

НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

На 741. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду, одржаној 27.12. 2011. године одређени смо за чланове Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације М.Сс. Драгана Милића под насловом "Прекидачки релуктантни мотори са биполарним струјама". Након прегледа добијеног материјала, Наставно-научном већу Електротехничког факултета подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1 Општи биографски подаци

Кандидат Милић Драган је рођен 20.11.1984. године у Мостару. Основну и средњу школу је завршио у Гацку. Електротехнички факултет у Београду уписао је 2003. године где је и дипломирао 2008. године на Одсеку за Енергетику, смер Енергетски претварачи и погони са просечном оценом 8,6. Дипломске академске студије другог степена, мастер студије, уписује 2008. године на Електротехничком факултету у Београду, смер Енергетски претварачи и погони а завршава 2009. године са просечном оценом 9,83 одбраном мастер рада под називом „Анализа губитака снаге у синхроној машини са перманентним магнетима на ротору примењеној у систему за рекулпацију енергије кочења возила“. Докторске студије на Електротехничком факултету уписује 2009. године. Од јула 2008. године запослен је на Електротехничком факултету као сарадник за наставу а 2010. године је изабран у звање асистента у ком се тренутно налази. Ангажован је за извођење рачунских и лабораторијских вежби на смеру за Енергетске претвараче и погоне Електротехничког факултета у Београду у оквиру следећих предмета:

- Електричне машине,
- Електрична возила,
- Дигитално управљање претварачима и погонима,
- Дигитално управљање претварачима и погонима 2,
- Практикум из Дигиталних сигнал процесора.

1.2 Активности на докторским студијама

Кандидат је у току докторских студија положио предмете који покривају област из које се предлаже тема докторске дисертације, што укључује познавање теорије електричних машина, прелазних појава у електричним машинама, испитивање електричних машина као и област микрпроцесорског управљања енергетским претварачима и погонима. У прве две године студија положио је све предмете и одradio све обавезе везане за научно истраживачки рад који су предвиђени наставним планом студија чиме је сакупио максималних 120 ESPB. Списак положених предмета налази се у прилогу.

1.3. Учешће на домаћим научно-истраживачким пројектима:

- *Интегрисани системи за уклањање штетних састојака дима и развој технологија за реализацију термоелектрана и електрана без аерозагађења*, Министарство науке и технологије (2011-2015), руководиоц пројекта Слободан Н. Вукосавић,
- *Систем за покретање синхроних машина у пумпно акумулационом постројењу Лисина у оквиру Власинских ХЕ*, 2008-2010. , р.з. 10979, урађено за потребе ЕПС,
- *ДСП микрорачунар за управљање електрофилтрима у ТЕ Колубара А5*, 2009., р.з. 10979, урађено за потребе ЕПС,

- *Развој и примена високонапонске високофреквентне еколошке опреме за уклањање аерозагађења у индустрији и електропривреди*, Министарство науке и технологије (2007-2010).

1.4. Учешће на међународним пројектима

- ТЕМПУС пројекат (ЈЕР-41029-2006) „Развој хардвера, софтвера и упутства за радне станице у оквиру лабораторије за дигитално управљање претварачима и погонима и дигитално управљање кретањем”.

1.5. Списак објављених радова и других релевантних резултата и активности

Области интересовања кандидата су Електричне машине и Дигитално управљање претварачима и погонима. До сада има неколико објављених радова у домаћим часописима и конференцијама:

- Младен Терзић, **Драган Милић**, Слободан Вукосавић „Одређивање зависности губитака у гвожђу смм од брзине у празном ходу коришћењем методе коначних елемената“, ЕТРАН 2012, Златибор 11-14. јун 2012.
- **Драган Милић**, Никола Попов, Слободан Н. Вукосавић, Горан Вуковић, Срђан Јокић „Одређивање оптималног броја навојака синхроног вучног мотора“, ИНДЕЛ, мај 2011
- Иван Суботић, **Драган Милић**, Никола Попов, Слободан Вукосавић „Програмски пакет за *in circuit* упис кода у унутрашњу флеш меморију дигиталних сигналних контролера 28xxx без употребе додатог наменског хардвера“, ИНФОТЕХ, март 2011.
- **Милић Драган**, Младен Терзић, Никола Попов, Слободан Н. Вукосавић „Оптимизација синхроних машина са сталним магнетима на ротору за примене у возилима“, ЕТРАН, јун 2010.
- Никола Попов, **Драган Милић**, Слободан Н. Вукосавић „Процена температуре ротора асинхроног мотора на основу анализе спектра статорских струја и напона“, ЕТРАН, јун 2010.

Тренутно је у фази израде научног рада из области дисертације за међународни часопис.

На основу наведених података о кандидату и активности на научним и комерцијалним пројектима као и у оквиру докторских студија Комисија је закључила да је кандидат Драган Милић подобан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет научне расправе у оквиру дисертације је пројектовање магнетских кола прекидачких релуктантних машина, намотаја статора, енергетских претварача и алгоритама управљања са циљем да се остваре жељене перформансе у електромеханичком претварању енергије уз мањи утрошак гвожђа и бакра, мањи VA индекс полупроводничких прекидача снаге и мање губитке у претварању. Оптимизација значајних параметара магнетског кола машине и обликовање статорских струја стварају могућност да се очува повољан однос момента и масе машине, да се валовитост момента сведе на прихватљиву меру, као и да се створи могућност за једновремено увећање јачине струје у наредној фази (магнетисање) и смањење јачине струје у претходној фази (демагнетисање) уз прихватљив број полупроводничких прекидача снаге.

Значајна полазна хипотеза чији ће домети бити истражени је да примена биполарних струја код машина са непарним бројем фаза омогућује симултано магнетисање и демагнетисање у суседним фазама уз стварање момента чија је средња вредност упоредива или већа од момента еквивалентне униполарно напајане машине. Поред тога, потребно је успоставити оптимум у погледу односа средње вредности момента и валовитости момента. Прекидачке релуктантне машине имају већи специфични моменат и снагу од других врста машина. Ова предност је везана за режиме рада који су праћени релативно великом валовитошћу момента, механичким вибрацијама и акустичном

буком. Мере за умањење валовитости момента могу се спровести у фази пројектовања магнетског кола као и променом облика струја и напона машине. Досадашњи приступи умањењу валовитости момента прекидачких релуктантних машина су резултовали и значајним смањењем средње вредности момента. Потребно је истражити могућност да се наведени проблеми умање. Постојећа литература не наводи задовољавајуће приступе пројектовању прекидачких релуктантних машина, енергетских претварача за напајање машина и алгоритама управљања нити испитује домете полазних хипотеза овога рада. Планирани резултати укључују теоријску анализу, симулације и експерименталну верификацију. Резултати ће послужити као основа за нови приступ пројектовању и коришћењу прекидачких релуктантних машина.

3. Методологија

У првом делу рада ће бити извршена класификација и компаративна анализа прекидачких релуктантних машина по број фаза, облику магнетских кола статора и ротора, начину извођења статорског намотаја и начину управљања. Анализа ће обухватити експлоатациону и транзијентну механичку карактеристику, однос момента и масе, валовитост момента, карактеристике у раду са врло великим брзинама обртања, губитке претварања као и укупни VA индекс полупроводничких прекидача. Затим ће бити представљене полазне хипотезе и развијени нови теоријски модели који омогућују оцену утицаја геометрије магнетских кола статора и ротора на карактеристике система као и поређење експлоатационих карактеристика прекидачких релуктантних мотора који имају униполарне струје са онима који раде са биполарним струјама. Биће спроведена компаративна анализа са циљем да се утврде могућности замене униполарних са биполарним струјама у функцији броја фаза, броја статорских полова и броја роторских полова прекидачких релуктантних мотора, као и ефекти који се остварују оваквом заменом. Засебна анализа ће сумирати ефекте новог приступа на топологију енергетског претварача и његов VA индекс.

Спровешће се теоријска разматрања ради утврђивања ефеката промене магнетског поља у суседним половима на средњу вредност и валовитост електромагнетског момента. Ова разматрања ће узети у обзир топологију енергетских претварача која омогућује биполарно напајање. Анализа ће се спровести засебно за случај машина са парним и машина са непарним бројем фаза. Ради сагледавања главних одлика система са биполарно напајаним прекидачким релуктантним мотором, биће начињен динамички модел који омогућује сагледавање карактеристика и интеракција претварача и мотора. Динамички модел ће укључити кључне структурне и адитивне нелинеарности. Заменска кола која представљају SRM у устаљеном стању не укључују адекватан модел кључних нелинеарности, тако да немају већу употребну вредност. Стога ће начињени динамички модел бити коришћен и за одређивање статичких карактеристика.

Анализа статичких и динамичких својстава помоћу модела даће могућност да се дају оквирне смернице за пројектовање магнетског кола и намотаја SRM са биполарним напајањем. Поред симетричних топологија, биће обухваћена и асиметрична магнетска кола. Развијени теоријски и рачунарски алати ће се користити за одређивање оптималних облика магнетског кола и намотаја SRM. Верификација теоријских разматрања и симулација биће обављена на два начина. Најпре ће референтне конфигурације SRM бити испитане коришћењем FEM програмских алата, а потом ће се спровести и експериментална верификација. Верификација ће укључити и досадашња решења која су описана у референтној литератури да би се на униформан начин оцениле предности предложеног решења у карактеристичним применама.

4. Најзначајније референце

- [1] S. Vukosavić and V. R. Stefanović, "SRM inverter topologies: a comparative evaluation," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 27, no. 6, Nov./Dec. 1991.
- [2] P. J. Lawrenson et al: "Variable speed switched reluctance motors", u Proc. Inst. Elec. Eng., July 1980, pp. 253-365.
- [3] T. J. E. Miller and M. McGilp, "Nonlinear theory of the switched reluctance motor for rapid computer-aided design", in IEE Proc., vol. 137, pt. B, no. 6, pp. 337-347, Nov. 1990.
- [4] Vukosavic, S.; Peric, L.; Levi, E.; Vuckovic, V.; "Sensorless operation of the SR motor with constant dwell", Power Electronics Specialists Conference, 1990. PESC '90 Record., 21st Annual IEEE

- [5] Cai, W.; Pillay, P.; "Design and Control of Switched Reluctance Motors with Low Vibration and Noise", Electric Machines & Drives Conference, 2007. IEMDC '07. IEEE International.
- [6] Vujicic, V.; Vukosavic, S.N.; "A Simple Nonlinear Model of the Switched Reluctance Motor", IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 15, no. 4, december 2000.
- [7] Vujicic, V.P.; Vukosavic, S.N.; Jovanovic, M.B.; "Asymmetrical Switched Reluctance Motor for a Wide Constant Power Range", IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 21, no. 1, march 2006.
- [8] R. Krishnan, P. Materu, "Measurement and instrumentation of a switched reluctance motor", in Proc. Industry Applications Society Annual Meeting, 1-5 Oct. 1989, vol.1, pp. 116 - 121.
- [9] Baltazar Parreira, Silviano Rafael, "Obtaining the Magnetic Characteristics of an 8/6 Switched Reluctance Machine: From FEM Analysis to the Experimental Tests", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 52, No. 6, pp. 1635–1643, December. 2005.
- [10] Wei Jiang; Fahimi, B.; "On the Magnetic Behavior and Steady-state Performance Estimation of a Bipolar Excited Switched Reluctance Machine".
- [11] C. S. Edrington, M. Krishnamurthy, B. Fahimi, "Bipolar Switched Reluctance Machines: A Novel Solution for Automotive Applications", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol 54, no. 3, pp. 795-808, May 2005.
- [12] Jin-Woo Ahn; Seok-Gyu Oh; Jae-Won Moon; Young-Moon Hwang; "A three-phase switched reluctance motor with two-phase excitation", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, no. 5, Sep/Oct 1999.
- [13] Edrington, C.S.; Yancey, B.; Powell, J.; Tounsand, A.; Mohlke, G.; "Analysis and Operational Characteristics of a Reduced Parts Converter for Bipolar Excitation of SR Drives", Vehicle Power and Propulsion Conference, 2006. VPPC '06. IEEE
- [14] Krishnamurthy, M.; Fahimi, B.; Edrington, C.S.; "Comparison of Various Converter Topologies for Bipolar Switched Reluctance Motor Drives", Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05. IEEE 36th
- [15] Alkhazendar, M.A.; Kader, F.M.A.; Hawwas, Y.A.; Kalas, A.E.; "Performance analysis and realization of bipolar current waveforms for a Switched Reluctance Motor", Power System Conference, 2008. MEPCON 2008. 12th International Middle-East
- [16] C. Edrington, D. Kaluvagunta, J. Joddar, B. Fahimi, "Investigation of electromagnetic force components in SRM drives: applications to design and control", presented at IEEE Industry applications society annual meeting, October 12-16, 2003, Salt Lake city, UT.
- [17] Željko Grbo, Slobodan Vukosavić, and Emil Levi, "A Novel Power Inverter for Switched Reluctance Motor Drives", Facta Universitatis (Niš) Ser.: Elec. Energ. Vol. 18, No. 3, December 2005, 453-465.

5. Научне методе истраживања

Методологија истраживања предложене докторске дисертације укључује:

- Анализу ефеката биполарних струја на рад прекидачких релуктантних машина
- Развој новог приступа пројектовању магнетских кола и намотаја SRM са биполарним струјама
- Анализу примењивости новог приступа на бази симулација и експерименталне верификације
- Предлог генерализоване методе пројектовања система са прекидачким релуктантним машинама уз уважавање броја фаза и полова са могућношћу примене у симетричним и асиметричним конфигурацијама.

6. Очекивани научни допринос

Основни научни доприноси који се очекују од рада на тези су:

- Теоријско објашњење ограничења која постоје у досадашњим реализацијама система са SRM.

- Анализа могућности увођења биполарног напајања у зависности од броја фаза и полова у условима симултаног напајања суседних фаза и уз очување или унапређење релевантних карактеристика.
- Анализа утицаја конфигурације напајања, полова и фаза SRM на ангазоване ресурсе електричне машине и енергетског претварача.
- Пројектовање динамичког модела који обухвата кључне нелинеарности и који се може применити за интерактивну оптимизацију генерализованог поступка пројектовања система са SRM.
- Поређење са досадашњим решењима, критички осврт и анализа ограничења предложеног приступа.

7. Закључак и предлог

На основу свега изложеног, Комисија сматра да кандидат Драган Мухић, мастер инжењер електротехнике испуњава све формалне и суштинске услове за приступање изради докторске дисертације. Резултати до којих би кандидат требало да дође, имали би значајан допринос у области прекидачких релуктантних мотора са биполарним струјама. Стога Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Драгану Мухићу одобри израду докторске дисертације под насловом “Прекидачки релуктантни мотори са биполарним струјама”.

Београд, 21.6. 2012.

Чланови комисије:

др. Слободан Н. Вукосавић, редовни проф., ментор
Електротехнички факултет, Београд

др. Радован Радосављевић, ванредни проф.
Електротехнички факултет, Београд

др. Жељко Деспотовић, научни сарадник
Институт Михаило Пупин, Београд

др. Бранко Колунџија, редовни проф.
Електротехнички факултет, Београд

Проф. др. Зоран Лазаревић, редовни проф.
Електротехнички факултет, Београд