

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Ивана Милосављевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 5039/12-3 од 30.09.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Ивана Милосављевића под насловом

**„Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу“,**

односно

**„Frequency synthesizer for integrated FMCW radar sensors in the millimeter-wave band“.**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Иван Милосављевић је уписао докторске студије у школској 2012/2013. години на Електротехничком факултету у Београду, студијски програм Електротехника и рачунарство, модул Електроника. Током студија положио је све испите са просечном оценом 10,00 и одрадио све обавезе везано за студијски истраживачки рад предвиђене планом и програмом.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

Тему под насловом „Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу“ пријавио је Комисији за студије трећег степена на Електротехничком факултету у Београду, 04.05.2017. године.

Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог за израду докторске дисертације 09.05.2017. године и предлог комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање.

Наставно-научно веће именовало је комисију за оцену услова и прихватања теме докторске дисертације (одлука број 5039/12-1 од 26.05.2017. године) у саставу: др Јелена Поповић-Божовић, доцент Електротехничког факултета у Београду, др Владимир Миловановић, доцент Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, и др Милан Илић, редовни професор Електротехничког факултета у Београду. За менторе су предложени др Лазар Сарановац, редовни професор Електротехничког факултета у Београду, и др Душан Грујић, доцент Електротехничког факултета у Београду.

Јавна усмена одбрана предложене теме докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду одржана је 13.06.2017. године пред комисијом у саставу: др Јелена Поповић-Божовић, доцент Електротехничког факултета у Београду, др Владимир Миловановић, доцент Факултета инжењерских наука у Крагујевцу и др Милан Илић, редовни професор Електротехничког факултета у Београду. Комисија је закључила да је кандидат Иван Милосављевић на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену „задовољно“. Комисија је заједно са предложеним менторима докторске дисертације, др Лазар Сарановац, редовни професор Електротехничког факултета у Београду и др Душан Грујић, доцент Електротехничког факултета у Београду, поднела Извештај о оцени подобности теме и кандидата.

Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (одлука број 5039/12-2 од 12.09.2017. године).

Веће научних области техничких наука у Београду је на седници одржаној 25.09.2017. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом „Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу“ (одлука број 61206-3582/2-17 од 25.09.2017. године) и за менторе су предложени др Лазар Сарановац, редовни професор Електротехничког факултета у Београду, и др Душан Грујић, доцент Електротехничког факултета у Београду.

Кандидат је 05.09.2019. године предао урађену докторску дисертацију на преглед и оцену.

Комисија за студије трећег степена је 10.09.2019. године потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације. Наставно-научно веће је 17.09.2019. године именовало комисију за преглед и оцену докторске дисертације (одлука број 5039/12-3 од 30.09.2019. године) у саставу: др Лазар Сарановац, редовни професор Електротехничког факултета у Београду, др Душан Грујић, доцент Електротехничког факултета у Београду, др Јелена Поповић-Божовић, доцент Електротехничког факултета у Београду, др Владимир Миловановић, доцент Факултета инжењерских наука у Крагујевцу и др Милан Илић, редовни професор Електротехничког факултета у Београду.

## 1.2. Научна област дисертације

Дисертација се бави поступцима пројектовања интегрисаних синтетизатора учестаности за фреквенцијски модулисана непрекидно зрачеће (енгл. *Frequency-Modulated Continuous-Wave* – FMCW) радарске сензоре који раде у милиметарском таласном опсегу (енгл. *Millimeter Wave* – mmWave). У ширем смислу дисертација припада научној области Техничке науке – Електротехника и рачунарство, а у ужем смислу области Електронике, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан.

За менторе докторске дисертације одређени су др Лазар Сарановац, редовни професор Електротехничког факултета у Београду, и др Душан Грујић, доцент Електротехничког факултета у Београду, због својих значајних доприноса у области примењене електронике и пројектовања интегрисаних кола.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Иван Милосављевић је рођен 06.05.1987. године у Београду. Основну школу „Деспот Стефан Лазаревић“ је завршио 2002. године у Београду, а Шесту београдску гимназију 2006. године. Уписао је Електротехнички факултет у Београду 2006. године где је дипломирао 2010. године на модулу за електронику са просеком 9,03. Дипломски рад под називом „ISDspeech уређај за снимање и репродукцију звука“ је одбранио са оценом 10 под менторством проф. др Лазара Сарановца. Године 2010. уписао је мастер студије, такође на Електротехничком факултету у Београду, на модулу Електроника. Једногодишњи мастер програм завршио је 2011. године са просечном оценом 10, а тема мастер рада је била „Концепт интегрисаног радарског сензора на 60 GHz“, такође под менторством проф. др Лазара Сарановца.

Докторске студије је уписао 2012. године на Електротехничком факултету у Београду на модулу Електроника. Ментор за студијски истраживачки рад на докторским студијама му је проф. др Лазар Сарановац. Одобрена му је израда докторске дисертације под насловом „Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу“ 2017. године.

У периоду од 2011. до 2015. године радио је у фирми TES Electronic Solutions као инжењер развоја аналогних и RF интегрисаних кола на пројекту широкопојасног примопредајника за комуникационе системе у опсегу од 3,1 до 10,6 GHz. Од 2015. године, запослен је у фирми NovellC Microsystems као вођа групе за развој FMCW радарских сензора у опсезима 57–64 GHz и 77–81 GHz. У његово тренутно интересовање спадају пројектовање интегрисаних кола за рад на високим учестаностима и синтеза учестаности у милиметарском опсегу за радарске и комуникационе системе.

Аутор или коаутор је пет научних радова у међународним часописима, девет научних радова на међународним конференцијама и две прихваћене патентне пријаве. Од 2018. године ангажован је као рецензент врхунског међународног часописа IEEE Microwave and Wireless Components Letters, као и међународног часописа Springer Analog Integrated Circuits and Signal Processing. Такође, од исте године је члан међународног удружења инжењера електротехнике IEEE у својству пуноправног члана, као и удружења IEEE MTT-S, SSCS, CAS и AP-S.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом „Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу“ је написана на српском језику на 229 страна (187 страна са прилозима). Садржи 7 поглавља, 14 табела, 113 слика и листу од 176 референци.

Наслови појединачних поглавља дисертације су:

1. Увод,
2. Основе FMCW радара и синтезе учестаности,
3. FMCW синтетизатори на бази *fractional-N* технике,
4. Програмабилни FMCW генератор рампи,
5. Пројектовање FMCW синтетизатора учестаности за рад у 60 GHz нелиценцираном опсегу,
6. Пројектовање FMCW синтетизатора учестаности за рад у 79 GHz аутомобилском опсегу,
7. Закључак.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу је представљен основни концепт интегрисаних радарских сензора који раде у милиметарском таласном опсегу. Приказан је њихов историјски развој, као и главне области примене и преглед тренутног стања технике у овој области. Поред тога, размотрени су разлози нагле експанзије и напретка интегрисане радарске технологије захваљујући којима је омогућено померање радне учестаности у милиметарски таласни опсег при чему се постижу знатно мање димензије сензора. Анализирана је основна проблематика FMCW радарских сензора и дата њихова груба подела. На крају овог поглавља је дат кратак опис осталих поглавља дисертације.

Друго поглавље садржи теоријске основе о FMCW радарским сензорима и синтези учестаности. Кључне компоненте FMCW радарских сензора су синтетизатори учестаности који одређују модулативну шему и дефинишу главне карактеристике сензора. У оквиру овог поглавља су презентовани компромиси које је неопходно правити приликом пројектовања интегрисаних FMCW синтетизатора учестаности, између фазног шума и пропусног опсега, брзине модулације и линеарности рампе, излазне снаге и потрошње, као и одабира радне учестаности и површине чипа. Након тога је дат детаљан преглед са анализом различитих топологија FMCW синтетизатора. На основу ове анализе је могуће изабрати оптималну топологију за рад у милиметарском таласном опсегу. Представљена су техничка и технолошка ограничења перформанси услед избора одређене топологије. На крају овог поглавља је анализирана синтеза учестаности у mmWave опсегу, дати су опсеги од интереса за примене FMCW радара и разматран је одабир оптималног технолошког процеса.

Различите хардверске архитектуре FMCW синтетизатора на бази фазно синхронисаних петљи (енгл. *Phase-Locked Loop* - PLL), са рационалном вредношћу делиоца у повратној спрези (енгл. *Fractional-N*), су разматране у оквиру трећег поглавља. Након тога је дата анализа основних подблокова *fractional-N* PLL-а, што пружа увид у главне особине и различите архитектуре подблокова представљених на нивоу транзистора. Приказана је анализа фазног шума *fractional-N* PLL-а, као и одговарајући модел у фазном домену са функцијама преноса подблокова. Оптимизација линеарности рампе и одабир пропусног

опсега петље су приказани у наставку поглавља. На крају поглавља је представљена методологија пројектовања FMCW синтетизатора на бази *fractional-N* PLL-а, која садржи основне смернице и кораке које је потребно проћи при пројектовању, као и неопходне компромисе за постизање изузетне линеарности рампе и фазног шума. Изведени закључци, уз смернице пројектовања које узимају у обзир технолошка ограничења, су касније примењени на пројектовање два синтетизатора учестаности за рад у mmWave опсегу.

У четвртом поглављу су приказане главне карактеристике програмабилних FMCW генератора рампи. Такође, описани су основни захтеви које морају да задовоље савремени FMCW генератори рампи. Дат је преглед постојећих хардверских архитектура и предложена је нова ефикасна хардверска реализација.

У поглављу пет је дат поступак пројектовања широкопојасног FMCW синтетизатора учестаности који ради у нелиценцираном опсегу од 57 до 64 GHz. Приказане су основне карактеристике и ограничења одабраног технолошког процеса. Детаљно су анализирани доступни слојеви метала, као и основне карактеристике биполарних транзистора, варактора и метал-изолатор-метал кондензатора неопходних у широкопојасним напоном контролисаним осцилаторима (енгл. *Voltage-Controlled Oscillator* - VCO) који раде у mmWave опсегу. Фреквенцијски план FMCW синтетизатора и прорачун петље су такође детаљно разматрани. Након тога је представљена архитектура система и пројектовање кључних подблокова. На крају поглавља су приказани резултати мерења фабрикованог чипа, као и поређење са карактеристикама из објављених радова који представљају последњу реч технике.

Поглавље шест садржи поступак пројектовања широкопојасног FMCW синтетизатора учестаности који ради у аутомобилском опсегу од 77 до 81 GHz. Приказани су фреквенцијски план FMCW синтетизатора и прорачун петље, као и архитектура кола и пројектовање подблокова који се разликују у односу на претходни пример. У оквиру овог пројектног примера је приказана аутоматска фреквенцијска калибрација широкопојасног VCO-а, која је пожељна у синтетизаторима за аутомобилску примену, пре свега због утицаја варијације процеса, температуре и напона напајања на учестаност осцилатора, али и због ригорозних регулатива које забрањују емисију ван лиценцираног опсега. С обзиром на то да овај пројектни пример није фабрикован услед ограничених ресурса, приказани су само резултати симулација. На крају овог поглавља је дато грубо поређење 60 и 79 GHz FMCW синтетизатора по основним параметрима, као што су потрошња, површина и пропусни опсег.

Резултати постигнути у овој дисертацији, заједно са општим закључцима и предлозима за даље истраживање у овој области, сумирани су у седмом поглављу.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата Ивана Милосављевића припада ужој научној области електроника, а у још ужем смислу припада области пројектовања интегрисаних синтетизатора учестаности. Предмет истраживања ове докторске дисертације је развој методологије пројектовања интегрисаних синтетизатора учестаности за FMCW радарске сензоре који раде у милиметарском опсегу, као и пројектовање два репрезентативна примера широкопојасних FMCW синтетизатора са веома добром линеарношћу рампе.

Примене преносивих бесконтактних радарских сензора кратког домета, који дају информације о присуству, положају и релативној брзини, практично су непробројиве. Ови радарски системи не само да имају потенцијал да побољшају квалитет услуга у многим областима већ се очекује да буду покретач многих иновативних решења убудуће. Радарски сензори који раде у милиметарском таласном опсегу привлаче значајну пажњу захваљујући њиховој робусности на лоше временске услове и неповољно радно окружење. Зато је радарска технологија данас незаобилазна пре свега у аутомобилској индустрији. Поред тога, захваљујући интензивном развоју технолошких процеса, који омогућавају рад у милиметарском опсегу и висок степен интеграције радарских система, интегрисани радарски сензори имају широку примену у потрошачким и индустријским електронским уређајима. Стога је развој оптималних FMCW синтетизатора учестаности, као кључних компонената радарских сензора, од изузетне важности у практичним примена. Постизање истовремено широког пропусног опсега линеарних фреквенцијских рампи, изузетне линеарности рампи, ниског фазног шума и велике брзине модулације, су само неки од захтева који се постављају приликом пројектовања савремених FMCW синтетизатора. Зато се стање технике у овој области константно побољшава како би пратило реалне потребе тржишта. Имајући ово у виду, предложена методологија представља оригинални допринос систематском приступу пројектовања FMCW синтетизатора.

Поред пројектовања два FMCW синтетизатора који по одређеним критеријумима представљају последњу реч технике, у оквиру дисертације је приказана и ефикасна хардверска реализација дигиталног FMCW генератора рампи.

Предложена тема докторске дисертације припада актуелној и значајној области синтезе учестаности за FMCW радарске сензоре, о чему говори велики број радова објављених у најзначајнијим међународним часописима у протеклих неколико година.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература дата у списку референци садржи најважније радове из релевантних научних области. Кандидат је користио укупно 176 библиографских референци. Велики број радова је новијег датума, што поново указује на актуелност обрађене теме. У оквиру наведене литературе, изложена су четири објављена рада у међународним часописима на којима је кандидат Иван Милосављевић првопотписани аутор, као и један рад на међународној конференцији.

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације спроведена је по следећим фазама:

- Прва фаза обухвата упознавање са интегрисаним FMCW радарским сензорима и њиховим применама, као и анализу постојећих топологија FMCW синтетизатора учестаности као њихових кључних компоненти. У оквиру ове фазе је систематизовано постојеће знање у овој области и уочене су предности и недостаци различитих топологија. На основу закључака ове фазе изабрана је погодна топологија која омогућава одличну линеарност рампе у милиметарском таласном опсегу.
- Друга фаза подразумева детаљну анализу одабране топологије, истраживање различитих хардверских архитектура и анализу кључних делова система. У овој фази је развијена општа методологија пројектовања FMCW синтетизатора учестаности на бази *fractional-N* технике.
- Трећа фаза обухвата преглед постојећих FMCW генератора рампи и предлог нове хардверске архитектуре. FMCW генератор рампи је потпуно програмабилан тако да се помоћу њега могу генерисати сложени таласни облици. Поред тога, предложена хардверска архитектура је једноставна за имплементацију у интегрисаним колима.
- Четврта фаза представља пројектовање интегрисаног FMCW синтетизатора учестаности на основу методологије представљене у другој фази. Синтетизатор ради у нелиценцираном опсегу 57–64 GHz, а посебна пажња је посвећена линеарности рампе. Процес пројектовања је детаљно приказан и укључује пројектовање кључних делова, као што су широкопојасни VCO, систем за амплитудску калибрацију осцилатора, струјна пумпа, сигма-делта модулатор трећег реда (MASH 1-1-1), фиксни делитељ, мултимодулус делитељ, генератор рампе итд. Карактеристике пројектованог синтетизатора су поређене са карактеристикама из објављених радова који представљају последњу реч технике.
- Пета фаза представља пројектовање интегрисаног FMCW синтетизатора учестаности погодног за аутомобилске радаре кратког домета, који раде у опсегу 77–81 GHz. Исто као и у четвртој фази, параметри синтетизатора су поређени са онима из објављених радова.
- Шеста фаза представља фабрикацију и мерење FMCW синтетизатора учестаности пројектованог у четвртој фази. Интегрисано коло је фабриковано у 130 nm SiGe:C BiCMOS технолошком процесу, а неопходна мерења су извршена у лабораторијама института ИНР Microelectronics у Франкфурту на Одри, Немачка. У оквиру дисертације су приказана мерења резултата мерења са резултатима симулација и објављеним радовима.

Примењена методологија у потпуности одговара проблему који је решаван и стандардима научно-истраживачког рада и у сагласности је са циљевима дефинисаним на почетку израде дисертације.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

У савременим применама FMCW радарских сензора често је истовремено неопходно оптимизовати карактеристике система на основу више системских параметара, као што су изузетна просторна резолуција радара и висока тачност детекције. Већина системских параметара радара се директно пресликава на пројектне параметре FMCW синтетизатора учестаности. Стога је често потребно пронаћи компромисе између опречних пројектних параметара, као што су фазни шум и пропусни опсег, трајање модулације и линеарност рампе, излазна снага и потрошња, радна учестаност и површина. Зато је потребна методологија пројектовања FMCW синтетизатора која помаже приликом проналажења компромисног решења на основу одређених пројектних одлука, као што је, на пример, одабир оптималног пропусног опсега петље. Поменуते зависности су детаљно анализирани у дисертацији, изведени су закључци и дефинисани кораци приликом пројектовања. Поред тога, у оквиру дисертације је дефинисан нови квантитативни показатељ перформанси FMCW

синтетизатора који узима у обзир главне пројектне параметре. Ова мера квалитета се може користити за поређење различитих FMCW синтетизатора.

Фабриковани прототип mmWave FMCW синтетизатора учестаности се, као и друге комерцијалне верзије пројектованог чипа које нису приказане у оквиру дисертације, успешно користи у различитим применама FMCW радарских сензора кратког домета, што потврђује применљивост предложене методологије.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде докторске дисертације показао способност да самостално проучи литературу из релевантне области, препозна отворена питања и адекватно одговори на нека од њих. Доприноси дисертације у области интегрисаних FMCW синтетизатора учестаности који раде у mmWave опсегу су оригинални, савремени и потврђују способност кандидата за самосталан успешан научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Главни научни допринос ове дисертације је методологија пројектовања FMCW синтетизатора учестаности у милиметарском таласном опсегу. У оквиру ове дисертације пројектована су два архитектурна решења за рад у областима на 60 и 79 GHz. Поред тога, предложена је ефикасна хардверска реализација програмабилног FMCW генератора рампи. Она омогућава потпуну интеграцију аналогног дела и дигиталног генератора који генерише таласне облике у једно интегрисано коло. Предложена методологија пројектовања је верификована на прототипу широкопојасног mmWave FMCW синтетизатора учестаности реализованог у 130 nm SiGe:C BiCMOS технолошком процесу.

Конкретно, остварени научни доприноси ове дисертације су:

- Преглед, систематизација и анализа постојећих топологија FMCW синтетизатора учестаности.
- Методологија пројектовања милиметарских FMCW синтетизатора учестаности на бази *fractional-N* технике.
  - Избор оптималне архитектуре и параметара.
  - Компромиси у избору параметара.
  - Фундаментална и технолошка ограничења и њихов утицај на избор архитектуре.
  - Мере перформанси.
- Хардверска архитектура програмабилног FMCW генератора за генерисање таласних облика.
- Пројектовање два FMCW синтетизатора за рад у 57–64 GHz и 77–81 GHz опсезима на основу предложене методологије. Синтетизатори су потпуно интегрисани и пројектовани са фокусима на што бољу линеарност и што већи пропусни опсег.
- Направљен је прототип FMCW синтетизатора за рад у 60 GHz опсегу и извршена је потпуна карактеризација интегрисаног кола. Резултати мерења су поређени са резултатима симулација, као и са карактеристикама из објављених радова који представљају последњу реч технике.



#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у циљеве истраживања, полазне хипотезе и остварене резултате, констатујемо да је кандидат успешно одговорио на сва значајна питања из проблематике која је анализирана у дисертацији.

Предложена методологија пројектовања mmWave FMCW синтетизатора учестаности заједно са добијеним експерименталним резултатима даје значајан практичан и научни допринос из области синтезе учестаности за интегрисане радарске сензоре која је данас у великој експанзији. Увидом у објављене радове и резултате докторске дисертације, констатујемо да су у дисертацији приказани нови, оригинални и савремени резултати.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У току истраживачког рада кандидат Иван Милосављевић објавио је пет радова у међународним научним часописима са SCI листе на којима је првопотписани аутор и који су у директној вези са темом докторске дисертације. Поред тога, објавио је више радова из области интегрисаних кола на међународним конференцијама као први аутор или коаутор. Такође, коаутор је две прихваћене патентне пријаве које припадају широј области истраживања.

##### Категорија M21:

1. **Milosavljević, I.**, Krčum, D., Glavonjić, Đ., Jovanović, S., Mihajlović, V., Tasovac, D., Milovanović, V.: A SiGe highly integrated FMCW transmitter module with a 59.5–70.5-GHz single sweep cover, - *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 66, no. 9, pp. 4121-4133, 2018 (**IF=3.756**) (ISSN 0018-9480).

##### Категорија M22:

1. **Milosavljević, I.**, Glavonjić, Đ., Krčum, D., Jovanović, S., Mihajlović, V., Milovanović, V.: A 55–64-GHz fully integrated miniaturized FMCW radar sensor module for short-range applications, - *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 29, no. 10, pp. 677-679, 2019 (**IF=2.374**) (ISSN 1531-1309).

##### Категорија M23:

1. **Milosavljević, I.**, Glavonjić, Đ., Krčum, D., Saranovac, L., Milovanović, V.: A highly linear and fully-integrated FMCW synthesizer for 60 GHz radar applications with 7 GHz bandwidth, - *Springer Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 90, no. 3, pp. 591-604, 2017 (**IF=0.60**) (ISSN: 0925-1030).
2. **Milosavljević, I.**, Krčum, D., Saranovac, L.: Design and analysis of differential passive circuits for I/Q generation in 60 GHz integrated circuits, - *Informacije MIDE M*, vol. 46, no. 3, pp. 120-129, 2016 (**IF=0.476**) (ISSN: 0352-9045).
3. **Milosavljević, I.**, Grujić, D., Simić, Đ., Popović-Božović, J.: Estimation and compensation of process-induced variations in capacitors for improved reliability in integrated circuits, - *Springer Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 81, no. 1, pp. 253-264, 2014 (**IF=0.70**) (ISSN: 0925-1030).

### Категорија М33:

1. Stojanović, M., Glavonjić, Đ., **Milosavljević, I.**, Krčum, D., Mihajlović, V.: "Impact of phase noise on frequency estimation of FM signals," *Proceedings of TELFOR Conference 2019*, Belgrade, Serbia, Nov. 2019., pp. 1-4.
2. Obradović, D., Čabrilo, M., **Milosavljević, I.**, Krčum, D., Mihajlović, V.: "A 250–800-MHz multiplying DLL for reference frequency generation with improved phase noise," *Proceedings of the 18th International Conference on Smart Technologies IEEE EUROCON 2019*, Novi Sad, Serbia, Jul. 2019., pp. 1-6.
3. Jovanović, S., **Milosavljević, I.**, Branković, V.: "Wideband antenna array for mm-wave radar modules characterization," *Proceedings of IcETLAN-2019*, Srebrno Jezero, Serbia, Jun. 2019., pp. 605-609.
4. Glavonjić, Đ., **Milosavljević, I.**, Krčum, D., Popović-Božović, J., Saranovac, L.: "The design of fully differential comparator for SAR ADCs," *Proceedings of IcETLAN-2018*, Palić, Serbia, Jun. 2018., pp. 852-855.
5. Krčum, D., **Milosavljević, I.**, Glavonjić, Đ., Ninić, M., Tasovac, D., Popović-Božović, J., Saranovac, L.: "Clock synthesizer for data converters in digital audio broadcasting systems," *Proceedings of IcETLAN-2018*, Palić, Serbia, Jun. 2018., pp. 856-859.
6. Jovanović, S., **Milosavljević, I.**, Branković, V.: "Using rat race balun transition for characterization of 60 GHz FMCW transmitter module," *Proceedings of IcETLAN-2018*, Palić, Serbia, Jun. 2018., pp. 978-981.
7. **Milosavljević, I.**, Glavonjić, Đ., Krčum, D., Tasovac, D., Saranovac, L., Milovanović, V.: "An FMCW fractional-N PLL-based synthesizer for integrated 79 GHz automotive radar sensors," *Proceedings of the 17th International Conference on Smart Technologies IEEE EUROCON 2017*, Ohrid, Macedonia, Jul. 2017., pp. 265-270.
8. Krčum, D., **Milosavljević, I.**, Glavonjić, Đ., Tasovac, D., Saranovac, L.: "A highly linear CMOS TIA based on triple-inverter amplifier," *Proceedings of IcETLAN-2017*, Kladovo, Serbia, Jun. 2017., pp. ELI1.2.1-3.
9. Glavonjić, Đ., **Milosavljević, I.**, Krčum, D., Mihajlović, V., Saranovac, L.: "Person detection counter based on mm-wave radar technology," *Proceedings of IcETLAN-2017*, Kladovo, Serbia, Jun. 2017., pp. ELI3.3.1-4.

### Категорија М93:

1. Mihajlović, V., Branković, V., Tasovac, D., Paraušić, M., Glavonjić, Đ., **Milosavljević, I.**, Krčum, D.: Millimeter-wave radar sensor system for gesture and movement analysis, WO2017131545 A1, 2017.
2. Tasovac, D., Mihajlović, V., Branković, V., Krčum, D., **Milosavljević, I.**: Millimeter-wave sensor system for parking assistance, WO2016204641 A1, 2016.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Ивана Миловасљевића под насловом „Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу“, односно „Frequency synthesizer for integrated FMCW radar sensors in millimeter-wave area“, је написана на српском језику, у складу са образложењем наведеним у пријави теме, и садржи све елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета у Београду.

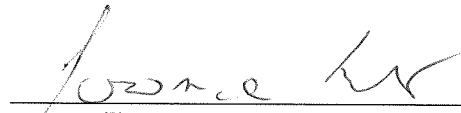
У оквиру докторске дисертације је представљена методологија пројектовања mmWave FMCW синтетизатора учестаности. На основу предложене методологије су пројектована два синтетизатора учестаности за рад у опсезима 57–64 GHz и 77–81 GHz. Први пројектни пример је фабрикован у 130 nm SiGe:C BiCMOS технолошком процесу и на тај начин је предложена методологија успешно верификована. Добијени резултати симулација и мерења су поређени са карактеристикама из објављених радова који представљају последњу реч технике. Поред тога, предложена је ефикасна хардверска реализација дигиталног FMCW генератора рампи прикладна за интеграцију у чипу.

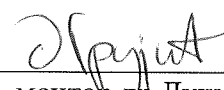
Резултате проистекле из истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације кандидат је публикувао у различитим међународним часописима са SCI листе и на међународним конференцијама. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове, Комисија констатује да дисертација „Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу“ мастер инжењера Ивана Милосављевића садржи оригиналне научне доприносе.

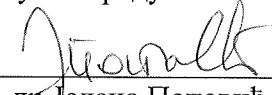
На основу претходног Комисија констатује да је Иван Милосављевић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да се докторска дисертација под називом „Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу“ прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се одобри јавна усмена одбрана.

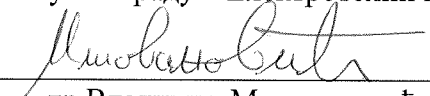
У Београду, 12.12.2019. године.

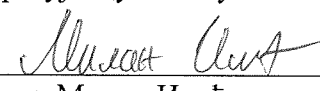
#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

  
ментор др Лазар Сарановац, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
ментор др Душан Грујић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Јелена Поповић-Божовић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Владимир Миловановић, доцент  
Универзитет у Крагујевцу – Факултет инжењерских наука

  
др Милан Илић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет