**, B. Dakić, D. Z. Stupar, M. P. Slankamenac, M. B. Živanov, „*The frequency-modulated reflective color sensor*”, MIPRO - 35th International convention on information and communication technology, electronics and microelectronics , 21-25.5.2012. Opatija, Hrvatska, pp. 168-172, ISBN 978-953-233-069-4.

Прототип, нова метода, софтвер стандардизован или атестиран инструмент (M85)

1. **Bajić Jovan**, Stupar Dragan, Dakić Bojan, Slankamenac Miloš, Živanov Miloš, „*Intenziometrijski fiber-optički senzorski interogatorski sistem - IFOSIS*”, Fakultet tehničkih nauka, 2013.
2. **Bajić Jovan**, Stupar Dragan, Dakić Bojan, Slankamenac Miloš, Živanov Miloš, „*Softver za akviziciju i obradu podataka merenih sa intenziometrijskim fiber-optičkim senzorskim interogatorskim sistemom -IFOSIS I.1*”, Fakultet tehničkih nauka, 2013.
3. **Bajić Jovan**, Stupar Dragan, Dakić Bojan, Slankamenac Miloš, Živanov Miloš, „*Frekventno modulirani fiber-optički intenziometrijski senzorski interogatorski sistem*”, Fakultet tehničkih nauka, 2013.

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

Мотивација за рад на ову тему настала је из чињенице да сензори угаоног положаја заузимају изузетно важно место у индустријским применама. Мерење угаоног положаја вратила представља један од најчешћих захтева у савременим системима управљања.

У зависности од конкретне примене, потребне су различите карактеристике сензора за мерење угаоног положаја, као што су тачност, резолуција, поновљивост, осетљивост на утицаје околине итд. Развој једноставног сензора ниске цене, а са широким мерним опсегом и високом тачношћу је веома битно у циљу испуњавања потреба тржишта.

У овој дисертацији дат је преглед различитих метода мерења угаоног положаја и предложена је нова

<p>метода која се заснива на примени трансформације у цилиндрични простор боја.</p> <p>Прегледом доступне литературе може се установити да је само неколико решења за мерење угаоног положаја нашло примену и заузело важно место у модерним мерним системима и савременим индустријским процесима. Постојећа решења која поседују високу резолуцију често захтевају комплексне мерне поставке или сложене процесе производње, што значајно утиче на цену оваквих претварача. Такође, компактна и поуздана индустријска решења су веома скупа. С друге стране, решења која имају ниску цену уједно имају и ниску и/или ограничену резолуцију и/или тачност.</p> <p>Основни резултат истраживања представљен у овој дисертацији је доказ хипотезе која се темељи на идеји да је могуће реализовати оптоелектронски сензор апсолутног угаоног положаја који се заснива на трансформацији из <i>RGB</i> (енг. <i>Red, Green, Blue</i>) у цилиндрични простор боја.</p> <p>Логична последица доказане хипотезе јесте управо реализација прототипа оптоелектронског сензора за мерење апсолутног угаоног положаја. Имајући у виду да се ради о сензору апсолутног угаоног положаја, грешка мерења реализованим прототипом износила је свега 0.2% целокупног мерног опсега (0-360 °). С друге стране, максимална брзина рада износила је 1100 о/min, док је грешка мерења угаоног положаја бележила значајан пораст са порастом брзине обртања вратила. Међутим, и поред тога брзина од 1100 о/min је довољна за већи број примена, док се проблем са порастом грешке мерења може решити накнадном корекцијом.</p> <p>У дисертацији је предложен један нови мерни концепт, који уз додатна испитивања може резултовати сензором високих перформанси за мерење апсолутног угаоног положаја, широке примене.</p>
<p><b>VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА</b></p> <p>Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.</p>
<p>Тумачење добијених резултата је јасно и прегледно. Формирани закључци у раду су поткрепљени одговарајућим теоријским анализама и резултатима мерења, добијеним из сопствених експерименталних истраживања. Резултати су приказани исцрпно и прегледно, уз навођење претходних истраживачких резултата у овој области.</p>
<p><b>IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b></p>
<p>1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме</p> <p><b>Да, дисертација је у целини написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме</b></p>
<p>2. Да ли дисертација садржи све битне елементе</p> <p><b>Да. Дисертација садржи све битне елементе.</b></p>
<p>3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци</p> <p>Оригинални научни допринос докторске дисертације чини доказ хипотезе на основу експерименталног и теоријског истраживања. У дисертацији су изложене:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Метода мерења угаоног положаја која се заснива на примени штампаног круга боја различитих тонова и сензора боје. Такође, изложена је и имплементација и карактеризација фибер-оптичког сензора боје предвиђеног за тестирање предложеног мерног концепта.</li> <li>• Модификована метода мерења угаоног положаја, где је сензор боје замењен је са три оптичка рефлексиона сензора, а круг боја замењен је шаблоном са сивом скалом. Описаном модификацијом значајно је поједностављена почетна идеја и редукована цена имплементације, док су перформансе целокупног претварача значајно повећане. На бази модификоване методе реализован је прототип сензора за мерење апсолутног угаоног положаја.</li> </ul>
<p>4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања</p> <p><b>У дисертацији нису уочени значајни недостаци који би утицали на резултат истраживања</b></p>

<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
- да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана
Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију под насловом „Метода мерења угаоног положаја на бази нове класе оптоелектронских сензора” и предлаже да се Извештај о оцени докторске дисертације прихвати, а кандидату одобри одбрана.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

\_\_\_\_\_  
1. Др Ласло Нађ, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, председник

\_\_\_\_\_  
2. Др Милан Ковачевић, ванредни професор,  
Природно-математички факултет, Крагујевац, члан

\_\_\_\_\_  
3. Др Зоран Митровић, ванредни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

\_\_\_\_\_  
4. Др Сандра Дедијер, доцент,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

\_\_\_\_\_  
5. Др Љиљана Живанов, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

\_\_\_\_\_  
6. Др Милош Живанов, редовни професор,  
Факултет техничких наука, 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.