

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Александра Медведева 4 · Поштански фах 73  
18000 Ниш · Србија  
Телефон 018 529 105 · Телефакс 018 588 399  
E-mail: einfo@elfak.ni.ac.rs; http://www.elfak.ni.ac.rs  
Текући рачун: 840-1721666-89; ПИБ: 100232259



UNIVERSITY OF NIŠ  
FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING

Aleksandra Medvedeva 4 · P.O. Box 73  
18000 Niš - Serbia  
Phone +381 18 529 105 · Fax +381 18 588 399  
E-mail: einfo@elfak.ni.ac.rs  
http://www.elfak.ni.ac.rs

ДЕКАН

30.06.2025. године

О Б А В Е Ш Т Е Њ Е  
НАСТАВНИЦИМА И САРАДНИЦИМА ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Докторска дисертација кандидата маг. инж. Николе Митровића под насловом „Моделовање промена напона прага р-каналних VDMOS транзистора снаге изазваних различитим типовима напрезања“ и Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације доступни су на увид јавности у електронској верзији на званичној интернет страници Факултета и налазе се у штампаном облику у Библиотеци Електронског факултета у Нишу, и могу се погледати до **30.07.2025. године**.

Примедбе на наведени извештај достављају се декану Електронског факултета у Нишу у напред наведеном року.

ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Декан

30 Проф. др Владимир Ђурић



## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

### ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног  
родитеља и име  
Датум и место рођења

Митровић Иван Никола  
13.07.1994. Ниш

ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ  
У НИШУ

Примљено 30.06.2025

Број

07/03-011/25-004

### Основне студије

Универзитет Универзитет у Нишу  
Факултет Електронски факултет у Нишу  
Студијски програм Електротехника и рачунарство  
Звање Дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства  
Година уписа 2013  
Година завршетка 2017  
Просечна оцена 9,42

### Магистарске студије, магистарске студије

Универзитет Универзитет у Нишу  
Факултет Електронски факултет у Нишу  
Студијски програм Електроника и микросистеми  
Звање Мастер инжењер електротехнике и рачунарства – електроника и микросистеми  
Година уписа 2017  
Година завршетка 2018  
Просечна оцена 10,00  
Научна област Електротехничко и рачунарско инжењерство  
Наслов завршног рада Реализација идентификационог система коришћењем РФ сензора

### Докторске студије

Универзитет Универзитет у Нишу  
Факултет Електронски факултет у Нишу  
Студијски програм Нанотехнологије и микросистеми  
Година уписа 2018  
Остварен број ЕСПБ бодова 150  
Просечна оцена 10,00

### НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације Моделовање промена напона прага р-каналних VDMOS транзистора снаге изазваних различитим типовима напрезања  
Име и презиме ментора, звање Данијел Данковић, редовни професор  
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације НСВ број 8/20-01-007/23-015 у Нишу 11.09.2023. године

### ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна 166  
Број поглавља 6  
Број слика (шема, графикона) 102  
Број табела 15  
Број прилога 0

**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА**  
**који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1	<p>Snežana Djorić-Veljković, Emilija Živanović, Vojkan Davidović, Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Goran Ristić, Albena Paskaleva, Dencho Spassov, Danijel Danković, "Recovery Analysis of Sequentially Irradiated and NBT-Stressed VDMOS Transistors", <i>Micromachines</i>, 2025, vol. 16, no. 1, p. 27.</p> <p>Овај рад истражује ефекте напонско температурних напрезања са негативном поларизацијом гејта као и зрачења на промену напона прага р-каналних VDMOS транзистора, фокусирајући се на деградацију и опоравак након сваког од типова напрезања. Подаци о опоравку након сваког од типова напрезања указују на описане електрохемијске процесе, који утичу на даљи рад компоненте. Дата је анализа потпраговских карактеристика. Показано је да су ефекти самозагревања израженији код претходно напрегнутих компоненти, повећавајући дисипацију снаге и термичку нестабилност. Ови увиди додатно истичу важност разумевања механизма деградације и опоравка изазване напрезањем за оптимизацију поузданости VDMOS транзистора у напредним електронским системима.</p>	M22
2	<p>Emilija Živanović, Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Igor Jovanović, Snežana Đorić-Veljković, Albena Paskaleva, Dencho Spassov, Danijel Danković, "A Reliability Investigation of VDMOS Transistors: Performance and Degradation Caused by Bias Temperature Stress", <i>Micromachines</i>, 2024, vol. 15, no. 4, p. 503.</p> <p>Овај рад описује деградацију р- и п-каналних VDMOS транзистора снаге под утицајем напонско температурних напрезања са негативном поларизацијом гејта. Спроведена експериментална истраживања обухватила су различите услове напрезања како би се анализирали утицаји напрезања на промену напона прага и пратеће ефекте. Резултати показују значајне промене напона прага и код PMOS и код NMOS компонентама услед напрезања. Рад испитује и утицај историје напрезања на ефекте самозагревања у реалним условима рада. Приказани резултати доприносе и методама за оптимизацију перформанси и радног века VDMOS транзистора снаге у практичним применама.</p>	M22
3	<p>Nikola Mitrović, Sandra Veljković, Vojkan Davidović, Snežana Đorić-Veljković, Snežana Golubović, Emilija Živanović, Zoran Prijjić, Danijel Danković, "Impact of negative bias temperature instability on p-channel power VDMOSFET used in practical applications", <i>Microelectronics Reliability</i>, 2022, vol. 138, no. 9, p. 114634.</p> <p>У раду су приказани резултати утицаја напонско температурних напрезања са негативном поларизацијом гејта као и зрачења на р-каналне VDMOS транзисторе снаге при условима појединих практичних примена, са циљем одређивања повољних услова за дужи период поузданог рада. Мерна поставка и експериментални услови су детаљно објашњени. Анализа промене напона прага транзистора услед рада са импулсним сигнаlima специфичног облика заступљеним у индустријским применама за контролу различитих мотора је приказана. Како се р-канални VDMOS транзистори снаге користе и као део резервних и помоћних напајања, где могу бити озрачени пре активирања, утицај претходног зрачења на рад компоненте је додатно анализиран.</p>	M23
4	<p>Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Vojkan Davidović, Snežana Golubović, Snežana Đorić-Veljković, Albena Paskaleva, Dencho Spassov, Srboљub Stanković, Marko Anđelković, Zoran Prijjić, Ivica Manić, Aneta Prijjić, Goran Ristić, Danijel Danković, "Response of Commercial P-Channel Power VDMOS Transistors to Ionizing Irradiation and Bias Temperature Stress", <i>Journal of Circuits Systems and Computers</i>, 2022, vol. 31, no. 18, p. 2240003.</p> <p>У овом раду су приказани и анализирани ефекти узастопне примене статичког и импулсног напонско температурног напрезања са негативном поларизацијом гејта и зрачења на комерцијалне р-каналне VDMOS транзисторе снаге. Показано је да озрачивање без примене напона на гејту има израженији ефекат на одзив на зрачење VDMOS транзистора снаге. С обзиром да је већина примена ових компонената у импулсном режиму, посебно је наглашена анализа резултата добијених током импулсног напрезања које прати озрачивање транзистора. Показано је да транзистори који су претходно озрачени са примењеним напонем на гејту узрокују промену напона прага која је израженија код статичког него код импулсног напрезања.</p>	M23
5	<p>Danijel Danković, Vojkan Davidović, Snežana Golubović, Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Snežana Đorić-Veljković, "Radiation and Annealing Related Effects in NBT Stressed P-Channel Power VDMOSFETs", <i>Microelectronics Reliability</i>, 2021, vol. 126, p. 114273.</p> <p>У овом раду су приказани ефекти зрачења и оджаривања на р-каналне VDMOS транзисторе снаге који су претходно подвргнути напонско температурном напрезању са негативном поларизацијом гејта. Циљ истраживања је да испита ефекте озрачивања на компоненте које су претходно биле подвргнуте другим типовима напрезања. Показано је да озрачивање р- каналних VDMOS транзистора снаге који су претходно били подвргнути напонско температурном напрезању са негативном поларизацијом гејта доводи до још израженије промене напона прага. Такође, показано је да термичко оджаривање при одговарајућим условима није довољно да смањи вредност промене напона прага на вредност пре напрезања, што је битан закључак за поједине примене ових компонената.</p>	M23
6	<p>Nikola Mitrović, Danijel Danković, Branislav Randelović, Zoran Prijjić, Ninoslav Stojadinović, "Modeling of Static Negative Bias Temperature Stressing in p-channel VDMOSFETs using Least Square Method", <i>Informacije MIDEM, Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials</i>, 2020, vol. 50, no. 3, pp. 205-214.</p> <p>У овом раду је приказано креирање математичког модела за нестабилности које настају као последица статичког напонско температурног напрезања са негативном поларизацијом гејта на р-каналне VDMOS транзисторе снаге. Пројектовани модел је заснован на резултатима експеримента са комерцијалним моделом транзистора IRF9520. Циљ модела је креирање еквивалентног електричног кола а онда и одговарајућим једначинама успостављање релација између услова напрезања и промене напона прага која је израчуната на основу експерименталних мерења. Вредности</p>	M23

	<p>елемената еквивалентног електричног кола су израчунати коришћењем методе најмањих квадрата. Усаглашеност модела и експерименталних резултата је анализирана.</p>	
7	<p>Danijel Danković, Nikola Mitrović, Zoran Prijčić, Ninoslav Stojadinović, "Modeling of NBTS Effects in P-Channel Power VDMOSFETs", <i>IEEE Transactions on Device and Materials Reliability</i>, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 204-213.</p> <p>У овом раду су приказане нестабилности р-каналних VDMOS транзистора снаге услед напонско температурног напрезања са негативном поларизацијом гејта са циљем моделовања ових ефеката. Пројектовано је еквивалентно коло за моделовање промене напона прага транзистора према резултатима експеримената, које је примењиво и на статичко и на импулсно напонско напрезање (које изазива мање промене напона прага у односу на статичко). С обзиром да је код импулсног напрезања приликом неактивног стања уочен делимични опоравак деградације у трајању од 25 <math>\mu</math>s, наглашена је примена кола за моделовање и овог ефекта. Резултати моделовања су упоређени са експерименталним резултатима и дати су предлози за побољшање модела.</p>	M22
8	<p>Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Vojkan Davidović, Emilija Živanović, Goran Ristić, Danijel Danković, "Successive Irradiation and Bias Temperature Stress Induced Effects on Commercial p-Channel Power VDMOS Transistors", <i>Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics</i>, 2024, vol. 37, no. 4, pp. 561-579.</p> <p>Ова студија испитује ефекте напонско температурног напрезања са негативном поларизацијом гејта на озрачене комерцијалне р-каналне VDMOS транзисторе са фокусом на допринос померању напона прага услед напрезања. Истраживање се бави критичним проблемима поузданости ових транзистора, јер промене напона прага могу значајно утицати на перформансе компоненте. Рад истражује и ефекте зрачења на карактеристике VDMOS транзистора и пружа детаљну анализу статичког и импулсног напрезања, са акцентом на сигнале напрезања везане за практичне примене. Такође, приказани су резултати са различитим фреквенцијама примењеним током импулсног напрезања. Приказано је и samozагревање ненапрезаних као и претходно озрачених узорака, мерено помоћу IC камере.</p>	M24
9	<p>Nikola Mitrović, Danijel Danković, Zoran Prijčić, Ninoslav Stojadinović, "Modeling of NBTI degradation in p-channel VDMOSFETs", <i>Journal of Applied Engineering Science</i>, 2020, vol. 18, no. 4, pp. 515-519.</p> <p>У овом раду је дат увид у поузданост р-каналних VDMOS транзистора снаге који су подвргнути напонско температурног напрезању са негативном поларизацијом гејта. Ефекти који доводе до деградације карактеристика су показани, где је промена напона прага параметар који је од највећег значаја, јер директно утиче на рад компоненте. У раду је приказано пројектовано еквивалентно електрично коло које на излазу даје идентичну вредност напона као промена вредности напона прага настала напрезањем. Све вредности елемената еквивалентног електричног кола и релације међу њима су детаљно објашњене. Резултати моделовања еквивалентним колом су детаљно анализирани.</p>	M51
10	<p>Danijel Danković, Nikola Mitrović, Sandra Veljković, Vojkan Davidović, Snežana Đorić-Veljković, Zoran Prijčić, Albena Paskaleva, Dencho Spassov, Snežana Golubović, "A Review of the Electric Circuits for NBTI Modeling in p-Channel Power VDMOSFETs", <i>Proc. of 32nd International Conference on Microelectronics (MIEL 2021)</i> - Invited paper, Niš, Serbia, September, 2021, pp. 55-62.</p> <p>У овом раду дат је преглед еквивалентних кола за моделовање статичких и импулсних нестабилности услед напонско температурног напрезања са негативном поларизацијом гејта. С обзиром да статичко напрезање доводи до значајно већих деградација у односу на импулсно, због постајања делимичног опоравка приликом импулсног напрезања, прецизност резултата добијених различитим еквивалентним колима анализирана је и за статичко и за импулсно напрезање. Конкретне вредности елемената у колу су израчунате и математички методи којом су вредности добијене су објашњени.</p>	M31
11	<p>Miloš Marjanović, Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Emilija Živanović, Aleksandar Gavrić, Danijel Danković, "Modified SPICE-Compatible Model Integrating NBTI and Self-Heating Effects for VDMOS Transistors", <i>Proc. of 11th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN 2024)</i>, Niš, Serbia, June 2024, pp. 1-6.</p> <p>Овај рад описује модификовани SPICE-компатибилни VDMOS модел транзистора који укључује ефекте напонско температурног напрезања са негативном поларизацијом гејта и ефекте samozагревања. Дата је комплетна шема кола транзистора, која укључује електрични део кола који моделира ефекте напрезања и еквивалентни термички део кола који моделира ефекат samozагревања. Параметри модела су одређени на основу техничке документације и методе фитовања на основу изведених експеримената. Резултати експеримената и симулација се међусобно подударају са максималним одступањем до 10%. Предложени модел се може користити у пројектовању и анализи параметара поузданости транзистора.</p>	M33
12	<p>Nikola Mitrović, Damian Guirado, Danijel Danković, Alberto J. Palma, Goran Ristić, Miguel A. Carvajal, "Consecutive Irradiation and Thermal Annealing of Commercial P-Channel Power VDMOSFETs", <i>Proc. of 33rd IEEE International Conference on Microelectronics (MIEL 2023)</i>, Niš, Serbia, October 2023, pp. 273- 276.</p> <p>Овај рад представља истраживање ефеката изазваних узастопним зрачењем и термичким оджаривањем два комерцијална модела р-каналних VDMOS транзистора снаге IRF9520 и IRF9530. Разматрана је промена напона прага, који је означен као најважнији параметар за дозиметријске примене, као и за процену поузданости. Поставка експеримента, као и поступци мерења, детаљно су објашњени. Деградација изазвана зрачењем узрокује повећање апсолутне вредности напона прага, док термичко оджаривање узрокује опоравак видљив кроз смањење апсолутне вредности напона прага. Дата је анализа осетљивости узорака за узастопне сесије зрачења. Резултати указују да се р-канални VDMOSFET-ови снаге могу користити у неким дозиметријским применама.</p>	M33
13	<p>Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Snežana Đorić-Veljković, Vojkan Davidović, Ivica Manić, Emilija Živanović, Srboљub Stanković, Marko Andjelković, Goran Ristić, Albena Paskaleva, Dencho Spassov, Danijel Danković, "Effects in Commercial p-Channel Power</p>	M33

VDMOS Transistors Initiated by Negative Bias Temperature Stress and Irradiation”, *Proc. of 33rd IEEE International Conference on Microelectronics (MIEL 2023)*, Niš, Serbia, October 2023, pp. 277-280.

Овај рад истражује утицај напонско температурног напрезања са негативном поларизацијом гејта на озрачене комерцијалне р-каналне VDMOS транзисторе. Анализа се бави критичним питањем поузданости транзистора, јер промена напона прага може значајно утицати на перформансе компоненте, посебно на повишеној температури и при негативној поларизацији гејта. Поред тога, анализирају се ефекти зрачења на VDMOS транзисторе снаге, наглашавајући важност разумевања ових ефеката са повезаним променама електричних параметара. Рад представља свеобухватну анализу напрезања, са посебним фокусом на сигнале напрезања који се срећу у практичним применама. Експериментални поступак укључује зрачење и напонско температурно напрезање. Резултати анализирају и утицај промене параметара на поузданост електричних кола која укључују р-каналне VDMOS транзисторе.

Nikola Mitrović, Sandra Veljković, Danijel Danković, "Impact of low magnetic field on NBT stressed p-channel power VDMOSFETs", *Proc. of 16th International Conference on Applied Electromagnetics (ПЕЕС 2023)*, Niš, Serbia, August 2023, pp. 34-37.

- 14 Овај рад представља истраживање утицаја магнетног поља на комерцијалне IRF9520 р-каналне VDMOS транзисторе. Анализирани уређаји су пажљиво подвргнути напонско температурном напрезању са негативном поларизацијом гејта. Утицај магнетног поља се види кроз промену напона прага узорака, добијеног из мерених преносних карактеристика. Магнетно поље утиче и на друге параметре узорака, што се може видети са преносне карактеристике. Узорци, магнетно поље и резултати су објашњени у раду.

M33

Nikola Mitrović, Sandra Veljković, Vojkan Davidović, Snežana Đorić-Veljković, Snežana Golubović, Emilija Živanović, Zoran Prijjić, Danijel Danković, "Impact of negative bias temperature instability on p-channel power VDMOSFET used in practical applications", *Proc. of 33rd European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis (ESREF 2022)*, Berlin, Germany, September, 2022, pp. 1-5.

- 15 У раду су приказани резултати утицаја напонско температурних напрезања са негативном поларизацијом гејта као и зрачења на р-каналне VDMOS транзисторе снаге при условима појединих практичних примена, са циљем одређивања повољних услова за дужи период поузданог рада. Мерна поставка и експериментални услови су детаљно објашњени. Анализа промене напона прага транзистора услед рада са импулсним сигнаlima специфичног облика заступљеним у индустријским применама за контролу различитих мотора је приказана. Како се р-канални VDMOS транзистори снаге користе и као део резервних и помоћних напајања, где могу бити озрачени пре активирања, утицај претходног зрачења на рад компоненте је додатно анализиран.

M33

Danijel Danković, Vojkan Davidović, Snežana Golubović, Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Snežana Đorić-Veljković, "Radiation and Annealing Related Effects in NBT Stressed P-Channel Power VDMOSFETs", *Proc. of 32nd European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis (ESREF 2021)*, Bordeaux, France, October 2021, vol. 126, p. 114273.

- 16 У овом раду су приказани ефекти зрачења и оджаривања на р-каналне VDMOS транзисторе снаге који су претходно подвргнути напонско температурном напрезању са негативном поларизацијом гејта. Циљ истраживања је да испита ефекте озрачивања на компоненте које су претходно биле подвргнуте другим типовима напрезања. Показано је да озрачивање р- каналних VDMOS транзистора снаге који су претходно били подвргнути напонско температурном напрезању са негативном поларизацијом гејта доводи до још израженије промене напона прага. Такође, показано је да термичко оджаривање при одговарајућим условима није довољно да смањи вредност промене напона прага на вредност пре напрезања, што је битан закључак за поједине примене ових компонената.

M33

Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Snežana Đorić-Veljković, Vojkan Davidović, Ivica Manić, Snežana Golubović, Albena Paskaleva, Dencho Spassov, Zoran Prijjić, Aneta Prijjić, Srboljub Stanković, Danijel Danković, "Effects of Bias Temperature Stress and Irradiation in Commercial p-Channel Power VDMOS Transistors", *Proc. of 32nd International Conference on Microelectronics (MIEL 2021)*, Niš, Serbia, September 2021, pp. 345-350.

- 17 У овом раду су приказани и анализирани ефекти узастопне примене статичког и импулсног напонско температурног напрезања са негативном поларизацијом гејта и зрачења на комерцијалне р-каналне VDMOS транзисторе снаге. Показано је да озрачивање без примене напона на гејту има израженији ефекат на одзив на зрачење VDMOS транзистора снаге. Показано је да транзистори који су претходно озрачени са примењеним напонем на гејту узрокују промену напона прага која је израженија код статичког него год импулсног напрезања.

M33

Nikola Mitrović, Danijel Danković, Zoran Prijjić, Ninoslav Stojadinović, "Modelling of  $\Delta V_T$  in NBT Stressed P-Channel Power VDMOSFETs", *Proc. of 31st International Conference on Microelectronics (MIEL 2019)*, Niš, Serbia, September 2019, pp. 177-180.

- 18 У овом раду је приказан процес пројектовања еквивалентног електричног кола за моделовање промене напона прага изазване напонско температурним напрезањем р-каналних VDMOS транзистора снаге са негативном поларизацијом гејта. Сви елементи кола су детаљно објашњени и еквивалентно коло је тестирано коришћењем софтверског алата *LTspice* за статичко и за импулсно напрезање. Резултати модела су упоређени са експерименталним резултатима и прецизност пројектованог кола за моделовање је детаљно анализирана.

M33

Sandra Veljković, Nikola Mitrović, "Elektrohemijski procesi odgovorni za nestabilnosti VDMOS tranzistora snage usled NBT naprezanja", *Zbornik radova 15th Student Projects Conference, IEEEESTEC 2022*, Niš, Srbija, Novembar 2022, pp. 293-297.

- 19 У оквиру овог рада разматрани су механизми формирања захваћеног позитивног наелектрисања у оксиду гејта и површинских стања који доводе до промене напона прага код IRF9520 VDMOS комерцијалних транзистора снаге при напонско температурном напрезању са негативном поларизацијом гејта. Приказан је процес експеримента и експериментално добијене струјно-напонске карактеристике. На основу ових карактеристика је прорачуната и

M63

праћена промена напона прага и дата је њена анализа.

- 20 Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Snežana Đorić-Veljković, Vojkan Davidović, Snežana Golubović, Danijel Danković, "Efekti zračenja i odžarivanja kod naponsko temperaturno naprežanih p-kanalnih VDMOS tranzistora snage", *Zbornik radova 65. konferencije Društva za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku - ETRAN, Etno selo Stanišići, Republika Srpska, Septembar, 2021, pp. 321-325.* M63
- 21 Nikola Mitrović, Danijel Danković, Zoran Prijić, Ninoslav Stojadinović, "Modelovanje promena napona прага p-kanalnih VDMOS tranzistora snage tokom NBT naprežanja", *Zbornik radova 64. konferencije Društva za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku - ETRAN, Niš, Septembar 2020, pp. 490-494.* M63
- У раду су приказани ефекти зрачења и оджаривања код р-каналних VDMOS транзистора снаге који су претходно били изложени напонско температурном напрезању током различитих унапред тачно утврђених временских периода. Примећено је да је промена напона прага током озрачивања више изражена код компонената које су биле изложене напонско температурном напрезању негативном поларизацијом гејта у дужем временском периоду, што може бити од значаја у случају када су компоненте апсорбовале високе укупне дозе.
- У овом раду приказана је анализа експерименталних резултата нестабилности напона прага р-каналних VDMOS транзистора снаге IRF9520 подвргнутих напонско температурном напрезању са негативном поларизацијом гејта, док је главни део истраживања моделовање промене напона прага према добијеним експерименталним резултатима. Осмишљено је и приказано елементарно коло за моделовање и статичког и импулсног напрезања транзистора, као и прорачун вредности кључних елемената кола. На крају је дата упоредна анализа експерименталних и моделованих резултата.

### ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА

На основу Извештаја Комисије за оцену испуњености критеријума за покретање поступка за пријаву докторске дисертације, покретање поступка за оцену и одбрану докторске дисертације и изборе у звања наставника на Електронском факултету у Нишу, бр. 07/03-011/25-001 од 28.04.2025. године, установљено је да кандидат мастер инжењер Никола Митровић **ИСПУЊАВА** све предвиђене критеријуме за покретање поступка за оцену и одбрану докторске дисертације. Кандидат мастер инжењер Никола Митровић доставио је Електронском факултету у Нишу доказ да је првопотписани аутор рада објављеног у часопису са SCI листе, као и да је првопотписани аутор рада објављеног у часопису који издаје факултет Универзитета у Нишу.

### ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

Моделовање промена напона прага р-каналних VDMOS транзистора снаге изазваних различитим типовима напрезања има значајан допринос на пољу анализе поузданости ових компонената. Низ еквивалентних електричних кола за моделовање која су представљена у овој дисертацији дају оригинални допринос моделовању описаних ефеката. Дисертација се састоји од увода, четири поглавља, закључка и пописа коришћене литературе. Садржи и кратак резиме на српском и енглеском језику, попис слика, попис табела, кратку биографију и изјаве аутора. Дисертација је прецизно написана, а изложена материја има логичан ток разматрања.

У уводном поглављу описан је предмет истраживања и приказани су различити типови моделовања. Такође, дат је преглед литературе и опис досадашњих проучавања са циљем бољег позиционирања предмета истраживања приказаног у оквиру докторске дисертације у актуелне токове истраживања.

Друго поглавље описује моделовање промене напона прага р-каналних VDMOS транзистора снаге настале под утицајем статичког напрезања. Поглавље садржи детаљан опис експерименталне поставке за убрзано статичко напонско температурно напрезање, експерименталних узорака, као и процедуру мерења током експеримената. Предложена су два различита еквивалентна електрична кола која врше компактно моделовање, где је коришћењем методе најмањих квадрата направљена математичка веза између вредности елемената кола за моделовање и експерименталних резултата. Приказано је поређење експерименталних и моделованих резултата.

У оквиру трећег поглавља описано је моделовање промене напона прага р-каналних VDMOS транзистора снаге настале под утицајем импулсног напонско температурног напрезања. Приказано је проширење експерименталне поставке из другог поглавља како би се извршили експерименти са убрзаним импулсним напонско температурним напрезањем. Узевши у обзир реверзибилну компоненту деградације која је присутна приликом импулсног напонско температурног напрезања, пројектовано је неколико еквивалентних електричних кола. За израчунавање вредности елемената еквивалентних електричних кола према експерименталним резултатима искоришћена је Лагранжова теорема. Посебна пажња посвећена је облицима импулсних сигнала који се срећу у практичним применама.

Четврто поглавље садржи опис моделовања промене напона прага р-каналних VDMOS транзистора

снаге под утицајем зрачења. Предложена су еквивалентна кола која моделују промену насталу озрачивањем, као и промену насталу потоњим третманима експерименталних узорака. Такође, посебан осврт је дат на поређење ефеката уочених код VDMOS транзистора са ефектима уоченим код других компонената, као и на аутоматизацију мерне методе и методе за одређивање вредности напона прага коришћењем Python скрипти.

У склопу петог поглавља приказано је моделовање промене напона прага р-каналних VDMOS транзистора снаге настале под утицајем магнетног поља. Описана је експериментална поставка и дат је предлог еквивалентног електричног кола за моделовање. Анализиран је и утицај оријентација и вредности магнетних индукција какве се срећу у практичним применама р-каналних VDMOS транзистора снаге. Приказано је еквивалентно коло које може да врши моделовање промене напона прага р-каналних VDMOS транзистора снаге изазваних различитим типовима напрезања. Дата је основна блок шема неуронске мреже која се може искористити за даље унапређивање модела.

У закључку је извршено сумирање приказаних резултата истраживања. Наведени су резултати остварени у сваком од поглавља и предложени су неки од могућих даљих праваца истраживања.

### **ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације *(до 200 речи)*

Кандидат мастер инж. Никола Митровић је успешно остварио све постављене циљеве из пријаве докторске дисертације. У склопу докторске дисертације приказан је и анализиран низ еквивалентних електричних кола за моделовање промене напона прага р-каналних VDMOS транзистора снаге изазване различитим типовима напрезања. Описана кола моделују промену напона прага насталу статичким напонско температурним напрезањем, импулсним напонско температурним напрезањем, озрачивањем, дејством магнетног поља, као и комбинацијама неких од ових типова напрезања. Основу моделовања су чинили експериментални резултати. У већини експеримената узорци су били комерцијални р-канални VDMOS транзистори снаге IRF9520, али су, ради универзалности пројектованих модела коришћени и узорци IRF9530, а за поједине моделе и р-канални MOS транзистори из две различите серије комерцијалног интегрисаног кола CD4007. Дати су предлози имплементације пројектованих модела у софтверске алате за пројектовање електричних кола и система.

Једна од главних карактеристика пројектованог модела је релативно једноставна могућност проширења модела односно увођења зависности промене напона прага изазване другачијим типом напрезања (температуре испод нуле, другачији типови зрачења, магнетног поља, напрезање електричним пољем и слично). Баш због тога, представљено моделовање не представља затворен поступак, већ процес који је могуће константно унапређивати.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације *(до 200 речи)*

Према оцени Комисије, најзначајнији доприноси ове докторске дисертације постигнути су:

- Развијена и симулацијом потврђена еквивалентна електрична кола која описују промену напона прага за различите услове напонско температурног напрезања компоненте;
- Установљена процедура за одређивање вредносних параметара елемената развијеног еквивалентног електричног кола на основу техничке документације произвођача и експерименталних мерења;
- Симулацијом потврђен рад пројектованих електричних кола која описују промене напона прага усаглашен са експерименталним резултатима;
- Дефинисан модел за имплементацију у софтверске алате који одређују додатне параметре при одговарајућим радним условима за компоненту;

Резултати добијени применом савремених научних принципа и методологије научног рада представљају оригинални допринос анализи поузданости ових компонената и решавању сложених проблема моделовања који прате процесе пројектовања електричних кола. Поред тога, вредновање научног доприноса огледа се у већем броју објављених научних радова који су цитирани у дисертацији, а њихов значај представља практична применљивост постигнутих резултата.

Оцена самосталности научног рада кандидата *(до 100 речи)*

Кандидат мастер инж. Никола Митровић је показао висок ниво посвећености и самосталности током научноистраживачког рада и током рада на докторској дисертацији. Докторска дисертација садржи све неопходне елементе научног истраживања. Резултати истраживања су објављени у релевантним међународним и домаћим научним публикацијама, као и у самој докторској дисертацији. Провером докторске дисертације на плагијаризам од стране Универзитета у Нишу потврђена је њена оригиналност као и самосталност научног рада кандидата.

### **ЗАКЉУЧАК *(до 100 речи)***

Прегледом докторске дисертације кандидата мастер инж. Николе Митровића, утврђено је да докторска дисертација садржи оригиналне научне резултате који имају и научни и практични допринос са аспекта инжењерске примене.

На основу свега наведеног, Комисија закључује да су испуњени услови за јавну одбрану ове докторске дисертације. Комисија предлаже Наставно-научном већу Електронског факултета, Универзитета у Нишу, да се кандидату мастер инж. Николи Митровићу одобри јавна одбрана докторске дисертације под насловом „Моделовање промена напона прага р-каналних VDMOS транзистора снаге изазваних различитим типовима напрезања“.





### КОМИСИЈА

Број одлуке НСВ о именовану Комисије

НСВ број 820-01-3/25-36

Датум именовања Комисије

13.06.2025. године

Р. бр.	Име и презиме, звање	Потпис
1.	Др Зоран Пријић Микроелектроника и микросистеми (Научна област)	председник 
	Универзитет у Нишу, Електронски факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
2.	Др Ивица Манић Микроелектроника и микросистеми (Научна област)	члан 
	Универзитет у Нишу, Електронски факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
3.	Др Горан Ристић Примењена физика (Научна област)	члан 
	Универзитет у Нишу, Електронски факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
4.	Др Снежана Ђорић-Вељковић Примењена физика (Научна област)	члан 
	Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
5.	Др Данијел Данковић Микроелектроника и микросистеми (Научна област)	ментор, члан 
	Универзитет у Нишу, Електронски факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	

Датум и место:

25.06.2025. у Нишу