

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Марка Росића за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5022/08-1 од 29.4.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Марка Росића** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **Редукција таласности код директне контроле момента асинхроног мотора применом компаратора са више нивоа**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Марко Росић је рођен у Прибоју 31.07.1984. где је завршио основну и средњу електротехничку школу смер Енергетика. У току школовања више пута награђиван за постигнуте успехе на такмичењима из области електротехнике.

После завршене средње школе 2003. године уписује Технички факултет у Чачку, смер Електротехника одсек Електроенергетика. У петој години студија ангажован је на факултету као студент демонстратор за извођење вежби из предмета Основе електротехнике. Дипломски рад под називом: "Лабораторијски практикум: Коришћење контакторске опреме у погону асинхроног мотора" одбранио је у септембру 2008. са оценом 10 (просечна оцена у току студија 9,34). Више пута је награђиван за најуспешнијег студента и најуспешнијег дипломираног студента на смеру Електротехника.

По завршетку основних студија, од октобра 2008. год., почиње да ради на Техничком Факултету у Чачку као сарадник у настави. У новембру 2009. године изабран је у звање асистент на Техничком факултету у Чачку (сада Факултет Техничких наука Чачак) где и данас ради.

Студент је докторских студија на Електротехничком факултету у Београду модул Енергетски претварачи и погони, од 2008. Године.

Учествовао је на три пројекта финансирана од стране Министарства за просвету, науку и технолошки развој, од којих је један пројекат у току. Учесник је међународног пројекта у својству Researcher and Administrative Officer на пројекту: "543667-TEMPUS-1-2013-1-RS-TEMPUS-JPHES Building Network of Remote Labs for strengthening university-secondary

vocational schools collaboration", supported by The Education, Audiovisual and Culture Executive Agency (EACEA), координатор пројекта проф. др Радојка Крнета, за период 2013-2016.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је уписан на докторске студије 10.12.2012. на студијски програм (180 ЕСПБ) Енергетски претварачи и погони са бројем индекса 5022. Списак десет (10) положених испита кандидата са просечном оценом 10.00 и збиром ЕСПБ осамдесет седам (87) дат је у Табели 1.

Табела 1. Списак положених испита кандидата

	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ	Датум полагања	Потписао наставник
1	Одабрана поглавља из електромоторних погона	10	9	10.01.2014.	Бебић Милан
2	Вишемоторни електрични погони	10	9	10.01.2014.	Бебић Милан
3	Микропроцесорско управљање електромоторним погонима	10	9	30.06.2011.	Вукосавић Слободан
4	Енергетски претварачи	10	9	11.02.2011.	Недељковић Милош
5	Електромагнетни прелазни процеси у електроенергетским системима	10	9	28.09.2010.	Савић Милан
6	Примена програмских алата у електроенергетици	10	9	10.04.2010.	Стојковић Златан
7	Увод у научни рад	10	6	10.05.2010.	Поповић Зоран
8	Електрични сервомотори	10	9	16.09.2009.	Лазаревић Зоран
9	Општа теорија електричних машина	10	9	15.09.2009.	Петровић Драган
10	Прелазне појаве у електричним машинама	10	9	09.09.2009.	Петровић Драган

Списак научних и истраживачких обавеза са збиром ЕСПБ тридесет три (33) које је кандидат обавио дат је у табели 2.

Табела 2. Списак обављених научно-истраживачких обавеза кандидата

Обавеза	ЕСПБ	Тип обавезе	Датум
Студијски истраживачки рад II	15	студијски истраживачки рад II	28.09.2010.
Научно стручни рад	3	научно стручни рад	28.09.2010.
Студијски истраживачки рад I	15	студијски истраживачки рад I	09.09.2009.

Кандидат је објавио тридесет два (32) **рада** груписаних по категоријама, од чега један (1) са импакт фактором (списак радова у Прилогу 1). Награђен је за „Најбољи рад младог истраживача“ на конференцији ЕТРАН 2013. Коаутор је два техничка решења, два уџбеника и једног помоћног уџбеника. Кандидат је ангажован у настави на Факултету техничких наука у Чачку, Универзитета у Крагујевцу, на предметима Електричне машине 1 и 2, Регулација електромоторних погона, Релејна заштита и Пројектовање помоћу рачунара у енергетици.

