

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовано комисију: 25.11.2021. године Наставно-научно веће Факултета техничких наука		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
3.		
1. Радих др Јелена	ванредни професор	Електроника, 25.09.2020.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Нови Сад		Председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. Миловановић др Владимир	ванредни професор	Електротехника и рачунарство, 14.09.2021.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет инжењерских наука, Крагујевац		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. Урекар др Марјан	доцент	Електрична мерења, метрологија и биомедицина, 14.09.2018.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Нови Сад		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. Бркић др Миодраг	доцент	Електроника, 17.11.2017.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Нови Сад		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. Стојановић др Горан	редовни професор	Електроника, 21.10.2015.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Нови Сад		Ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ		

1. Име, име једног родитеља, презиме:

**Бранислава, Слободан, Марковић**

2. Датум рођења, општина, држава:

**11.06.1987. године, Шабац, Србија**

3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:

**Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, Електроника, Мастер инжењер електротехнике и рачунарства**

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:

**2015. година, Енергетика, електроника и телекомуникације**

**III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

**Аутономна и потпуно интегрисана аналогно - дигитална калибрација и компензација Чебишевљевог нископропусног UWB LC филтра петог реда**

*(Automated and fully integrated analog - digital calibration and compensation of Chebyshev 5th order UWB LC low pass filter)*

**IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација написана је на српском језику на 114 страна. Садржи 14 поглавља, 87 слика, 19 табела и 107 литературних навода. Кључна документација написана је на српском и енглеском језику. Дисертација садржи следећа поглавља:

- |   |   |
|---|---|
| 1. Увод   | 1. Introduction   |
| 2. Циљеви истраживања   | 2. Aims of This Research  |
| 3. Преглед поглавља докторске дисертације                           | 3. Doctoral Dissertation Chapter Overview                                 |
| 4. Преглед стања у области  | 4. State of the Art Overview  |
| 5. Скалирање технологије интегрисаних кола                          | 5. Integrated Circuits Technology Scaling                                 |
| 6. Трошкови развоја чипа у различитим технологијама                 | 6. Chip Development Costs in Different Technologies                       |
| 7. Испитивање параметара и компоненти у 130 nm CMOS технологији     | 7. 130 nm CMOS Technology Parameters and Components Analysis              |
| 8. Основе UWB система и пројектовање једноставног UWB UB предајника | 8. UWB Systems Fundamentals and the Design of a Simple UWB UB Transmitter |
| 9. Основна теорија пасивних филтара                                 | 9. Basic Theory of Passive Filters  |
| 10. Пројектовање UWB LB нископропусног филтра                       | 10. UWB LB Low Pass Filter Design   |
| 11. Калибрација UWB LB нископропусног филтра                        | 11. Calibration of the UWB LB Low Pass Filter                             |
| 12. Резултати експерименталних мерења                               | 12. Experimental measurement results                                      |
| 13. Дискусија добијених резултата                                   | 13. Analysis of Obtained Results  |
| 14. Закључак  | 14. Conclusion  |
| Литература  | Literature  |

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Комисија сматра да је наслов докторске дисертације јасно и прецизно формулисан и да јасно указује на предмет истраживања и садржај рада у оквиру дисертације.

### Поглавље 1

Комисија сматра да су у уводном поглављу проблем, предмет и циљ истраживања у дисертацији постављени концизно и јасно и да су успешно водили кандидата кроз рад на изабраној теми. Предмет истраживања је прецизно дефинисан уводним разматрањима о проблемима испуњавања задатих спецификација чипа током животног века са *PVT* (енгл. *Process Voltage Temperature*) и стресом (енгл. *aging*) изазваном варијацијом параметара интегрисаних технологија, као и предлогу потпуно интегрисаног и аутономног решења на примеру нископропусног *UWB* (енгл. *Ultra - WideBand*) *LB* (енгл. *Low - Band*) Чебишевљевог филтра петог реда.

### Поглавље 2

Комисија сматра да је главни циљ ове докторске дисертације, развој нове потпуно интегрисане калибрације и компензације процесне варијације вредности капацитивности кондензатора и верификацији ове методе, јасно и прецизно формулисан. Разумљивости у елаборацији теме су допринели добро постављени специфични циљеви.

### Поглавље 3

У овом поглављу су укратко приказани делови рада по поглављима, која су прегледно формирана и подељена на логичке целине.

### Поглавље 4

У поглављу „Преглед стања у области“ постојеће методе мерења капацитивности кондензатора на чипу, као и неки од начина компензације варијације капацитивности кондензатора, су објашњене концизно и сажето су анализирани. Дат је преглед методе одређивања вредности капацитивности засноване на пуњењу кондензатора (енгл. *Charge – Based Capacitance Measurement – CBCM*), потом методе засноване на подешљивом осцилатору, која конвертује капацитивност у фреквенцију и мери исту, као и две методе мерења и компензације варијације капацитивности кондензатора на чипу са и без екстерних референци.

### Поглавље 5

Ово поглавље даље објашњава развој модерних технологија високог степена интеграције, као и предности и изазове скалирања технологије интегрисаних кола. Скалирање *CMOS* технологија је омогућило значајно више фреквенције рада кола, као и висок степен интеграције уређаја, уз ниже напоне напајања. Скалирање технологије донело је значајне предности дигиталним колима, чије су пројектовање и имплементација потпуно аутоматизоване у *CAD* (енгл. *Computer Aided Design*) алатима. Са друге стране, струје цурења дигиталних кола у режиму ниске потрошње, постале су значајан проблем за преносиве уређаје у нижим

технолошким процесима. Такође, пројектовање аналогних кола постало је доста захтевније, а сама аналогна кола скупља. Из наведених разлога, тенденција нових технологија је да се у интегрисаним колима са мешовитим (дигиталним и аналогним) сигнаlima што већи део имплементира у дигиталном домену.

#### Поглавље 6

Шесто поглавље адекватно анализира кључни параметар исплативости развоја чипа, а то је цена развоја и израде изражена по једном чипу (енгл. *Price Per Chip – PPC*). У поглављу су јасно описани трошкови развоја, као и цена саме фабрикации и монтаже на примеру нових технологија. Објашњени су фактори који утичу на цену самог чипа, као и значај њихове оптимизације за постизање минималне цене производа: минимизација дефектног и функционалног приноса чипа, проналажење оптимума између површине чипа и броја потребних маски, те минимизација цене тестирања.

#### Поглавље 7

Седмо поглавље даје систематичну анализу избора погодне технологије за овај рад, као и анализу моделовања варијације и неупарености основних пасивних и активних компоненти интегрисане технологије. Објашњен је проблем повећања процесне варијације вредности компоненти са скалирањем технологије. У поглављу су приложене и електромагнетске симулације калемова, које верификују саме моделе у изабраној UMC 130 nm CMOS технологији.

#### Поглавље 8

Основни предмет дисертације је решење проблема варијације параметара компоненти на примеру филтра у UWB систему. UWB системи су веома погодни за апликације са ниском ценом, малом потрошњом, или са великом брзином преноса података и са краткодметном комуникацијом. Осмо поглавље даје преглед основне теорије и параметара UWB примопредајника. Поред тога детаљно и адекватно је приложен поступак пројектовања (на нивоу система) једноставног предајника за виши опсег UWB система са директном конверзијом. Одређене су основне спецификације основних блокова предајника (генератора импулса, филтра у основном опсегу, пасивног миксера, RF појачавача и излазног филтра), како би се задовољила захтевана излазна снага, вредност параметра однос сигнала и (збира) шума и хармонијских изобличења (енгл. *Signal to Noise and Distortion Ratio – SNDR*) у пропусном опсегу, као и спектрална маска предајника. Спецификације су проверене кроз симулације на нивоу система.

#### Поглавље 9

Филтри су једне од кључних компоненти UWB система. У предајнику, они контролишу зрачење ван пропусног опсега и потискују хармонике вишег реда. У пријемнику, филтри омогућавају потискивање нежељених сигнала и сигнала интерференције. У овом поглављу су систематично и концизно описане основне карактеристике филтара.

#### Поглавље 10

У овом поглављу пројектован је филтар за доњи фреквенцијски опсег UWB система према стандарду 802.15.4a. Филтар је оптимизован за коришћење у предајнику. Филтар се може користити и у пријемнику, мада је у том случају пожељно применити филтар пропусник опсега. Због процесне варијације кондензатора, задата спецификација филтра није испуњена. Наиме, симулирано потискивање сигнала на 6.4 dB за номиналну вредност процеса је 15 dB. У случају споре вредности процеса, симулирано потискивање сигнала је 16.6 dB, док у случају брзе вредности процеса, потискивање сигнала износи 11.7 dB и задата спецификација филтра није испуњена. Како не бисмо повећавали ред филтра ради испуњења задате спецификације, развијено је калибрационо коло, погодно за калибрацију било ког кола на чипу чије су перформансе одређене апсолутном вредношћу кондензатора. Предложено решење омогућава оптимизацију површине система на чипу, компензацијом, тј. смањујући процес и стрес варијацију капацитивности кондензатора на чипу.

### Поглавље 11

У овом поглављу је уведен концепт потпуно интегрисане калибрације филтра заснован на процени вредности капацитивности кондензатора и калибрацији истих. У случају потрошачких производа, екстерне референце за компензацију варијације компоненти на чипу нису пожељне, пошто је величина екстерне референце скоро упоредива са самом величином чипа. У серијској производњи од великог значаја је да калибрационо коло заузме што је могуће мању површину на силицијуму. Новије технологије омогућавају имплементацију комплексне дигиталне логике на малим површинама чипа уз јако малу потрошњу. Са друге стране, аналогна кола повећавају брзину и прецизност калибрационог процеса.

Аналогно - дигитални концепт калибрације у овој дисертацији процењује вредност капацитивности кондензатора, користећи се нискофреквенцијским осцилатором. Осцилатор генерише осцилације најпре са МИМ кондензатором коришћеним у филтру, а потом и са интегрисаном референцом – MOS кондензатором. Вредност МИМ кондензатора се одређује у дигиталном домену, одређивањем односа две фреквенције осциловања, који је обрнуто пропорционалан односу капацитивности кондензатора. Тачна вредност капацитивности МИМ кондензатора се постиже конфигурацијом компензационе банке кондензатора.

У овом поглављу су приказани поступци пројектовања и оптимизације кола за процену вредности капацитивности кондензатора, и дата је оптимизација интерне MOS референце.

Детаљно и јасно је приказан оптимизовани концепт калибрационе банке кондензатора RF филтра. Представљена је математичка оптимизација методе пројектовања прекидача коришћених у процесу предложене калибрације. На крају поглавља су приказани резултати симулације компензованог UWB LC филтра.

Дигитални део калибрационог кола, коначна машина стања (енгл. *Finite State Machine* – FSM), дигитални бројач осцилација, блок за дељење периода осцилације и блок за контролу калибрационих бита компензационе банке филтра су такође објашњени у овом поглављу. *Verilog* код свих наведених блокова приложен је у додатку, на крају дисертације.

Предложена метода је верификована кроз резултате симулације аналого-дигиталног калибрационог кола. Осцилатор је симулиран кроз 81 различиту комбинацију вредности процеса, температуре и напона напајања. Симулације су подељене у 3 групе. За номиналну, брзу и спору вредност процеса МІМ кондензатора је симулирано укупно 27 PVT комбинација. Тих 27 комбинација одговара номиналној, брзој и спорој вредности процеса осталих елемената у колу, за 3 различите вредности температуре чипа,  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  као и за три вредности напона напајања кола,  $1.2\text{ V}-5\%$ ,  $1.2\text{ V}$  и  $1.2\text{ V}+5\%$ . Приликом варирања процеса разматрана је  $\pm 3\sigma$  варијација. Подразумевајући Гаусову расподелу, опсегу варијације од  $\pm 3\sigma$  припада 99.73% фабрикованих чипова. Симулације температурног опсега одговарају степену 3 оперативне температуре компоненти према АЕС-Q100 стандарду. Степену 3 одговара температура чипа од  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , која је специфична за употребу у потрошачкој електроници.

Комисија сматра да је методологија пројектовања предложених кола представљена јасно и систематично, док је понашање кола одговарајуће верификовано. Комисија сматра да је предложени калибрациони концепт креативан и оригиналан и оцењује га као значајан научни и комерцијални допринос. Предложени калибрациони концепт нуди решење дела једног од основних проблема интегрисаних технологија и има велику и значајну практичну примену.

### Поглавље 12

У дванаестом поглављу представљена је интеграција и фабрикација предложеног филтра са калибрационим колом, као и резултати мерења који потврђују предложени концепт. RF, аналогни и дигитални део система су интегрисани, фабриковани и карактерисани. Мерна поставка је детаљно описана. Комисија сматра да је мерна поставка адекватна, а резултати мерења јако успешно потврђују резултате симулације и ефикасност предложеног иновативног решења.

### Поглавље 13

Ово поглавље детаљно разматра добијене резултате симулација и мерења калибрационог процеса. У овом раду тачност процене капацитивности кондензатора је боља од 6%, а у 96.3% симулираних PVT комбинација, тачност је боља од 5%. Узимајући у обзир да је тачност референце  $\pm 4\%$ , апсолутна тачност услед неидеалности кола и нелинеарности референце је сведена на само 2%, односно 1% у 96.3% случајева. Апсолутна фреквенција осцилација због потпуно интегрисаног решења кроз 81 PVT комбинације драстично варира, од 3.37 MHz до 15.41 MHz, али је њен утицај компензован.

Грешка услед нелинеарности MOS референце је аналитички оптимизирана да буде мања од 0.5%.

На основу резултата процене капацитивности, подешена је компензациона банка кондензатора у LB UWB LC филтру. Сваки кондензатор у филтру је замењен банком од једног основног и три додатна компензациона кондензатора. У овом случају, грешка услед дискретне природе компензације је  $\epsilon=2\%$ .

Прекидачи за контролу компензационе банке кондензатора филтра су оптимизовани тако да деградација преносне карактеристике филтра услед

губитака када су сви компензациони кондензатори укључени у коло (случај брзе вредности процеса) буде мања од 0.6 dB, док је са друге стране грешка кондензатора мања од 2% када су сви компензациони кондензатори искључени (случај споре вредности процеса). Ова два екстремна случаја одговарају супротним вредностима процесне варијације.

Узимајући у обзир свеукупну грешку кола за процену вредности кондензатора, као и грешку дискретне природе компензације и неидеалности прекидача, варијација кондензатора у конкретном RF филтру смањена је са 15% на 8%.

Потврђено је одлично слагање симулираних компензованих резултата филтра са компензованим резултатима мерења. Измерени су S21/S12 и S11/S22 параметри расејања некомпензованог филтра са случајним вредностима калибрационих бита, као и компензованог филтра након што је покренута аутономна калибрација. На граничној фреквенцији филтра од 4.8 GHz, измерена вредност S21 параметра је -4.2 dB, док је вредност добијена симулацијом -3.6 dB. Притом је за некомпензовани филтар на истом чипу измерена вредност S21 параметра од -5.6 dB на граничној фреквенцији. Истовремено, испуњена је спецификација филтра за минимално потискивање сигнала на критичној учестаности од 6.4 GHz. Специфицирано минимално потискивање износи 15 dB, измерено потискивање у случају компензованог филтра износи 16.6 dB, симулирано потискивање је 17.2 dB, док измерено потискивање у случају некомпензованог филтра износи 19 dB.

#### Поглавље 14

Према мишљењу комисије, истраживање потврђује адекватност и значај самог предмета истраживања и предложеног калибрационог концепта. Показана је иновативност и креативно размишљање, као и огроман комерцијални значај решавања обрађиваног проблема и јасне смернице за даља истраживања.

Комисија сматра да обим и квалитет анализираних референци представљају добру основу за истраживачки рад у предметној области.

#### Литература

Мишљење комисије је да литература апсолутно одговара тематици докторске дисертације. На основу изложених ставова и након разматрања истих, комисија позитивно оцењује све делове докторске дисертације.

#### **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 складу са *Правилма докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

Рад који представља главну нит докторске дисертације:

**M23** - Рад у међународном часопису

**[1] B. Milinković, M. Milićević, Đ. Simić, G. Stojanović, R. Đurić, Low-pass**

filter for UWB system with the circuit for compensation of process induced on-chip capacitor variation, *Inf. MIDE M – Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials*, vol. 45, no. 4, 2015, pp. 266–276. [http://www.midem-drustvo.si/Journal%20papers/MIDEM\\_45\(2015\)4p266.pdf](http://www.midem-drustvo.si/Journal%20papers/MIDEM_45(2015)4p266.pdf)

Остали радови који су уско повезани са темом докторске дисертације:

**M21** - Рад у врхунском међународном часопису

- [2] M. Milićević, **B. Milinković**, D. Grujić and L. Saranovac, Power and Conjugately Matched High Band UWB Power Amplifier, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 65, no. 10, pp. 3138-3149, Oct. 2018., DOI: 10.1109/TCSI.2018.2815612.

**M23** - Рад у међународном часопису

- [3] M. Milićević, **B. Milinković**, Đ. Simić, D. Grujić and L. Saranovac, Temperature and process compensated RF power detector, *Inf. MIDE M – Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials*, vol. 46, no. 1, 2016, pp. 24–28.

**M33** - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

- [4] M. Milićević, **B. Milinković**, J. Radić, R. Đurić, Digitally controlled attenuator, Proceedings of 24th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, 22-23 November 2016, pp. 1 – 3, DOI: 10.1109/TELFOR.2016.7818759.
- [5] M. Milićević, **B. Milinković**, Đ. Simić, D. Grujić, R. Đurić, Temperature and Process Compensated Broad Band CMOS RF Power Detector, 37th International Conference of IMPAS-CMPT Poland, Krakow, 22-25 September 2013, pp. 1 – 7.

#### **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:**

Основни резултат ове дисертације јесте аутономно, потпуно интегрисано калибрационо коло за смањење варијације капацитивности МИМ кондензатора на чипу примењено на нископропусном UWB LB Чебишевљевом филтру петог реда. Калибрационо коло се може користити и у свим другим колима на чипу чије су перформансе засноване на апсолутној вредности капацитивности кондензатора. Коло је верификовано кроз 81 различиту комбинацију вредности процеса, температуре и напона напајања. У симулацијама је разматран опсег варијације процесних параметара од  $\pm 3\sigma$ , коме по Гаусовој расподели припада 99.73% фабрикованих чипова, док температурни опсег ( $T_{junction}$  од  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) одговара *Grade 3* опсегу према АЕС-Q100 стандарду.

Аналогни и дигитални делови калибрационог кола су интегрисани са RF филтром и његовом компензационом банком. Интегрисано коло је фабриковано на полупроводничкој плочици (вејферу, енгл. *wafer*) која је намењена за израду више пројеката (енгл. *Multi Project Wafer – MPW*). Измерена су два неупакована чипа на вејферу помоћу сонди. Пре почетка мерења је извршена калибрација мерене опреме SOLT (енгл. *Short-Open-Load-Through*) методом. Измерени резултати параметара расејања филтра су упоређени са резултатима симулације. Разлика између измерене и симулиране вредности компензоване преносне карактеристике филтра на граничној учестаности филтра је  $-0.6\text{ dB}$ . Уједно, измерена преносна карактеристика филтра испуњава спецификације потискивања сигнала ван



пропусног опсега филтра.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:**

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

Прегледом докторске дисертације Комисија закључује да је приказ дисертације јасно структуриран, прегледан, систематичан и у складу са темом дисертације. Тумачење резултата је аргументовано, а изведени закључци проистичу из добијених резултата истраживања.

Дисертација је проверена у софтверу за детекцију плагијаризма (*iThenticate*). Извештај о подударности је показао је да преклапање текста у дозвољеним границама.

У складу са наведеним Комисија ПОЗИТИВНО оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ 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:

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

Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

**Да ли дисертација садржи све битне елементе?**

Дисертација садржи све битне елементе.

**По чему је дисертација оригиналан допринос науци?**

Оригиналан допринос науци се уочава у више аспеката. Дисертација је сумирала обиман преглед литературе из области варијације и компензације процеса интегрисаних компоненти, као и UWB система и филтара. Рад се бави једним од највећих проблема интегрисаних кола, варијацијом параметера компоненти са процесом, температуром, напоном напајања и стресом. Како би се компензовали ови ефекти и обезбедило поуздано функционисање аналогних и RF кола и током животног века уз захтевани принос чипова, цена мора да се плати повећаном површином чипа и/или дужим временом калибрације приликом тестирања поризвода и/или повећаним бројем екстерних компонената. Овај рад нуди јединствено, потпуно интегрисано и аутономно калибрационо коло, које заузима мање од 0.1 mm<sup>2</sup> површине на чипу и значајно смањује варијацију MIM кондензатора на чипу, на примеру филтра за све популарније UWB комуникационе системе. Кључни допринос овог рада се огледа у пројектовању и оптимизацији аналогног и дигиталног калибрационог кола, као и пројектовању UWB филтра са компензационом банком, оптимизованог за рад на високим учестаностима.

Кандидат је осмислио систем и верификовао га аналогним, дигиталним и RF симулацијама кроз граничне PVT случајеве. Интегрисано коло је фабриковано и резултати мерења су потврдили одлично поклапање са резултатима симулације.

Кандидат је показао да аналогно - дигитално решење калибрације нуди одличан компромис за постизање жељених перформанси филтара и свих кола чије су карактеристике засноване на апсолутној вредности линеарних кондензатора на чипу, а истовремено омогућава смањење цене производа, што је кључни циљ у серијској производњи великог обима.

<b>Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?</b>
Дисертација нема недостатке који би значајније утицали на резултате истраживања.
<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу наведеног, комисија предлаже:
<b>а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;</b> б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени); в) да се докторска дисертација одбије.

Место и датум:  
Нови Сад, 30.12.2021. године.

1. др Јелена, Радић, ванредни професор

\_\_\_\_\_, председник

2. др Владимир, Миловановић, ванредни професор

\_\_\_\_\_, члан

3. др Марјан, Урекар, доцент

\_\_\_\_\_, члан

4. др Миодраг, Бркић, доцент

\_\_\_\_\_, члан

5. др Горан Стојановић, редовни професор,

\_\_\_\_\_, члан 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 и да исти потпише.