

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Спасоја Мирића

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета број 5029/13-3 од 20.09.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Спасоја Мирића под насловом

„Метод за рачунарски ефикасну симулацију енергетских претварача заснован на моделу стања и суперпозицији прекидачких ефеката“

односно

„A method for computationally efficient simulation of power electronic converters based on the state space model and superposition of switching effects“

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

- 23.09.2013. Кандидат Спасоје Мирић је уписао докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.
- 30.03.2017. Кандидат Спасоје Мирић је пријавио тему за израду докторске дисертације под насловом „Метод за рачунарски ефикасну симулацију енергетских претварача заснован на моделу стања и суперпозицији прекидачких ефеката“. За ментора је предложен др Предраг Пејовић, редовни професор Електротехничког факултета у Београду.
- 04.04.2017. Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно –научном већу на усвајање.
- 30.05.2017. На наставку 813. седнице, Наставно-научно веће се изјаснило да проф. др Предраг Пејовић испуњава услове да буде предложен за ментора студенту докторских студија Спасоју Мирићу.

- 20.06.2017. Наставно-научно веће је именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу:
1. др Слободан Вукосавић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду,
 2. др Жарко Јанда, виши научни сарадник, Електротехнички институт Никола Тесла,
 3. др Драган Милићев, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду
- (Одлука бр. 5029/13-1 од 20.6.2017.године).
- 05.07.2017. Кандидат је на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације (докторски испит) добио оцену „задовољио“.
- 10.10.2017. Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5029/13-2 од 10.10.2017. године).
- 30.10.2017. Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (број 61206-4297/2-17 од 30.10.2017. године).
- 30.08.2018. Кандидат Спасоје Мирић је предао докторску дисертацију на преглед и оцену.
- 04.09.2018. Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.
- 20.09.2018. Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду на седници бр. 831 од 11.09.2018. именovalo је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу:
1. др Предраг Пејовић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду,
 2. др Слободан Вукосавић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду,
 3. др Жарко Јанда, виши научни сарадник, Електротехнички институт Никола Тесла
- (Одлука бр. 5029/13-3 од 20.9.2018. године).

1.2. Научна област дисертације

Дисертација кандидата Спасоја Мирића припада научној области Техничке науке – Електротехника, ужа научна област Енергетска електроника. За ментора дисертације одређен је др Предраг Пејовић, редовни професор на Универзитету у Београду – Електротехнички факултет, због истакнутих доприноса у ужој области Енергетска електроника, а посебно у симулацијама прекидачких конвертора, којом се бави предметна дисертација.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Спасоје Мирић је рођен 29.09.1989. године у Београду, од оца Милорада и мајке Верице. Основну школу је завршио у Белановици, а средњу школу у Лазаревцу. Био је одличан ученик. У основној школи је био носилац Вукове дипломе, а у средњој школи је био

Ћак генерације и добитник награде принца Александра Карађорђевића. Учествовао је на републичком такмичењу из Енергетске електронике и добио награду за освојено прво место.

На Електротехнички факултет у Београду уписао се као редован студент 2008. године. Дипломирао је септембра 2012. године на модулу за Енергетске претвараче и погоне. Остварио је одличну средњу оцену у току основних студија (9.62), а на дипломском је добио оцену 10.

Од почетка његових студија показао је интерес према практичном, стручном и научном раду што је било запажено од стране наставника, па је већ на другој години основних студија (2009. година) постао студент-сарадник (демонстратор) при лабораторији за Основе електротехнике. Његов рад је позитивно оцењен па је већ после годину дана поста главни демонстратор, коју дужност је обављао до 2016. године.

Школске 2013/2014 године је уписан као редован студент на докторске студије на ЕТФ-у у Београду, на модулу Енергетски претварачи и погони. У току прве две године докторских студија положио је све испите предвиђене наставним планом на докторским студијама. Од априла 2014. године, носилац је стипендије Министарства просвете, науке и технолошког развоја за докторске студије. Активно је укључен у пројекат ТР33020 истог Министарства под називом “Повећање енергетске ефикасности хидроелектрана и термоелектрана Електропривреде Србије развојем технологије и уређаја енергетске електронике за регулацију и аутоматизацију”.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на српском језику и има 169 страна. Подељена је у 6 поглавља: 1. Увод; 2. Анализа кола енергетске електронике; 3. Формирање континуалног, усредњеног, нелинеарног динамичког модела; 4. Рачунање таласности; 5. Примена метода; 6. Закључак. Литература садржи 72 референце које детаљно приказују стање у области.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље покрива општи увод у енергетску електронику и њену примену и указује на важност симулација у процесу дизајна прекидачких конвертора. Кроз примере су дати основни принципи функционисања претварача и терминологија која се користи. Линеарни и нелинеарни елементи који се користе у електричним шемама за моделовање прекидачких конвертора, као и њихове иделизоване струјно-напонске карактеристике су сумирани. Дати су таласни облици напона и струја типични за прекидачке конверторе, као и режими рада. На крају поглавља, сумирани су најмаркантнији алати за симулацију електричних кола, као и симулациони алати специјализовани за кола енергетске електронике.

Друго поглавље анализира постојеће моделе конвертора и њихову примену. Већи део поглавља чини дискусија усредњених модела конвертора. Илустровано је усредњавање на нивоу електричне шеме конвертора, што је претеча усредњавања у простору стања. Усредњавање у простору стања је такође илустровано једноставним примером. Усредњавање у простору стања је формулисано са мотивацијом да се користи за дизајн регулатора конвертора. Овде је направљен кратак преглед резултата који се могу добити употребом само усредњеног модела конвертора. У наставку је уведена принципска идеја предложеног метода и илустровани резултати који се могу добити у анализи конвертора.

Треће поглавље приказује извођење нелинеарног динамичког модела стања за произвољан број прекидачких стања конвертора. Као прво, формулисан је општи нелинеарни динамички модел, где је уведена неопходна претпоставка према којој функције које су предмет усредњавања треба да су споро променљиве на интервалу периоде прекидања конвертора. У осталом делу поглавља, акценат је на моделу стања прекидачког конвертора. Односно, свако прекидачко стање конвертора је моделовано једначинама стања. Користећи се овим једначинама, изведен је усредњени нелинеарни динамички модел конвертора у простору стања. Треба посебно нагласити да је ово извођење спроведено за континуални режим рада конвертора. Усредњавање у простору стања у дисконтинуалном режиму рада је дискутовано и показано на који начин га је потребно спровести како би се елиминисала грешка модела. На крају поглавља, изведено је решење једначине стања и дато у облику диференчне једначине, која се директно може имплементирати у програму.

Четврто поглавље представља наставак на претходно, тако што се сада рачуна високофреквентна компонента струје калема (таласност), користећи се само усредњеним таласним облицима напона и струја у конвертору. Рачунање таласности је изведено за различите режиме рада конвертора, континуални и дисконтинуални. Додатно, за режиме рада где се контролише струја калема, као на пример ограничење вршне вредности струје и контрола струје задавањем хистерезиса. Обрађен је прелазак између поменутих режима рада. На крају поглавља, дат је алгоритам симулације који укључује и претходно поглавље, у коме се рачунају усредњене вредности напона и струја у конвертору.

Пето поглавље приказује примену метода кроз практичне примере. Предложени метод се може применити за одређивање усредњених таласних облика напона и струја у конвертору, што је од интереса када се пројектује управљање, или за одређивање тренутних вредности напона и струја. Први пример који је анализиран је симулација транзијентна укључења, где конвертор пролази кроз три различита режима рада, и због тога је овај пример јако погодан за верификацију метода. У овом примеру, примена метода је детаљно приказана. Као прво, формиран је усредњени нелинеарни динамички модел конвертора и усредњене матрице. Такође, приказан је и излазни вектор, који садржи неопходне величине за функционисање метода (напоне на калему при укљученом и искљученом прекидачу, који се користе за рачунање амплитуде таласности струје калема). Дате су једначине стања које моделују управљачки део конвертора (регулатор). Дискутовани су нумеричка интеграција једначина стања као и промена режима рада конвертора. Приказани су резултати симулације, прво усредњени таласни облици, струје калема и осталих променљивих, као што су излазни напон, нормализована времена укључења, напони на калему и неке од променљивих у регулатору. На крају су дати резултати рачунања таласности струје калема као и суперпозиција таласности струје калема и усредњене вредности струје, што даје тренутну вредност струје калема. У другом примеру који је приказан, резултати симулације су упоређени са мерењима. Наиме, симулиран је одскочни одзив струјног регулатора у полу-мосту. Описани су модулатор и хардвер као и коришћена контролна плоча. Дати су параметри система и резултати симулације система. У следећем примеру, описана је примена предложеног метода за дизајн улазног филтра за електромагнетску интерференцију (ЕМИ филтар). За пројектовање ЕМИ филтра, потребно је одредити тренутну вредност струје калема у устаљеном стању, што је учињено предложеним методом. Онда је дата топологија ЕМИ филтра и процедура за одабир вредности параметара за сваку од компоненти филтра. Слична процедура за пројектовање филтра је примењена и у следећем примеру, у коме је анализиран инвертор са контролом струје задавањем хистерезиса. После примера који детаљно илуструју примену метода, анализирано је време трајања симулација предложеног метода и упоређено је са временом симулација програма Ngspice. Предложени метод је иницијално имплементиран у програмском језику Python. Како би се смањило време симулације, метод је имплементиран и у програмском језику Julia и упоређена су времена симулације између ове две имплементације.

Шесто поглавље даје сумирни преглед дисертације. Изведен је закључак да се предложени метод за симулацију кола енергетске електронике може успешно применити у анализи транзијентата прекидачких конвертора, анализи усредњених таласних облика приликом дизајна регулатора као и у анализи где је потребно одредити високофреквентне компоненте напона и струја. Предложеним методом постиже се стабилнија симулација и време симулације је краће.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата Спасоја Мирића у ужем смислу припада области моделовање и симулације у енергетској електроници. Моделовање прекидачких конвертора је јако важно, како због анализе и разумевања начина рада конвертора, тако и због синтезе и употребе модела за пројектовање конвертора. Ово потврђује велики број радова који се бави моделовањем прекидачких конвертора. Анализа и синтеза прекидачких конвертора подразумева симулацију модела конвертора, па су према томе, симулације скоро нераздвојан део моделовања. У овој дисертацији, моделовање конвертора је базирано на усредњеном моделу конвертора. Конвертор представљен усредњеним моделом је описан сетом линеарних диференцијалних једначина, које су јако погодне за нумеричку симулацију. Али, ове једначине не могу предвидети режиме рада прекидачког конвертора, па се не могу директно користити за симулације. У литератури, усредњени модели конвертора су углавном коришћени за дизајн регулатора. У овој дисертацији, приказан је метод којим се могу симулирати прекидачки конвертори, базирани на усредњеном моделу. На овакав начин добија се стабилна и бржа симулација, јер је потребно само нумерички решити линеарну диференцијалну једначину. Савременост предложеног метода се огледа у његовој примени. У овом раду су дати примери у коме су симулирани транзијенти у прекидачким конверторима као и симулације устаљених стања које су коришћене за дизајн улазног филтра прекидачког конвертора.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је истражио постојећу релевантну литературу и коректно навео 72 референце које су од значаја за тему којом се бави дисертација. Литература обухвата широк опсег доступних публикација, од старијих до савремених. Литература укључује и рад из часописа међународног значаја изузетних вредности категорије M21a, на коме је кандидат први аутор, а који је директно проистекао из рада на дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састојала се у следећим активностима:

- Препознавање и формулација проблема: симулација конвертора базирана на усредњеном моделу.
- Преглед литературе у вези са постојећим методама за анализу прекидачких конвертора и потрага за евентуалним решењима у литератури.
- Формирање полазних хипотеза и формулација могућих решења.
- Потврда хипотеза резултатима симулација.
- Упоредивање резултата добијених предложеним методом са постојећим методама симулације.

- Документовање нових идеја и њихова провера.
- Генерализација и математички прецизна формулација предложеног метода.

Примењена методологија у потпуности одговара стандардима научно-истраживачког рада и у сагласности је са постављеним циљевима дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Докторска дисертација је иницирана недостатком употребе усредњених модела прекидачких конвертора у симулацијама (анализи и синтези конвертора). Усредњени модели су углавном коришћени за анализу конвертора приликом дизајна управљања. Резултат тезе је метод који се може користити у анализи и синтези прекидачких конвертора: Акценат је на анализи транзијената, где се директно могу добити усредњени таласни облици напона и струја, а по потреби могу се добити и стварне вредности напона и струја у конвертору. Резултати се могу користити за анализу конвертора, димензионисање компоненти, дизајн регулатора конвертора, дизајн филтра. Резултати добијени кроз примере и приказани у тези додатно илуструју могућности и премину предложеног метода.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу прегледане дисертације Комисија процењује да је кандидат Спасоје Мирић показао способност за самосталан научно-истраживачки рад почевши од систематичног прегледа доступне литературе, разумевања и примене теоријских и практичних концепата, дефинисања проблема, развоја нових метода за решавање постављеног проблема као и анализе добијених резултата. Начин на који је написана дисертација и доприноси који су у њој представљени указују на зрелост кандидата за самосталан научно-истраживачки рад. Резултате својих истраживања кандидат је објавио у часопису од међународног значаја.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације су следећи:

- Дат је преглед постојећих модела прекидачких конвертора, као и метода и програма који се најчешће користе у анализи и синтези конвертора.
- Дата је математичка формулација усредњеног модела прекидачког конвертора. Приказан је метод за одређивање усредњеног модела прекидачког конвертора користећи се усрењавањем у простору стања, који важи у свим предвиђеним режимима рада конвертора.
- Дат је метод за рачунање високофреквентних компоненти струје калема користећи се само усредњеним таласним облицима напона и струја у конвертору. Приказан је алгоритам за симулацију који користи овај метод и формиран усредњени модел конвертора.
- Примена метода је детаљно приказана на неколико практичних примера. Добијени резултати показују тачност метода и његову ефикасност у смислу малог времена симулације.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених циљева истраживања, полазних претпоставки и остварених резултата Комисија може да констатује да је кандидат успешно одговорио на сва битна питања из проблематике којом се бави дисертација.

Према постојећим научним знањима, употреба усредњених модела прекидачких конвертора у симулацијама до сада није практикована, зато што не постоји генерализовани метод који ће да одреди прелазак између режима рада конвертора. Научни доприноси наведени у тачки 4.1. представљају унапређење научних знања и тако омогућавају и илуструју примену усредњених модела конвертора у симулацијама. Додатно, високофреквентне компоненте напона и струја се могу одреди употребом само њихових усредњених представника. Метод је математички формулисан и документован у тези. Његова примена је приказана кроз низ практичних примера, чији резултати су верификовани поређењем са резултатима из литературе.

Комисија констатује да су научни доприноси остварени у дисертацији објављени у научном часопису међународног значаја врхунске категорије M21a.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је аутор једног рада који је публикован у часопису међународног значаја врхунске категорије M21a, који је проистекао из рада на дисертацији. Поред тога, кандидат је публиковао још четири рада у оквиру докторских студија.

Списак публикованих радова у којима су презентовани научни доприноси кандидата Спасоје Мирића настали као резултат рада кандидата на Електротехничком факултету Универзитета у Београду:

Категорија M21a:

1. **Mirić S.**, Pejović P.: A Method for Computer-Aided Analysis of Differential Mode Input Filters, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 64, Issue 6, 2017, pp. 4741–4750, DOI: 10.1109/TIE.2017.2674584, ISSN: 0278-0046, IF(2017)=7,050.

Категорија M23:

2. **Mirić S.**, Nedeljković M.: The Solar Photovoltaic Panel Simulator, Rev. Roum. Sci. Techn. Électrotechn. et Énerg., Vol 60, No 3, 2015, pp. 273–281, ISSN: 0035-4066, IF(2015)=0,524.

Категорија M33:

3. Mihailović I., **Mirić S.**, Bebić M., Jeftenić B.: Drive in the Loop Simulation of Electrical Drives, Proceedings of the 17th International Symposium on Power Electronics, Novi Sad 2013, ISBN: 978-86-7892-551-1.
4. Janda Ž., **Mirić S.**, Dragosavac J., Arnautović D., Radojčić B., Pavlović J.: Identification of Synchronous Generator and Excitation system Transfer Functions for Q-V Control Purpose, Proceedings of the International Conference on Power Plants, Zlatibor 2014, ISSN 978-86-7877-024-1.

Категорија M63:

5. **Mirić S.**, Pejović P.: Simulacija rada trofaznog diodnog ispravljača sa rednim aktivnim filtrom na izlazu, koristeći novu simulacionu metodu za kola energetske elektronike, Zbornik radova sa 59. konferencije za elektrotehniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN, Srebrno jezero 2015, ISBN 978-86-80509-71-6.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Спасоја Мирића под насловом „Метод за рачунарски ефикасну симулацију енергетских претварача заснован на моделу стања и суперпозицији прекидачких ефеката“, односно „A method for computationally efficient simulation of power electronic converters based on the state space model and superposition of switching effects“ је написана на српском језику. Дисертација је у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У дисертацији је представљен нов метод за симулацију прекидачких конвертора. Метод омогућава симулацију прекидачких конвертора, базирану на усредњеном моделу, што убрзава симулацију и повећава њену стабилност. Метод је математички формулисан и дати су алгоритми симулације. Метод је имплементиран и примењен на неколико практичних примера, који су верификовани поређењем са резултатима из литературе. Доприноси проистекли из ове дисертације имају теоријски значај и примену. Током израде докторске дисертације кандидат је показао несумњиву способност за самосталан научно-истраживачки рад.

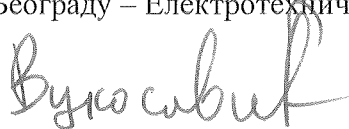
У складу са напред изнетим, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „Метод за рачунарски ефикасну симулацију енергетских претварача заснован на моделу стања и суперпозицији прекидачких ефеката“, односно „A method for computationally efficient simulation of power electronic converters based on the state space model and superposition of switching effects“ кандидата Спасоја Мирића прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да се после њеног усвајања одобри јавна усмена одбрана дисертације.

У Београду, 26.09.2018. године,

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Предраг Пејовић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Слободан Вукосавић, редовни професор
дописни члан САНУ
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жарко Јанда, виши научни сарадник
Електротехнички институт Никола Тесла