Јавном усменом одбраном предложене теме докторске дисертације, која је одржана 20.5.2015. **задовољава** потребне услове за рад на предложеној теми. Чланови комисије су били проф. др Слободан Вукосавић, Универзитет у Београду- Електротехнички факултет, проф. др Борислав Јефтенић, Државни универзитет у Новом Пазару и доц. др Александар Ракић, Универзитет у Београду- Електротехнички факултет.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат је сакупио сто двадесет (120) ЕСПБ (полагањем испита на докторским студијама и обављањем научно истраживачких обавеза) и коаутор је објављених научних радова што га квалификује за научни рад, уз очекивано додатно ангажовање од шездесет (60) ЕСПБ.

Током писања овог Извештаја, Комисија је узела у обзир све претходно наведене чињенице и резултате досадашњег рада кандидата Марка Росића. Такође су са посебном пажњом размотрена искуства која је кандидат стекао, како кроз образовни, тако и истраживачки процес. Узимајући у обзир све наведене компоненте које чине истраживачки профил кандидата за докторску дисертацију, Комисија је стекла увид у способности кандидата за научно-истраживачки рад, као и његове могућности, да током израде предложене докторске дисертације, оствари резултате који могу бити приказани и валоризовани од стране међународне научне заједнице. Став Комисије је позитиван и након детаљног образложења саме теме предложиће да она буде усвојена, а кандидату дата могућност да настави са израдом докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове докторске дисертације је анализа динамике и таласности момента код асинхроне машине при управљању базираном на директној контроли момента (*DTC - Direct Torque Control*). У истраживању ће бити проучени до сада уочени проблеми и недостаци како конвенционалне, тако и напреднијих метода DTC. Посебан акценат биће стављен на предлог алгоритма управљања DTC који ће омогућити редукцију таласности момента.

Циљ истраживања је да се развије модификован алгоритам конвенционалне DTC са компаратором момента са више нивоа. Алгоритам ће користити стандардни напонски инвертор са два напонска нивоа (*2-level voltage source inverter*) где ће већи број расположивих напонских вектора бити обезбеђен импулсно ширинском модулацијом (PWM - *Pulse width modulation*). Већи број расположивих напонских вектора огледаће се у различитом броју интензитета шест активних напонских вектора који постоје код конвенционалне DTC. Овај алгоритам треба да омогући задржавање једноставности и добрих динамичких особина конвенционалне DTC, односно широк пропусни опсег у управљању моментом, уз елиминисање главних њених недостатака као што су променљива прекидачка фреквенција, велика таласност момента као и његова зависност од брзине обртања. Истраживање ће се заснивати на теоријској анализи, анализи помоћу симулационог модела, експерименталној реализацији и анализи добијених резултата.

Истраживања везана за DTC, као најмлађу технику управљања моторима наизменичне струје, врло су значајна за даљи развој контролера који омогућавају управљање електромоторним погонима. Ово истраживање треба да омогући развој алгорита који ће ублажити наведене недостатке и допринети побољшању конвенционалне DTC методе. Циљ је задржавање једноставности алгорита управљања што треба да омогући његову имплементацију са јевтинијим процесорима, слабијих перформанси и омогући ширу употребу у управљачким системима енергетских претвараача који обезбеђују високе динамичке особине електромоторних погона са моторима наизменичне струје.

