

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Милоша Јечменице за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5052/10-1 од 16.11.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Милоша Јечменице за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Методологија оптималног пројектовања статорског намотаја шестофазних машина уз уважавање фреквенцијске зависности параметара и магнетског засићења“**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милош Јечменица је рођен 08.07.1984. године у Ужицу. Основну школу „Милинко Кушић“ у Ивањици завршио је 1999. године као носилац Вукове дипломе. Матурирао је 2003. године завршивши Гимназију у Ивањици, након чега уписује Електротехнички факултет у Београду.

Дипломирао је на Електротехничком факултету у Београду, Одсек за енергетику - смер Енергетски претварачи и погони 2008. године, одбраном дипломског рада „Нерегуларности при мерењу утрошка електричне енергије и могућност њиховог откривања“ са оценом 10 (ментор проф. др Драгутин Саламон). Просечна оцена на основним академским студијама је 8,64.

Мастер студије, модул Енергетски претварачи и погони, завршио је на истом факултету 2010. године одбраном мастер рада „Реализација дистрибуираног система за праћење квалитета електричне енергије применом GPRS комуникације“ са оценом 10 (ментор проф. др Зоран Лазаревић). Просечна оцена на дипломским академским студијама је 9,17.

Тренутно је студент треће године докторских студија на Електротехничком факултету у Београду, модул Енергетски претварачи и погони (ментор проф. др Зоран Лазаревић). Докторске студије кандидат је уписао школске 2010/2011 године. Положио је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10.

Од 15.11.2011. године запослен је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на Катедри за енергетске претвараче и погоне, у звању асистента и поново изабран у исто звање 01.03.2015. године. На Основним и Мастер студијама ангажован је у извођењу наставе из 11 предмета. Ангажован је на пројекту Министарства науке и технолошког развоја.

Пре ангажовања на Електротехничком факултету стекао је три године стажа и радног искуства радећи у струци где је учествовао и руководио израдом пројеката из области енергетских инсталација ниског и средњег напона, аутоматике и електромоторних погона.

Има положен стручни испит из електротехнике, област енергетика, као и лиценце одговорног пројектанта и одговорног извођача електроенергетских инсталација ниског и средњег напона. Има положен стручни испит за област енергетске ефикасности зграда. Члан је Инжењерске коморе Србије.

Активно се служи енглеским језиком.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Милош Јечменица је уписао докторске студије на Електротехничком факултету у Београду школске 2010/2011 године на модулу за Енергетске претварааче и погоне. У току студија положио је све испите предвиђене студијским планом и програмом изабраног модула.

На основу одлуке Наставно–научног већа бр. 3058/2 од 28.12.2010. године, Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2010/2011, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета. По истеку законског рока за завршетак докторских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија за два семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета.

Преглед положених испита

Назив предмета	Оцена	ЕСПБ	Предметни наставник
Надгледање стања електричних машина у погону	(десет) 10	9	Лазаревић Зоран
Прелазне појаве у електричним машинама	(десет) 10	9	Лазаревић Зоран
Општа теорија електричних машина	(десет) 10	9	Вукосавић Слободан
Испитивање и одржавање електричних машина	(десет) 10	9	Вукосавић Слободан
Одабрана поглавља из специјалних електричних инсталација	(десет) 10	9	Радаковић Зоран
Специјална поглавља из електричног осветљења	(десет) 10	9	Костић Миомир
Позитивни ефекти употребе бентонита у системима уземљења	(десет) 10	9	Костић Миомир
Ветроенергетика и соларна енергетика	(десет) 10	9	Ђуришић Жељко
Снаге у присуству виших хармоника и методе за поправку фактора снаге у електроенергетским системима	(десет) 10	9	Микуловић Јован
Енглески језик	(десет) 10	6	Милош Ђурић

Преглед одрађених обавеза

Назив обавезе	ЕСПБ
Научно стручни рад	3
Студијски истраживачки рад I	15
Студијски истраживачки рад II	15

Извођење наставе

Као асистент на Катедри за електроенергетске претвараче и погоне, кандидат је ангажован у извођењу вежби на табли и лабораторијских вежби из 11 предмета и то: *Асинхроне машине, Синхроне машине, Испитивање електричних машина, Енергетски трансформатори, Електричне машине једносмерне струје, Загревање и заштита електричних машина, Електричне машине, Пројекат из синхроних машина, Лабораторијске вежбе из енергетских претварача и погона, Пројектовање фотонапонских система и Општи инжењеринг*, од којих су првих 9 предмета из уже научне области предложене теме докторске дисертације.

Научноистраживачки рад

Током докторских студија објавио је један рад у међународном часопису са SCI листе, по један рад на међународној и домаћој конференцији, као и један рад у домаћем часопису. Учествовао је у изради студије и пројекта чији је реализатор Електротехнички факултет Универзитета у Београду. Списак публикација кандидата Милоша Јечменице, у складу са нормативима Министарства просвете и науке Србије, је наведен у даљем тексту.

Радови у међународним часописима - M2I

1. Albla A., Brković B., **Ječmenica M.**, Lazarević Z.: *Online temperature monitoring of a grid connected induction motor*, - International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol 93, 2017, pp. 276-282.
(DOI: 10.1016/j.ijepes.2017.06.007, ISSN 0142-0615, IF 3.289)

Радови на међународним скуповима - M33

1. **Ječmenica M.**, Šošić D., Terzić M.: *Estimation of deep-bar induction motor rotor parameters using heuristic methods of optimization*, - Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, Beograd 2016, pp. 122-130.
(DOI: 10.1049/cp.2016.1111, ISBN 978-1-78561-406-4)

Радови у часописима националног значаја - M5I

1. **Ječmenica M.**, Trifunović J., Kostić M., *Poređenje mogućnosti konvencionalne metodologije i softvera CYMGRD pri projektovanju uzemljivača tipične distributivne transformatorske stanice*, Tehnika - Elektrotehnika, Vol 71, No 1, 2016, pp. 89-96.
(ISSN 0040-2176)

Радови на скуповима националног значаја - M63

1. **Ječmenica M.**, Brković B., Lazarević Z.: *Samopobudni asinhroni generator u radu na izolovanoj mreži*, XIII Međunarodni naučno-stručni simpozijum Infoteh, Jahorina, 2014, pp. 139-143. (ISBN 978-99955-763-3-2)

Пројекти и студије

1. *Интегрисани системи за уклањање штетних састојака дима и развој технологија за реализацију термоелектрана и електрана без аерозагађења*, пројекат ТР33022, Министарство за науку и технолошки развој, Београд, 2011-2017, (учешће у пројекту).
2. *Елаборат за санацију статора генератора Г2 у ХЕ „Пирот“*, реализатор: Електротехнички факултет, Београд, наручилац студије: ЈП ЕПС, Београд, 2017. (учешће у изради).

Одбрана приступног рада за израду дисертације

Кандидат је 01.12.2017. године полагао докторски испит на Електротехничком факултету у Београду, при чему је Комисија у саставу:

1. др Слободан Вукосавић, редовни професор, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет,
2. др Жарко Јанда, виши научни сарадник, Универзитет у Београду, Електротехнички институт Никола Тесла, и
3. др Бранко Колунџија, редовни професор, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет.

Комисија је једногласно закључила да су кандидат и тема подобни за израду докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, и оценила испит оценом **задовољно**.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада кандидата Милоша Јечменице и узимајући у обзир све претходно наведене чињенице, Комисија је стекла увид у способности и научноистраживачки рад кандидата, те констатује да је кандидат:

- Положио све испите и извршио све обавезе предвиђене наставним планом и програмом и тиме остварио 120 ЕСП бодова,
- На јавној усменој одбрани пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета, успешно положио докторски испит, одржан 01.12.2017. године,
- Од 2011. године запослен на Електротехничком факултету Универзитета у Београду где је непосредно укључен у научноистраживачки рад из области електроенергетских претварача и погона,
- Током трајања докторских студија активно ангажован на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја ТР33022,
- Публиковао један рад у међународном часопису са SCI листе, као и два рада на конференцијама међународног и националног значаја,
- Располаже одговарајућим знањем и искуством потребним за решавање проблема из области предложене теме докторске дисертације.

Стога је став Комисије да кандидат Милош Јечменица задовољава све услове за рад на предложеној теми.

2. Предмет и циљ истраживања

Током последње деценије увећан је интерес за пројектовање нових врста електричних машина. Нова решења електромеханичких претварача траже се у индустријској роботизици, обновљивим изворима, електричним возилима, медицини и у војним применама. Услед настојања да се процеси материјалне производње врате у земље са високом ценом радне снаге, потребно је увећати ефикасност, флексибилност и поузданост електричних мотора. Обновљиви извори енергије користе електромеханичке претварааче који раде у широком распону учестаности напајања где је од значаја висок степен корисног дејства и мали износ губитака. Поред поузданости и ефикасности, електричне машине у друмским возилима, бродовима и летелицама морају имати велики специфични моменат да би се могле применити у условима ограниченог простора и тежине. Значајно увећање перформанси могуће је постићи градњом електричних машина за наизменичну струју које имају више од три фазе, познатих под именом вишефазне електричне машине (енгл. multi-phase electrical machines).

Вишефазне електричне машине су предмет интензивног истраживања у последњих пола века [1]. Значајан број научних достигнућа и решења је објављен у научним часописима, патентиран и примењен у индустрији. Велики број истраживача широм света ради на решавању проблема конструкције, управљања и експлоатације вишефазних машина, анализи могућих режима рада после испада једне фазе, као и на испитивању рада вишефазних машина у склопу са различитим топологијама енергетских претварача.

Предмет истраживања у овој дисертацији је утицај конструкције статорског намотаја на параметре, губитке у претварању и на експлоатационе карактеристике шестофазних машина за наизменичну струју. Величина корака намотавања у навојцима код симетричних и асиметричних конфигурација значајно утиче на индуктивности намотаја у области радних учестаности, на еквивалентне индуктивности у области учестаности комутација, на фреквенцијску зависност еквивалентних отпорности као и на експлоатационе карактеристике машине. На основу аналитичких разматрања, симулација и коришћења алата за моделовање споропроменљивог електромагнетског поља, утицај конструкције статорског намотаја на параметре машине се може довести у везу са експлоатационим карактеристикама, што ствара простор за формулисање методологије оптималног пројектовања статорског намотаја.

Основне карактеристике и предности шестофазних у односу на трофазне машине, дате су у уводним радовима [2-4], где се шестофазне машине још увек третирају као машине са двоструко напајаним трофазним звездама (енгл. dual-three phase machines). Основне смернице за пројектовање вишефазних машина дате су у раду [5]. Разматрања приказана у раду [3] показују да губици у бакуру шестофазне машине могу бити значајно мањи од губитака у еквивалентној трофазној машини, али уз дате тврдње није приложена одговарајућа анализа већ се ради о приближној процени. Нешто детаљнија анализа огледа празног хода, кратког споја и кружних дијаграма шестофазне машине дата је у [6, 7], уз значајна одступања проузрокована секундарним ефектима, фреквенцијском зависношћу параметара и магнетским засићењем. Избор типа намотаја и утицај начина извођења намотаја шестофазне машине дискутован је у раду [8], док је у раду [9] предложен приступ пројектовању шестофазних машина са нагласком на смањењу губитака у електромеханичком претварању енергије. Губици су процењени аналитички, коришћењем генетског алгорита, а потом и коришћењем програма за анализу споропроменљивог магнетског поља методом коначних елемената, а потом је извршена и експериментална верификација на шестофазном мотору мале снаге. Утицај на приказане резултате има фреквенцијска зависност параметара машине и магнетско засићење у јарму и врату зубаца. Тачнија процена губитака у статору шестофазне машине приказана је у раду [10], док је утицај импулсног напајања на губитке анализиран у раду [11], али се у наведеним радовима не разматра утицај начина извођења намотаја нити се предлаже методологија пројектовања која може смањити укупне губитке

кроз утицај на индуктивности машине. Расипне индуктивности двослојног намотаја са жлебовима који садрже проводнике различитих фаза анализиране су у раду [12]. Поред осталог, дате су формуле за израчунавање расипних индуктивности горњег и доњег намотаја у оквиру истог жлеба, као и њихов међусобни утицај. Наводи се да скраћење навојног корака намотаја утиче на реактансу расипања намотаја, као и на међусобну индуктивност између два сета трофазних статорских намотаја. Утицај учестаности на промене еквивалентних индуктивности, отпорности и на расподелу магнетског поља у магнетском колу анализирани су у радовима [13-15], где су дате и приближне релације за моделовање утицаја радне учестаности на параметре машине. У радовима [16-18] су локализоване и раздвојене компоненте расипних индуктивности код трофазних машина наизменичне струје. Те индуктивности су: индуктивност расипања у зазору, индуктивност жлебног расипања, индуктивност расипања на крајевима зупца, индуктивност расипања на крајевима намотаја и индуктивност расипања услед искошења жлебова. На основу овог раздвајања формирана је шема заменског магнетског кола, а након тога дуална, заменска електрична шема која омогућује тачније моделовање промена параметара машине у радним режимима од интереса. Тачност модела и аналитичких релација за представљање промена параметара машине услед фреквенцијске зависности и утицаја магнетског засићења у радним режимима од кључног је утицаја на управљање и прорачун губитака у електромеханичком претварању. Детаљнија разматрања напредних начина управљања вишефазним машинама дата су у [19-21].

Анализирана литература потврђује значај вишефазних машина и приказује резултате истраживачког рада у развоју различитих конфигурација вишефазних машина, топологија енергетских претварача за напајање вишефазних машина и развоју алгоритама за управљање вишефазним мотор-претварачким групама. Постоји потреба за анализом начина извођења статорског намотаја и његовог утицаја на промене параметара шестофазне машине у области основне учестаности и на учестаности комутација. Губици у машини, специфични моменат и валовитост момента значајно зависе од промене наведених параметара, и зато постоји потреба за дефинисањем методологије пројектовања статорског намотаја шестофазне машине која би омогућила увећање перформанси шестофазне мотор-претварачке групе. Развој методологије пројектовања статорског намотаја представља основни правац рада у предложеној дисертацији.

Референце у вези са темом:

- [1] Ward E., Härer H.: *Preliminary investigation of an inverter-fed 5-phase induction motor*, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, Vol 116, 1969, pp. 980-984.
- [2] Levi E., Barrero F., Duran M.: *Multiphase machines and drives - Revisited*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 63, 2016, pp. 429-432.
- [3] Levi E., Bojoi R., Profumo F., Toliyat H., Williamson S., *Multiphase induction motor drives - a technology status review*, IET Electric Power Applications, Vol 1, 2007, pp. 489-516.
- [4] Singh G.: *Multi-phase induction machine drive research*, Electric Power Systems Research, Vol 61, 2002, pp. 139-147.
- [5] Levi E.: *Multiphase Electric Machines for Variable-Speed Applications*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 55, 2008, pp. 1893-1909.
- [6] Nanoty A., Chudasama A.: *Design and Control of Multiphase Induction Motor*, IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), Niagara Falls, ON, Canada 2011.
- [7] Nanoty A., Chudasama A.: *Design, development of six phase squirrel cage induction motor and its comparative analysis with equivalent three phase squirrel cage induction motor using circle diagram*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol 3, 2013, pp. 731-737.
- [8] Kundrotas B., Petrovas A., Rinkeviciene R., Smilgevicius A.: *Research of Six-Phase Induction Motor Windings*, Elektronika IR Elektrotechnika, Vol 20, 2014, pp. 15-18.

- [9] Fazlipour Z., Kianinezhad R., Razaz M.: *Genetic Algorithm Based Design Optimization of a Six Phase Induction Motor*, Journal of Electrical Engineering and Technology, Vol 10, 2015, pp. 1007-1014.
- [10] Boglietti A., Bojoi R., Cavagnino A., Tenconi A.: *Efficiency Analysis of PWM Inverter Fed Three-Phase and Dual Three-Phase High Frequency Induction Machines for Low/Medium Power Applications*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 55, 2008, pp. 2015-2023.
- [11] Zhang Y., Cao W., Morrow J.: *Dual three-phase induction motor power loss analysis with its modeling and simulation of vector-controlled system*, IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), Shenyang, China, 2015, pp. 1517-1522.
- [12] Lipo T.: *A d-q Model for six-phase induction machine*, Proceedings on International conference "Electric Machines", Athens, Greece, 1980, pp. 860-867.
- [13] Williamson S., Gersh D.: *Finite element calculation of double-cage rotor equivalent circuit parameters*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol 11, 1996, pp. 41-48.
- [14] Benecke M., Doeblin R., Griepentrog G., Lindemann A.: *Skin effect in squirrel cage rotor bars and its consideration in simulation of non-steady-state operation of induction machines*, PIERS Online, Vol 7, 2011, pp. 421-425.
- [15] Lin D., Zhou P.: *An improved dynamic model for the simulation of three-phase induction motors with deep rotor bars*, International Conference on Electrical Machines and Systems, 2008, pp. 3810-3814.
- [16] Slemon G.: *Analytical Models for Saturated Synchronous Machines*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol 90, 1971, pp. 409-417.
- [17] Ojo J., Consoli A., Lipo T.: *An improved model of saturated induction machines*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 26, 1990, pp. 212-221.
- [18] Sullivan C., Sanders S.: *Models for induction machines with magnetic saturation of the main flux path*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 31, 1995, pp. 907-917.
- [19] Levi E., Jones M., Vukosavic S., Toliat H.: *A novel concept of a multiphase, multimotor vector controlled drive system supplied from a single voltage source inverter*, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol 19, 2004, pp. 320-335.
- [20] Jones M., Vukosavic S., Levi E., Iqbal A.: *A six-phase series-connected two-motor drive with decoupled dynamic control*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 41, 2005, pp. 1056-1066.
- [21] Levi E., Jones M., Vukosavic S.: *A series-connected two-motor six-phase drive with induction and permanent magnet machines*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol 21, 2006, pp. 121-129.

3. Полазне хипотезе

Основне хипотезе усвојене у овој дисертацији су:

- *Степен слободе остварен применом већег броја фаза омогућује стварање магнетског поља са сложенопериодичном просторном расподелом где је однос вршине вредности укупног таласа магнетске индукције и основног просторног хармоника повољнији него код трофазних машина* – Магнетопобудна сила трофазне машине се може разложити на две компоненте, компоненте основног и виших хармоника. Поред основних компоненти, шестофазне машине садрже и додатне компоненте магнетопобудне силе, проузроковане присуством виших хармоника. Постојећи степен слободе, настао као последица пројектовања намотаја и начина управљања, омогућује да се за исти радни режим промени просторна расподела магнетског поља и оствари електромагнетско претварање енергије са мањим вршним вредностима магнетске индукције.

- *Промена односа вршне и основне вредности магнетске индукције омогућује увећање специфичног момента и смањење губитака у претварању* – У шестофазним машинама постоји могућност да се статорски намотај и струје у његовим фазама одреде тако да се исти електромагнетски моменат добије са различитим облицима просторне расподеле поља. Као последица, уз једнаке вршне вредности магнетске индукције може се остварити већи електромагнетски моменат док се у датом радном режиму могу смањити губици у машини.
- *Начин пројектовања статорског намотаја шестофазне машине значајно утиче на еквивалентне индуктивности и отпорности машине, као и на њихову фреквенцијску зависност* – Симетрични и асиметрични намотаји шестофазне машине имају намотај са два слоја, са пречничким или скраћеним навојним кораком, различите расподеле проводника појединих фаза у оквиру жлеба као и начине транспозиције проводника унутар једне фазе. Намотај се може представити одговарајућим аналитичким изразима што представља предуслов за оптимизацију.
- *Постојећи степен слободе у извођењу статорског намотаја може се искористити за увећање еквивалентне индуктивности на учестаности комутација ширински модулисаног инвертора за напајање машине* – Губици у електромеханичком претварању у значајној мери зависе од валовитости струје на учестаности комутација. Смањење губитака се може остварити увећањем еквивалентне индуктивности на учестаности комутација, што представља један од циљева пројектовања статорског намотаја.
- *Циљеви оптималног пројектовања шестофазне машине су увећање специфичног момента и снаге, смањење губитака у претварању, као и проширење експлоатационе карактеристике кроз увећање максималне брзине и максималног момента* – Наведени индекси перформанси се могу представити аналитички. На бази аналитичких разматрања, коришћењем рачунарских алата за прорачун расподеле поља и на основу експериментима поткрепљених занемарења, могуће је дати аналитичку формулацију утицаја начина извођења статорског намотаја на кључне параметре шестофазне машине, и тако дати основу за методологију оптималног пројектовања статорског намотаја.

4. Научне методе истраживања

У овој дисертацији биће примењене следеће методе истраживања:

- Анализа и евалуација утицаја еквивалентних индуктивности и отпорности шестофазне машине на основној учестаности и учестаности комутација на индексе перформансе као што су специфични моменат, губици у претварању и експлоатационе криве.
- Аналитичко представљање расподеле магнетског поља шестофазне машине у функцији расподеле навојака по обиму машине и тренутних вредности фазних струја, уз извођење аналитичких израза за слободно променљиве компоненте струје и магнетопобудне силе статора које омогућују обликовање просторне расподеле поља и смањење вршне вредности магнетске индукције.
- Проучавање расподеле споропроменљивог електромагнетског поља у магнетским и струјним колима шестофазне машине уз помоћ рачунара ради анализе утицаја облика и димензија елемената магнетског кола као и начина извођења статорског намотаја на

промене еквивалентних индуктивности и отпорности машине. За статорске намотаје са симетричном и асиметричном расподелом, са различитим навојним кораком, бројем слојева и транспозицијом биће проучен утицај промене учестаности и локалног zasiћења на кључне параметре.

- Експериментална верификација резултата добијених симулацијом и рачунарским програмима за одређивање расподеле споропроменљивог електромагнетског поља у струјним и магнетским колима машине, као и верификација аналитичке представе промена индуктивности и отпорности машине у функцији радног режима.
- Развој нове методологије пројектовања која полази од аналитичке представе просторне расподеле намотаја шестофазне машине, која укључује формулисање критеријумске функције на бази специфичног момента, степена корисног дејства, валовитости момента, поузданости и преоптеретљивости и која омогућује да се одреди оптимална расподела проводника у статорском намотају за дату критеријумску функцију.
- Коришћење рачунарских алата за анализу расподеле споропроменљивог електромагнетског поља у циљу верификације предложене методологије за шири скуп шестофазних машина.
- Експериментална верификација развијене методологије на наменски пројектованој шестофазној машини.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће ова дисертација довести до следећих научних доприноса:

- Развиће се аналитички изрази који представљају еквивалентне индуктивности и отпорности шестофазне машине на бази просторне расподеле статорског намотаја и облика магнетског кола, који ће уважавати промене услед локалног магнетског zasiћења у врату зубаца и јарму као и промене услед варијације учестаности. Аналитички изрази ће узети у обзир статорске намотаје са симетричном и асиметричном расподелом, са различитим кораком и транспозицијом.
- Развиће се и примениће се методологија оптималног пројектовања статорског намотаја шестофазних машина уз уважавање фреквенцијске зависности параметара и магнетског zasiћења. Методологија ће полазити од аналитичке представе просторне расподеле намотаја шестофазне машине, која ће укључивати формулисање критеријумске функције на бази специфичног момента, степена корисног дејства, валовитости момента, поузданости и преоптеретљивости и која ће омогућити да се одреди оптимални одабир статорског намотаја.
- Развиће се алгоритам за одређивање просторне расподеле магнетског поља у ваздушном зазору шестофазне машине која омогућује увећање специфичног момента уз усвајање двају задатих компоненти магнетопобудне силе и коришћењу слободно променљивих компоненти.

6. План истраживања и структура рада

Планирано је да се истраживање изведе у следећим фазама:

- У првој фази, биће начињена анализа утицаја еквивалентних индуктивности и отпорности шестофазне машине на основној учестаности и учестаности комутација на индексе перформансе међу којима су специфични моменат, губици у претварању, поузданост и преоптеретљивост.
- У другој фази биће начињено аналитичко представљање расподеле магнетског поља шестофазне машине у функцији расподеле навојака по обиму машине и тренутних вредности фазних струја, уз извођење аналитичких израза за слободно променљиве компоненте струје и магнетопобудне силе статора које омогућују обликовање просторне расподеле поља и смањење вршне вредности магнетске индукције.
- У трећој фази ће бити анализиран утицај облика и димензија елемената магнетског кола као и начина извођења статорског намотаја на промене еквивалентних индуктивности и отпорности машине уз помоћ рачунарских програма за одређивање расподеле споропроменљивог магнетског поља. За статорске намотаје са симетричном и асиметричном расподелом, са различитим навојним кораком и транспозицијом биће проучен утицај промене учестаности и локалног засићења на промене кључних параметара машине.
- У четвртој фази биће обављена експериментална верификација резултата добијених симулацијом и рачунарским програмима за одређивање расподеле споропроменљивог електромагнетског поља у струјним и магнетским колима машине, као и верификација аналитичке представе промена индуктивности и отпорности машине у функцији радног режима.
- У петој фази ће бити развијена нова методологија пројектовања која полази од аналитичке представе просторне расподеле намотаја шестофазне машине, која укључује формулисање критеријумске функције на бази специфичног момента, степена корисног дејства, валовитости момента, поузданости и преоптеретљивости и која омогућује да се одреди оптимална расподела проводника у статорском намотају за дату критеријумску функцију. Верификација методологије ће бити обављена на два начина. Најпре, уз коришћење рачунарских алата за анализу расподеле споропроменљивог електромагнетског поља у циљу верификације предложене методологије за шири скуп шестофазних машина. Потом, биће обављена експериментална верификација развијене методологије на наменски пројектованој шестофазној машини.

На основу резултата наведених пет фаза истраживања биће формулисани и приказани главни научни доприноси, са посебним нагласком на њиховом значају и практичној примени. Тиме ће се проширити могућности за примену компактних, ефикасних и поузданих мотор-претварачких група са шестофазним машинама које до сада нису биле доступне.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, као и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Милоша Јечменице, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија је закључила да:

1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације,

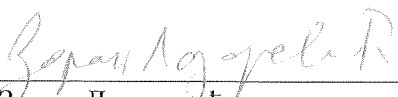
2. Предложена тема дисертације „Методологија оптималног пројектовања статорског намотаја шестофазних машина уз уважавање фреквенцијске зависности параметара и магнетског zasiћења“ је у тренду са глобалним научним кретањима из области електроенергетике чији се резултати тренутно објављују у истакнутим међународним часописима. Поред великог теоријског интереса, тематика је подједнако занимљива са практичне тачке гледишта. Предложена истраживања у оквиру дисертације имају велики потенцијал да доведу до нових резултата, научно су добро заснована и представљају новину на светском нивоу, и
3. Кандидат Милош Јечменица се током свог научноистраживачког рада бавио тематиком која спада у најужу област дисертације. Комисија сматра да тематика и континуитет досадашњег научноистраживачког рада несумњиво показују да је кандидат подобан за реализацију предвиђених циљева истраживања.

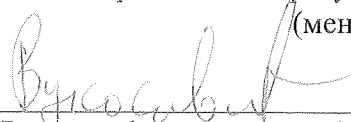
Комисија констатује да предложена тема припада ужој научној области Електричне машине, и да је Електротехнички факултет у Београду матичан за ову научну област, те се за ментора израде докторске дисертације предлаже др Зоран Лазаревић, редовни професор Електротехничког факултета у Београду. Уз извештај се прилаже списак радова проф. др Зорана Лазаревића који га квалификују за ментора.

Због тога Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Милошу Јечменици одобри израду докторске дисертације под називом „Методологија оптималног пројектовања статорског намотаја шестофазних машина уз уважавање фреквенцијске зависности параметара и магнетског zasiћења“.

У Београду, 25.12.2017. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Зоран Лазаревић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
(ментор)


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


др Жарко Јанда, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Електротехнички институт Никола Тесла


др Бранко Колунџија, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет