

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Ивана Милосављевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације

"Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу",

односно

"Frequency synthesizer for integrated FMCW radar sensors in millimeter-wave band".

Одлуком бр. 5039/12-1 од 26.05.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ивана Милосављевића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме "Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу". На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата и одржане јавне усмене одбране теме, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

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. Ментор на докторским студијама му је проф. др Лазар Сарановац.

1.2. Сачењено научноистраживачко искуство

На докторским студијама Иван Милосављевић је положио следеће предмете:

	Назив предмета	оцена	ЕСПБ
1	Микроталасна електроника	10	9
2	Метод коначних елемената у електромагнетици	10	9
3	Пројектовање наменских рачунарских система	10	9
4	Одабрана поглавља из аналогне електронике	10	9
5	Увод у научни рад	10	6
6	Микроталасна техника	10	9

7	Електромагнетска компатибилност и интегритет сигнала	10	9
8	Дизајн интегрисаних РФ кола	10	9
9	Фазно синхронисане петље	10	9
10	Пројектовање интегрисаних кола и система	10	9

и испунио остале обавезе дефинисане студијским програмом за прве две студијске године. Тренутно је трећа година докторских студија.

Област истраживања Ивана Милосављевића обухвата пројектовање интегрисаних кола у милиметарском таласном опсегу и FMCW синтетизатора учестаности као кључних компонената интегрисаних радарских сензора. За време докторских студија радио је у компанијама у области свог истраживања.

Досадашњи резултати кандидата приказани су кроз неколико публикација. У даљем тексту је наведен списак публикација на којима је Иван Милосављевић коаутор.

M20:

1. **Ivan M. Milosavljević**, Dušan N. Grujić, Đorđe Č. Simić, Jelena S. Popović-Božović, "Estimation and Compensation of process-induced variations in capacitors for improved reliability in integrated circuits," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing* (ISSN: 0925-1030), vol. 81, no. 1, pp. 253-264, Oct. 2014., DOI: 10.1007/s10470-014-0390-1, (IF: 0.468) (M23)
2. **Ivan M. Milosavljević**, Dušan P. Krčum, Lazar V. Saranovac, "Design and analysis of differential passive circuits for I/Q generation in 60 GHz integrated circuits," *Informacije MIDEM – Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials* (ISSN 0352-9045), vol. 46, no. 3, pp. 120-129, Mar. 2016., (IF: 0.478) (M23)
3. **Ivan M. Milosavljević**, Đorđe P. Glavonjić, Dušan P. Krčum, Lazar V. Saranovac, Vladimir M. Milovanović, "A highly linear and fully-integrated FMCW synthesizer for 60 GHz radar applications with 7 GHz bandwidth," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing* (ISSN: 0925-1030), vol. 90, no. 3, pp. 591-604, Mar. 2017., DOI: 10.1007/s10470-016-0910-2, (IF(2016): 0.623) (M23)

M30:

1. **Ivan Milosavljević**, Đorđe Glavonjić, Dušan Krčum, Darko Tasovac, Lazar Saranovac, Vladimir Milovanović, "An FMCW Fractional-N PLL-based Synthesizer for Integrated 79 GHz Automotive Radar Sensors," 17th International Conference on Smart Technologies IEEE EUROCON 2017, Ohrid, Macedonia, Jul. 2017. (M33)
2. Dušan Krčum, **Ivan Milosavljević**, Đorđe Glavonjić, Darko Tasovac, Lazar Saranovac, "A highly linear CMOS TIA based on triple-inverter amplifier," Proceedings of IcETRAN-2017, Kladovo, Serbia, Jun. 2017. (M33)
3. Đorđe Glavonjić, **Ivan Milosavljević**, Dušan Krčum, Veljko Mihajlović, Lazar Saranovac, "Person detection counter based on mm-Wave radar technology," Proceedings of IcETRAN-2017, Kladovo, Serbia, Jun. 2017. (M33)

M90:

1. Darko Tasovac, Veljko Mihajlović, Veselin Branković, Dušan Krčum, **Ivan Milosavljević**, "Millimeter-wave sensor system for parking assistance," WO2016204641 A1, 2016. (M93)

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Дана 13.06.2017. године Иван Милосављевић је усмено бранио подобност теме и кандидата пред комисијом у саставу: др Јелена Поповић-Божовић, доцент Електротехничког факултета у Београду, др Владимир Миловановић, доцент Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, др Милан Илић редовни професор Електротехничког факултета у Београду. Комисија је једногласно закључила да су кандидат и тема под насловом: "Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу" подобни за израду докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду. За менторе докторске дисертације предложени су др Лазар Сарановац, ванредни професор Електротехничког факултета у Београду и др Душан Грујић, доцент Електротехничког факултета у Београду.

Током писања овог Извештаја, Комисија је узела у обзир све наведене чињенице и резултате досадашњег рада кандидата Ивана Милосављевића. Такође су са посебном пажњом размотрена искуства која је стекао, како кроз образовни, тако и кроз истраживачки процес. Кандидат поседује самосталност у истраживању и брзо и ефикасно усваја нова знања. До сада је кандидат положио све испите на докторским студијама са просечном оценом 10.

На основу наведених резултата кандидата, наша је процена да је кандидат Иван Милосављевић способан да успешно реализује и заврши израду докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Концепт и назив радара датира још из периода II Светског рата када је коришћен за откривање противничких положаја и навођење. Од тада су радарски системи значајно напредовали и данас имају широку примену. Типичан радарски систем емитује електромагнетске таласе одређене учестаности; они се простиру, одбијају од мете и враћају ка радарском систему где се демодулишу, а на основу нискофреквентне информације одређују се брзина, угао, смер и/или растојање мете. Данашње полупроводничке технологије омогућавају висок степен интеграције, што олакшава пројектовање кључних делова па и целих радарских система у једном интегрисаном колу и значајно утиче на редукцију цене радара. Стога су интегрисани радарски сензори данас доступни свима у поређењу са габаритним и скупим радарским системима великог домета који се користе у војне сврхе, цивилном ваздухопловству или метеоролошким станицама. Наравно, у поређењу са великим радарским системима, њихов домет је ограничен снагом емисије и не прелази неколико стотина метара.

Нагла експанзија и напредак радарске технологије, као и све већа интеграција радарских система, заслужни су за многа безбедносна и луксузна својства која имају савремени аутомобили. Ту спадају аутоматска регулација брзине, паркинг сензори, системи за избегавање судара, аутономни аутомобили, детекција умора возача итд. Поред аутомобилске индустрије, интегрисани радарски сензори имају огроман потенцијал у медицинској и потрошачкој индустрији, где се могу користити за разне примене које побољшавају квалитет и олакшавају свакодневни живот. Неке од примена су бесконтактне наочаре за људе са оштећеним видом, детекција виталних знака болесника, детекција говора, детекција и управљање покретима, мерење дубине снега и мерење нивоа течности. Велике предности интеграције радарских система су свакако смањење димензија радара и њихова мобилност, што је за одређене примене од суштинске важности. Како би се постигле што мање димензије, радна учестаност интегрисаних радарских система је померена у област милиметарских таласа (*mm-waves*) којој одговара опсег учестаности од 30 GHz до 300 GHz. То омогућава интеграцију целог радарског система, заједно са антенама, и смањење до димензија које су мање од неколико квадратних центиметара. Цена рада на овако високим учестаностима је комплексност пројектовања интегрисаних кола. У поређењу са конкурентним технологијама на бази времена прелета (*Time of Flight*), као што су системи на бази камера или оптички системи на бази ласера, интегрисани радарски сензори су робусни и могу да раде у тешким условима (повећан или смањен интензитет светлости, или недостатак оптичке видљивости услед магле, прашине или друге препреке) па су зато први избор у индустријским апликацијама.

Иако постоје различите врсте, у пракси су најчешћи импулсни, Доплерови CW (*Continuous-Wave*), и фреквенцијски модулисани FMCW (*Frequency-Modulated Continuous-Wave*) интегрисани радарски сензори. За разлику од импулсних и Доплерових радара који могу да одређују само растојање односно само брзину, фреквенцијски модулисани радарски сензори имају веома широку примену. Кључне компоненте у FMCW радарима су синтетизатори учестаности. Они синтетишу предајни сигнал радара и обезбеђују жељену модулациону шему. Основни таласни облик FMCW радара је линеарна фреквенцијска рампа, чирп (*chirp*), одређеног пропусног опсега (девијације учестаности) и трајања. Често су у пракси потребне веома комплексне модулационе шеме које се састоје из чирпова различитих девијација учестаности и нагиба, како би се омогућиле различите технике за избегавање имагинарних мета, као и да би се упростило процесирање сигнала ниских учестаности на излазу интегрисаних радарских сензора. Ограничавајући фактори сваког FMCW синтетизатора учестаности су линеарност рампе и фазни шум синтетисаног сигнала. Ти фактори утичу на тачност и резолуцију интегрисаног радарског сензора и кључни су параметри приликом пројектовања.

Циљ ове дисертације је да се развије методологија пројектовања интегрисаних FMCW синтетизатора учестаности са посебним освртом на линеарност рампе и фазни шум синтетизатора. Методологија пројектовања ће бити демонстрирана на примерима 57-64 GHz и 77-81 GHz интегрисаних кола развијених у 130 nm SiGe BiCMOS процесу. Та два опсега су од интереса, пошто је 60 GHz опсег нелиценциран широм света и може се користити за комерцијалне примене са ограниченом снагом емисије, док је 80 GHz опсег резервисан за примене у аутомобилској индустрији. Идеја је да се постигне широкопојасност система тако да се чирпови могу генерисати у целим опсезима и на тај начин постићи максималне девијације учестаности од 7 GHz и 4 GHz, респективно. На тај начин се побољшава могућност радара да детектује две мете које се налазе близу једна другој. Та особина се назива резолуција радара, а поменуте девијације учестаности одговарају радарским резолуцијама мањим од 2,2 cm и 3,8 cm, респективно. У целом опсегу потребно је постићи што бољу линеарност рампе и што мањи фазни шум. То је отежавајућа околност и лимитирајући фактор топологија за FMCW синтезу учестаности, па је потребно пронаћи оптималну топологију имајући у виду захтеве за што бољом радарском резолуцијом, са једне стране, и технолошким ограничењима, са друге стране.

У оквиру дисертације ће се предложити хардверска архитектура потпуно програмабилног FMCW генератора рампи. Програмабилност девијације учестаности, трајања модулације и мода сваке конфигурације ће омогућити синтезу комплексних модулационих шема. Такође, на тај начин ће FMCW синтетизатор учестаности бити потпуно аутономан и, након иницијалног програмирања, моћи ће да функционише самостално, без икакве спољашње контроле. Такав систем омогућава примену специјалних техника за филтрирање имагинарних мета које представљају велики проблем у дигиталној обради сигнала.

3. Полазне хипотезе

Синтеза учестаности за FMCW радарске системе, чије су перформансе уско повезане са напретком интегрисаних технологија, представља живу област истраживања. Откривају се побољшања и нова техничка решења, што доприноси већем степену интеграције радарских система, већој резолуцији, мањој потрошњи, мањим димензијама и, што је можда данас и најважније, мањој цени. До данас су предложене различите топологије FMCW синтетизатора учестаности, које имају одређене предности и недостатке. Најинтуитивнија и најједноставнија топологија је напонски контролисани осцилатор у отвореној спрези. Услед нелинеарности напонски контролисаног осцилатора веома је тешко постићи добру линеарност рампе користећи се том топологијом. Чак и ако се компензује нелинеарност осцилатора генерисањем одговарајућег контролног напона, такво решење није робусно, јер зависи од варијација напона напајања и температуре које је веома тешко компензовати током рада. Због тога су истраживачи дошли на идеју да компензују нелинеарност напонски контролисаног осцилатора помоћу регулационе спреге, односно фазно синхронисане петље. Готово сви синтетизатори високих перформанси користе неку врсту фазно контролисане петље. У FMCW

синтетизаторима учестаности на бази фазно синхронисане петље, учестаност носиоца може да буде модулисана утицањем на контролни сигнал напонски контролисаног осцилатора [1,2], модулацијом референтне учестаности [3,4] или коришћењем *fractional-N* технике да би се променила вредност делиоца у повратној спрези и омогућила модулација сигнала [5-13].

Линеарност фреквенцијске рампе, фазни шум и однос сигнал/шум на улазу у пријемник су од суштинске важности за FMCW радарске системе. Те величине су међусобно зависне и потребно их је пажљиво оптимизовати приликом пројектовања. Девијације фреквенцијске рампе FMCW синтетизатора утичу на тачност и резолуцију радарског система, и могу бити случајне и периодичне [14]. Случајне девијације су узроковане фазним шумом и не могу се сматрати правим нелинеарностима [14]. Оне утичу на подизање нивоа шума на улазу у пријемник, а тиме и на деградацију односа сигнал/шум, што директно смањује тачност радара. Са друге стране, периодичне девијације представљају нежељене спектралне компоненте, спурове (*spurs*), и могу узроковати детекцију лажних мета и ометање детекције правих мета [14].

Два примера пројектовања FMCW синтетизатора учестаности као полазну тачку користе фазно синхронисане петље на бази *fractional-N* технике, пошто се помоћу ове топологије могу постићи изузетна линеарност и перформансе фазног шума на милиметарским подручјима. Идеја је да се пронађе оптимална архитектура синтетизатора; таква да се постигне што боља линеарност на 7 GHz и 4 GHz опсезима.

- [1] H.-H. Chang, I.-H. Hua, and S.-I. Liu, "A spread-spectrum clock generator with triangular modulation," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 38, no. 4, pp. 673-676, Apr. 2003.
- [2] Y.-B. Hsieh, and Y.-H. Kao, "A Fully Integrated Spread-Spectrum Clock Generator by Using Direct VCO Modulation," *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, vol. 55, no. 7, pp. 1845-1853, Aug. 2008.
- [3] T. Mitomo, N. Ono, H. Hoshino, Y. Yoshihara, O. Watanabe, and I. Seto, "A 77 GHz 90 nm CMOS Transceiver for FMCW Radar Applications," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 45, no. 4, pp. 928-937, Apr. 2010.
- [4] J.H. Song, C. Cui, S.K. Kim, B.S. Kim, and S. Nam, "A Low-Phase-Noise 77-GHz FMCW Radar Transmitter With a 12.8-GHz PLL and a $\times 6$ Frequency Multiplier," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 26, no. 7, pp. 540-542, Jul. 2016.
- [5] T. Musch, "A high precision 24-GHz FMCW radar based on a fractional-N ramp-PLL," *IEEE Trans. Instr. Meas.*, vol. 52, no. 2, pp. 324-327, Apr. 2003.
- [6] A. Stelzer, K. Ettinger, J. Hoffberger, J. Fenk, and R. Weigel, "Fast and accurate ramp generation with a PLL-stabilized 24-GHz SiGe VCO for FMCW and FSCW applications," *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 893-896, Jun. 2003.
- [7] J. Lee, Y.-A. Li, M.-H. Hung, and S.-J. Huang, "A Fully-Integrated 77-GHz FMCW Radar Transceiver in 65-nm CMOS Technology," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 45, no. 12, pp. 2746-2756, Dec. 2010.
- [8] N. Pohl, T. Jaeschke, and K. Aufinger, "An Ultra-Wideband 80 GHz FMCW Radar System Using a SiGe Bipolar Transceiver Chip Stabilized by a Fractional-N PLL Synthesizer," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 60, no. 3, pp. 757-765, Mar. 2012.
- [9] T.-N. Luo, C.-H.E. Wu, and Y.-J.E. Chen, "A 77-GHz CMOS FMCW Frequency Synthesizer With Reconfigurable Chirps," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 61, no. 7, pp. 2641-2647, Jul. 2013.
- [10] H.J. Ng, A. Fisher, R. Feger, R. Stuhlberger, L. Maurer, and A. Stelzer, "A DLL-Supported, Low Phase Noise Fractional-N PLL With a Wideband VCO and a Highly Linear Frequency Ramp Generator for FMCW Radars," *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, vol. 60, no. 12, pp. 3289-3302, Dec. 2013.
- [11] J. Park, H. Ryu, K.-W. Ha, J.-G. Kim, and D. Baek, "76-81-GHz CMOS Transmitter With a Phase-Locked-Loop-Based Multichirp Modulator for Automotive Radar," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 63, no. 4, pp. 1399-1408, Apr. 2015.
- [12] G. Hasenaecker, M. van Delden, T. Jaeschke, N. Pohl, K. Aufinger, and T. Musch, "A SiGe Fractional-N Frequency Synthesizer for mm-Wave Wideband FMCW Radar Transceivers," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 64, no. 3, pp. 847-858, Mar. 2016.
- [13] H. Jia, L. Kuang, W. Zhu, Z. Wang, F. Ma, Z. Wang, and B. Chi, "A 77 GHz Frequency Doubling Two-Path Phased-Array FMCW Transceiver for Automotive Radar," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 51, no. 10, pp. 2299-2311, Oct. 2016.
- [14] S. Ayhan, S. Scherr, A. Bhutani, B. Fischbach, M. Pauli, and T. Zwick, "Impact of Frequency Ramp Nonlinearity, Phase Noise, and SNR on FMCW Radar Accuracy," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 64, no. 10, pp. 3290-3300, Oct. 2016.

- [14] S. Ayhan, S. Scherr, A. Bhutani, B. Fischbach, M. Pauli, and T. Zwick, "Impact of Frequency Ramp Nonlinearity, Phase Noise, and SNR on FMCW Radar Accuracy," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 64, no. 10, pp. 3290-3300, Oct. 2016.

4. Научне методе истраживања

Први део овог истраживања представља преглед постојећих топологија за FMCW синтезу учестаности, одређивање њихових предности и мана, као и погодности за рад у милиметарском подручју. Циљ је да се на основу претходне анализе установи која је од топологија оптимална и пронађе архитектура која ће дати најбољу линеарност рампи. Да би се квантификовала линеарност предложене архитектуре, систем ће бити моделован и симулиран у аналогном развојном окружењу. Након детаљне системске анализе, формирају се спецификације за делове система, након чега следи фаза пројектовања интегрисаног кола. Поред стандардних симулатора кола са концентрисаним параметрима, током фазе пројектовања ће бити коришћени и електромагнетски симулатори за прорачун S-параметара и карактеризацију пасивних структура. Добијени резултати ће бити поређени са публикованим резултатима тренутно најбољих FMCW синтетизатора учестаности.

Постоје различите мере перформанси (FoM – *Figure of Merit*) милиметарских синтетизатора учестаности и оне се могу наћи у [15-18]. Те мере се углавном користе за оцену перформанси синтетизатора учестаности у комуникационим системима и не узимају у обзир параметре од интереса у FMCW радарима, као што су линеарност рампе, максимална девијација учестаности, брзина модулације итд. Услед тога је неопходно дефинисати нове метрике за FMCW синтетизаторе учестаности које ће бити предложене у оквиру докторске дисертације.

- [15] S. Kang, J.-C. Chien, and A.M. Niknejad, "A W-Band Low-Noise PLL With a Fundamental VCO in SiGe for Millimeter-Wave Applications," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 62, no. 10, pp. 2390-2404, Oct. 2014.
- [16] Z. Xu, Q.J. Gu, Y.-C. Wu, H.-Y. Jian, and M.-C.F. Chang, "A 70-78-GHz Integrated CMOS Frequency Synthesizer for W-Band Satellite Communications," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 59, no. 12, pp. 3206-3218, Dec. 2011.
- [17] S. Shahramian, A. Hart, A. Tomkins, A.C. Carusone, P. Garcia, P. Chevalier, and S.P. Voinigescu, "Design of a Dual W- and D-Band PLL," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 46, no. 5, pp. 1011-1022, May 2011.
- [18] G. Liu, A. Trasser, and H. Schumacher, "A 64-84-GHz PLL With Low Phase Noise in an 80-GHz SiGe HBT Technology," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 60, no. 12, pp. 3739-3748, Dec. 2012.

5. Очекивани научни допринос

Главни очекивани научни допринос ове дисертације је методологија пројектовања FMCW синтетизатора учестаности у области милиметарских таласа. У оквиру дисертације ће бити предложена и два архитектурна решења за рад у 60 GHz и 80 GHz областима. Такође, биће предложена ефикасна хардверска реализација програмабилног FMCW генератора рампи. Она ће омогућити потпуну интеграцију аналогног дела и дигиталног генератора који генерише таласне облике у једно интегрисано коло, док се се данас, углавном, генерисање таласних облика синтетисаног сигнала реализује ван чипа помоћу FPGA платформи. У оквиру очекиваних научних доприноса:

- биће урађен преглед, систематизација и анализа постојећих топологија FMCW синтетизатора учестаности;
- предложиће се нова методологија пројектовања милиметарских FMCW синтетизатора учестаности на бази *fractional-N* технике, а која ће садржати:
 - избор оптималне архитектуре и параметара,
 - компромисе у избору параметара,
 - фундаментална и технолошка ограничења и њихов утицај на избор архитектуре,
 - мере перформанси;

- нова хардверска архитектура програмабилног FMCW генератора за генерисање таласних облика ће бити предложена и анализирана;
- пројектоваће се два FMCW синтетизатора за рад у 60 GHz и 80 GHz областима на основу предложене методологије, при чему ће синтетизатори бити потпуно интегрисани и пројектовани са фокусима на што бољу линеарност и што већи пропусни опсег.

6. План истраживања

Планирано је да се истраживање спроведе 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. Циљ ове фазе је да се систематизује постојеће знање у овој области и да се уоче предности и недостаци различитих топологија. На основу закључака ове фазе биће изабрана погодна топологија која омогућава одличну линеарност рампе у милиметарској области учестаности.
- Друга фаза подразумева детаљну анализу одабране топологије, истраживање различитих хардверских архитектура и анализу кључних делова система. Идеја је да се у овој фази развије генерална методологија пројектовања FMCW синтетизатора учестаности на бази *fractional-N* технике.
- Трећа фаза обухвата преглед постојећих FMCW генератора рампи и предлог нове хардверске архитектуре. Потребно је да генератор буде програмабилан тако да се могу генерисати комплексни таласни облици, као и да буде једноставан за имплементацију у интегрисаним колима.
- Четврта фаза представља пројектовање интегрисаног FMCW синтетизатора учестаности на основу методологије представљене у другој фази. Идеја је да синтетизатор ради у нелиценцираном опсегу 57-64 GHz, а посебну пажњу треба обратити на линеарност рампе. Процес пројектовања ће бити детаљно приказан и укључиће пројектовање кључних делова, као што су широкопојасни напонски контролисани осцилатор, 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 ће бити поређене са карактеристикама из публикованих радова који представљају последњу реч технологије.
- 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 ће бити поређени са онима из публикованих радова.
- У складу са могућностима спровешће се и шеста фаза у којој ће се фабриковати одговарајући чип, или чипови, у 130 nm SiGe BiCMOS технологији и извршити неопходна мерења ради поређења са резултатима симулација и публикованим радовима.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, непосредног увида у научни рад и јавне усмене одбране теме кандидата Ивана Милосављевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија је закључила да кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације.

Предложена тема докторске дисертације кандидата Ивана Милосављевића "Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу", је у тренду са глобалним научним кретањима из области интегрисаних кола за рад у милиметарском опсегу, чији се резултати тренутно објављују у истакнутим међународним часописима. Предложена тема је посебно значајна и интересантна из угла практичне примене.

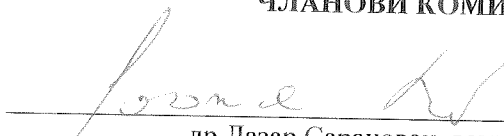
Кандидат Иван Милосављевић се током свог научноистраживачког и образовног рада бавио темама које спадају у најужу област дисертације. Комисија сматра да континуитет досадашњег научноистраживачког рада као и релевантност пројеката на којима је кандидат био ангажован несумњиво указују на чињеницу да је кандидат подобан за реализацију предвиђених циљева истраживања.

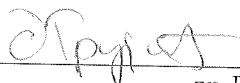
Научна област дисертације је Електротехника и рачунарство, а ужа научна област је Електроника. За менторе дисертације предлажу се др Лазар Сарановац, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, и др Душан Грујић, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Имајући све претходно у виду, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Ивану Милосављевићу одобри израду докторске дисертације "Синтетизатор учестаности за интегрисане FMCW радарске сензоре у милиметарском таласном опсегу" под менторством др Лазара Сарановца, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, и др Душана Грујића, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

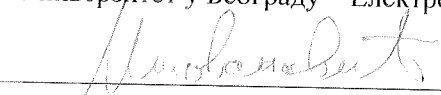
У Београду, 23.08.2017. године

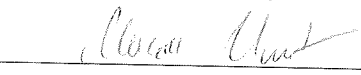
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Лазар Сарановац, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


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