3. Полазне хипотезе

Основне полазне хипотезе у раду су:

- У области контроле и алгоритама управљања моторима наизменичне струје тренутно у свету постоји велики број различитих решења. Нека од референтних публикованих решења редуције таласности момента код DTC су приказана у следећим референцама:

- [1] I. Takahashi and T. Noguchi, "A New Quick-Response and High-Efficiency Control Strategy of an Induction Motor," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-22, no. 5, pp. 820–827, Sep. 1986.
- [2] M. Hafeez, M. N. Uddin, N. A. Rahim, and W. P. Hew, "Self-Tuned NFC and Adaptive Torque Hysteresis based DTC Scheme for IM Drive," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 50, no. 2, pp. 1410 – 1420, 2013.
- [3] J.-W. Kang and S.-K. Sul, "Analysis and prediction of inverter switching frequency in direct torque control of induction machine based on hysteresis bands and machine parameters," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 48, no. 3, pp. 545–553, Jun. 2001.
- [4] S. Mathapati and J. Böcker, "Analytical and Offline Approach to Select Optimal Hysteresis Bands of DTC for PMSM," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 3, pp. 885–895, 2013.
- [5] T. Sutikno, N. Rumzi, Nik Idris, A. Jidin, and M. N. Cirstea, "An Improved FPGA Implementation of Direct Torque Control for Induction Machines," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 9, no. 3, pp. 1280–1290, 2013.
- [6] Y. Ren, Z. Q. Zhu, and J. Liu, "Direct Torque Control of Permanent Magnet Synchronous Machine Drives with Simple Duty Ratio Regulator," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 10, pp. 5249–5259, 2014.
- [7] D. Casadei, G. Serra, and A. Tani, "Analytical Investigation of Torque and Flux Ripple in DTC Schemes for Induction Motors," *Int. conf. Ind. Electron. Control Instrum. IECON 97*, vol. 2, pp. 552–556, 1997.
- [8] J. Rodríguez, J. Pontt, S. Kouro, and P. Correa, "Direct Torque Control With Imposed Switching Frequency in an 11-Level Cascaded Inverter," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 51, no. 4, pp. 827–833, 2004.
- [9] S. Arumugam and M. Thathan, "Novel Switching Table for Direct Torque Controlled Permanent Magnet Synchronous Motors to Reduce Torque Ripple," *J. Power Electron.*, vol. 13, no. 6, pp. 939–954, Nov. 2013.
- [10] D. Casadei, F. Profumo, and G. Serra, "FOC and DTC : Two Viable Schemes for Induction Motors Torque Control," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 17, no. 5, pp. 779–787, 2002.

- [11] D. Casadei, G. Serra, and A. Tani, "Improvement of Direct Torque Control Performance by Using a Discrete SVM Technique," in *Conf. Rec. PESC'98*, 1998, pp. 997–1003.

Строги захтеви у погледу високе динамике и тачности излазних механичких величина (момент, брзина) захтевају сложене алгоритме управљања за чију имплементацију су неопходни дигитални процесори већих могућности. Поједностављење сложених алгоритама уз задржавање робустности и стабилности система или елиминисање недостатака код једноставних DTC алгоритама уз задржавање њихових добрих карактеристика омогућило би ширу имплементацију ових управљачких алгоритама на процесорима скромнијих перформанси и мањом ценом.

- Конвенционална DTC [1] одликује се једноставношћу алгорита и његове имплементације, али уз озбиљне недостатке од којих су најизраженији велика таласност момента и променљива прекидачка фреквенција. Радови [2], [3] предлажу сузбијање ових недостатака увођењем адаптивних хистерезисних компаратора. Имплементација алгоритама управљања на процесорима са програмабилним чиповима (*FPGA – Field Programmable Gate Array*) [4], [5] омогућава знатно смањење потребног времена за извршење алгоритама чиме се смањује одступање момента изван граница хистерезисних компаратора. На овај начин, омогућено је дефинисање таласности момента унутар граница компаратора. Решења предложена у [6], [7] показују да је могуће смањити таласност момента увођењем PWM *duty ratio* регулатора који захтевају веће прорачунско време. Такође увођење инвертора са више нивоа [8], [9] омогућава већи избор напонских вектора чиме је уз једноставан алгоритам могуће вишеструко умањити таласност момента. Ипак, све наведене методе захтевају елементе који повећавају цену контролера базираног на DTC алгоритму како због захтева за инверторима сложенијих структура тако и због процесора високих перформанси. Смањење таласности момента применом већег броја напонских вектора у оквиру једног циклуса приказано је у [10], [11]. Аутори ову методу називају DSVM-DTC (*Discrete Space Vector Modulation DTC*). Примењени метод условљава продужење периода извршавања алгорита и дефинисање нове прекидачке табеле са порастом броја примењених вектора. Уместо таквог приступа, већи број расположивих напонских вектора могуће је дефинисати коришћењем импулсно ширинске модулације код стандардног инвертора са два нивоа. Прекидачка табела која дефинише избор основног вектора остаје иста као код конвенционалне DTC, а уведена додатна табела може да омогући повољан избор интензитета једног од шест активних напонског вектора. На овај начин, таласност момента би било могуће вишеструко смањити уз релативно мало продужење времена извршења алгорита у односу на конвенционалну DTC. Промена броја расположивих интензитета напонских вектора у циљу даљег смањења таласности момента не би утицали на промену основне прекидачке табеле као што је то случај у [10].
- Индукована електромоторна сила код конвенционалне DTC смањује позитивне инкременте момента што је нарочито изражено са порастом брзине мотора [7]. Ово може имати за последицу благо одступање момента од задате референтне вредности при великим брзинама. Ињектовањем одговарајућег напона који одговара ЕМС може омогућити да позитивни и негативни инкременти момента зависе од примењеног напонског вектора, а не и од брзине. Компензација утицаја брзине може да буде селективна. Селективност би се огледала у задржавању добрих динамичких особина које постоје при утицају ЕМС када се ради о наглим променама референтне вредности момента односно при промени смера обртања.

4. Научне методе истраживања

Начин истраживања одређен је предметом, научним циљем и карактером истраживања. Начин истраживања ће се реализовати на следеће начине:

- **Теоријском анализом** – најпре ће, на бази теоријског приступа, бити анализирана како конвенционална тако и друге методе DTC и узроци настанка таласности момента. На основу изведених закључака теоријски ће бити представљен и разматран алгоритам са вишестепеним компаратором за момент. Користећи математички модел машине биће анализирана могућност смањења таласности момента са предложеним алгоритмом.
- **Симулационом методом** – за предложени алгоритам DTC са вишестепеним компаратором момента и напонским векторима са више интензитета ће бити развијен и анализиран симулациони модел користећи MATLAB/Simulink програмски пакет.
- **Експерименталном методом** – предложени алгоритам биће развијен и имплементиран на ДСП систему (DSP – *Digital Signal Processor*) користећи процесор са непокретном тачком TMS320F2812 и *Technosoft drive* модула MSK2812. Експериментални резултати треба да покажу да је могуће вишеструко смањити таласност момента у зависности од броја дефинисаних интензитета напонских вектора.
- **Паралелним процесирањем и естимацијом** – естимација величина на ДСП систему биће софтверски паралелно извршавана са вишеструко увећаном фреквенцијом узорковања величина. Овај приступ ће омогућити анализу понашања естимираних величина у временском оквиру између два узастопна узорковања на ДСП систему. Добијени резултати треба да омогуће прецизнији увид у понашање статорских струја и естимираног момента мотора и потврди редукцију таласности момента са већом резолуцијом узетих података.
- **Методом компаративне анализе** – резултати до којих ће се доћи у овом раду биће презентовани текстуално, табеларно, графички, дијаграмима итд. У дисертацији ће бити извршено поређење резултата остварених применом предложене методе са DSVM-DTC [11] и конвенционалном DTC [1]. Анализа смањења таласности момента ће бити вршена са ДСП узоркованим и вишеструко узоркованим резултатима добијеним софтверском *offline* естимацијом.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни доприноси овог истраживања су:

- Развој алгоритма DTC на бази вишестепених компаратора који ће омогућити знатну редукцију таласности момента. Овај алгоритам треба да одликује једноставност и ефикасност. Једноставност ће се огледати у брзини извршавања, односно непостојању компликованих математичких операција као што је то случај у другим DTC конфигурацијама са PI регулаторима и обртним трансформацијама: PWM-DTC, DBDTC (*Deadbeat Direct Torque Control*). Тиме ће развијени алгоритам бити погодан за примену и на процесорима слабијих карактеристика. Ефикасност редукције таласности момента са предложеним алгоритмом биће приказана кроз компаративну анализу конвенционалне DTC и предложене DTC методе са различитим бројем нивоа компаратора. Предложени DTC метод ће отворити могућност аутоматизованог прилагођења алгоритма у зависности од дефинисања жељеног броја интензитета напонских вектора а у циљу довођења таласности момента у одговарајуће оквире.

- Квалитативном и квантитативном анализом понашања таласности момента код конвенционалне DTC базиране на ДСП систему методом вишеструког узорковања улазних величина и паралелном естимацијом чиме ће бити обезбеђен прецизнији увид у понашање естимираног момента и тачније одређен његова таласност у оквиру посматраног временског интервала, у односу на до сада постојеће методе анализе.

6. План истраживања и структура рада

Предложено истраживање ће обухватити следеће активности:

- преглед досадашње референтне научне литературе и тренутно стање у области истраживања,
- теоријска анализа предложеног алгоритма директне контроле момента у циљу смањења таласности момента,
- преглед и избор методе естимације статорског флуksа,
- развој симулационог модела предложеног DTC алгоритма,
- имплементација предложеног алгоритма на реалном ДСП базираном систему,
- анализа и компензација утицаја брзине мотора на динамику одзива момента,
- анализа утицаја ширине вишестепеног компаратора момента на таласност момента,
- вишеструко узорковање струја статора између два ДСП узорка и анализа таласности добијеног момента паралелном *offline* естимацијом,
- одређивање односа таласности момента између конвенционалне и предложене DTC методе са различитим бројем примењених напонских вектора.
- дискусија добијених резултата

Структура саме дисертације ће у великој мери пратити предложене фазе истраживања. Осим уводног поглавља предвиђена су два поглавља прегледног типа од чега ће прво поглавље бити посвећено моделу асинхроне машине, док ће друго поглавље бити посвећено познатим методама директне контроле момента, са којима ће предложена метода бити упоређена. Предложена метода директне контроле момента са вишеструким напонским векторима биће образложена у посебном поглављу. Експериментална верификација предложеног алгоритма и анализа резултата биће издвојени у посебно поглавље, на основу извршених компаративних анализа ће бити донесени закључци.

7. Закључак и предлог

Током писања овог Извештаја Комисија је узела у обзир све релевантне чињенице које формирају слику о подобности теме и кандидата за реализацију предвиђених истраживања. Имајући у виду резултате досадашњег рада кандидата Марка Росића показане током докторских студија, у фази истраживања у оквиру докторске дисертације, његовог ангажовања као предавача на високошколској установи, Комисија је стекла неспорни утисак да је кандидат способан за научно-истраживачки рад као и за реализацију предвиђених истраживања. Са друге стране, анализирајући предложену тему под називом „Редукција таласности код директне контроле момента асинхроног мотора применом компаратора са више нивоа“, стављајући је у контекст савремених, актуелних научних истраживања, сагледавајући наведене непосредне циљеве, очекиване резултате и доприносе, Комисија је у потпуности сагласна да оваква тема задовољава све услове подобности за докторску дисертацију. При томе Комисија констатује да ова тема припада ужој научној области Енергетски претварачи и погони и да Електротехнички Факултет Универзитета у Београду јесте матичан за ову научну област, и при томе за ментора рада предлаже доц. др Милана Бебића запосленог на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. У контексту овог предлога, уз Извештај је приложен списак радова доц. др Милана Бебића који га квалификују за ментора.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Милан Бебић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

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

др Борислав Јефтенић, редовни професор
Универзитет у Новом Пазару

др Александар Ракић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет