

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата **Петра Јеркана**, мастер инжењера електротехнике за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5054/10-1 од 14.12.2018 године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Петра Јеркана**, мастер инжењера електротехнике за израду докторске дисертације и научне заснованости теме “Развој и примена новог приступа пројектовању асинхроних машина са увећаним степеном корисног дејства и већом специфичном снагом” (*Design of the asynchronous machines with improved efficiency and power density*).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Петар Јеркан, рођен је 29.5.1982. у Бачкој Тополи. Основну школу и гимназију је завршио у Бачкој Тополи. Учествовао је на општинским и регионалним такмичењима из математике и физике. Факултет Техничких Наука у Новом Саду је завршио 2006. године са титулом Мастер електротехнике и рачунарства, на одсеку за Енергетику, Електронику и Телекомуникације, смер Електричне Машина и Енергетска Електроника. Од 2007. године, запослен је у фабрици обртних електричних машина АТБ - SEVER, која је у међувремену од 2010. године променила власника и постала део глобалне компаније WOLONG и која је званично од 2019. године променила назив у WOLONG - SEVER. Аутор је неколико научних радова на тему конструисања, оптимирања и испитивања обртних електричних машина. Пројектовао је више специјалних типова асинхроних и синхроних машина, развијао је нове и специјално профилисане системе изолације за тешке услове рада и учествовао је у развијању нових метода за индиректно испитивање синхроних машина. Кандидат тренутно ради на месту главног пројектанта синхроних машина и представља једну од централа за развој електричних машина на глобалном нивоу групе WOLONG. Члан је комисије H002, за обртне електричне машине, Института за Стандардизацију Србије, комитета CIGRE у одељењу за обртне електричне машине.

Уписао је докторске студије од 2010. године.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је током студирања и радне каријере објавио неколико научних радова на тему примене, испитивања и оптималног пројектовања електричних машина. У току рада, кандидат је на радном месту главног пројектанта остварио велики број успешних дизајна електричних машина. Превасходно су пројектоване асинхроне и синхроне машине за тешке услове рада, са великом специфичном снагом и са новим системима изолације. Објављени научни радови у току рада су резултат претходно успешно реализованих пројеката.

[1] Jerkan P., Milićević D., Čorba Z., Vasić V., "Primena Programabilnog Logičkog Kontrolera U Upravljanju Mašinom Za Jednosmernu Struju", INDEL-2006, 10-11. Novembar 2006. Banja Luka, BiH

[2] Burmazović M., Reljić D., Vasić V., Jerkan P., "Određivanje Parametara Ekvivalentne Šeme I Vektorska Kontrola Kavezne Mašine", ETRAN, 8-12. jun 2008. Palić.

[3] Jerkan P., Laslo Z., Srdija M., "Konstruisanje Asinhronog Kaveznog Elektromotora Za Teške Uslove Rada", ETRAN, 7-10. juna 2010. Donji Milanovac

[4] Varga J., Jerkan P., "Additional Power Losses And Efficiency Of Synchronous Machines", Ee2015, October 28th - 30th, 2015. Novi Sad

[5] Јеркан П., Вукосавић С., "Оптимизовање геометрије асинхроне обртне машине са утицајем термичких закона на њене перформансе", CIGRE, 5-8. Јуна 2017. Zlatibor

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. Студенту је одобрено мировање права и обавеза у школској 2013/2014. години. 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.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током писања овог извештаја, Комисија је узела у обзир све претходно наведене резултате досадашњег рада и оствареног искуства, за кандидата Петара Јеркана. Посебна пажња је посвећена кандидатовом практичном искуству на пољу развоја и истраживања у овој научној области. 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 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

Оптимално пројектовање асинхроних машина је предмет расправе још од првих серијски произведених мотора, насталих крајем 19. века. Одлучујући утицај на методе пројектовања имало је увођење нових материјала, нових технологија за израду магнетских и струјних кола као и стварање могућности за производњу извора промене учестаности. Значајан утицај је имао и паралелни развој математичких алата, који су проширивани и унапређивани у циљу побољшања перформанси. Циљеви оптималног пројектовања обухватају увећање степена корисног дејства, увећање специфичне снаге, уштеде у материјалу, смањење броја технолошких поступака и слично. У последње три деценије, све више преовладавају два различита приступа у пројектовању и производњи електричних обртних машина. Реч је о решењима, која увећавају степен корисног дејства и решењима оријентисаним ка смањењу трошкова производње. Индустрија електричних машина подржава оба решења и за њих развија напредне материјале, нове технологије, али и математичке алате за пројектовање електричних машина.

Током претходних 120 година, напредак у пројектовању и производњи електричних машина, омогућио је увећање перформанси за један ред величине. Примера ради, асинхрона машина снаге 10kW произведена крајем 19. века, имала је волумен у коме се данас може произвести машина снаге 100kW. Захваљујући новим врстама динамо лимова, новим изолационим материјалима, новим системима хлађења и новим електромагнетским прорачунима, могуће је очекивати даље увећање специфичне снаге током наредних деценија. Током 20. века, конструкционо машинство и електромагнетика су међусобно образовале својеврсну базу и уједно најјачи ослонац за конструисање електричних машина. Данас се оптимизација машина ослања на више дисциплина: електромагнетичку, рачунарску технику, металургију, хемијску индустрију, термодинамику, динамику флуида, али и економију и организационе науке.

Поред увећања степена корисног дејства при номиналној снази, значајно је и постизање бољих степена корисног дејства у опсегу од 25% до 125%. Поменути проценти снаге се могу моделовати и повезати са одговарајућим нумеричким алатима у фази пројектовања. Оптимални дизајн зависи од типичног радног циклуса у коме се машина користи. Баланс између утрошка материјала за намотаје и динамо-лимовете суштински зависи од заступљености интервала са мањим теретом и интервала са значајнијим теретом. Поред повећања степена корисног дејства, потребно је ограничити или умањити количину гвожђа и бакра, уз истовремено повећање специфичне снаге. Повећање снаге уз исти волумен и површину отежава услове хлађења, уз модификације магнетског кола, како би се створили услови за коришћење новог система хлађења. Често се дешава да конструктори за неку електричну машину прорачуном предвиде више бакра, што резултује мањим губицима у намотају и бољим хлађењем машине, али такав намотај најчешће се хлади преко бочних веза, док је јарам статора оптерећен губицима, па је степен корисног дејства такве машине често

нижи од оптималног. У раду ће бити приказан нови приступ оптимизацији, са циљем да се нађе оптималан однос утрошка гвожђа и бакра, да се оптимизују кључни елементи магнетског кола и нађу оптимална извођења струјног кола, што ће резултовати мањим губицима, већом специфичном снагом и увећањем степена корисног дејства.

Узевши у обзир горе наведено, потребно је осврнути се на досадашње резултате и одговарајућу литературу. Код пројектовања висине јарма статора и ротора у вучним асинхроним машинама [1], аутори се осврћу на одређивање оптималне висине јарма, као и аксијалних отвора у њему са циљем да се постигне компромис између циљева електромагнетског дизајна и потребе одвођења топлоте, што је могуће постићи уколико се у математички апарат укључе неопходна знања из динамике флуида. Код налажења оптимума између броја полова, фаза, жлебова и дужина пакета лимова [2], аутори су се осврнули на тражење највећег обртног момента у неком задатом спољашњем пречнику машине, допуштајући слободу кретања у дизајнирању машине између горе наведених променљивих, где је геометрија превасходно зависила од дужине пакета лимова. У погледу одређивања материјала одређених за конструкцију асинхроне машине, као и за стратегије испитивања машина, свеобухватан поглед је дат у раду [5]. Избор облика и геометрије жлебова статора, као и врсте вентилатора за хлађење асинхроних машина према ИЕЦ нормама су детаљније приказани у раду [3], где је аутор разматрао начине хлађења комбиновањем три понуђена облика жлебова статора и два облика вентилатора. Термичким моделом и динамиком флуида се бавио рад [4], у којем је одређена величина и распоред аксијалних отвора у јарму статора, али без посебног освртања на међусобни утицај електромагнетних проблема и проблема хлађења. Код одређивања геометрије роторских штапова и избора материјала за проводник ротора [6], приказан је начин за постизање веће средње снаге машине у радном циклусу, али без удубљивања у проблеме хлађења асинхроне машине. Формирање термичког модела неопходног за прорачун, приказано је у радовима [7] и [8]. Избор облика жлеба статора, као и врсте намотаја, те њихов утицај на опште перформансе машине, као и њену оптеретивост, дат је у раду [9]. Приступ пројектовању заснован на повећању испуне намотајима у жлебовима статора, дат је у раду [10]. Нумеричком анализом и 3D моделом на бази коначних елемената у устаљеном стању се бави рад [11], у коме аутори дискретизују електричну машину и спроводе парцијално 3D моделовање у појединим деловима.

Појединачни доприноси, приказани у наведеним радовима, нису интегрисани у јединствен оптимизациони процес, који би објединио све релевантне аспекте оптимизације. У решавању проблема интеграције задатака, услова и ограничења у пројектовању једне електричне машине, користиће се искуства у пројектовању, аналитички приступ, FEM симулације и вишепараметарска оптимизација дизајна путем диференцијалне еволуције. Поред рачунарских метода, планира се и експериментална верификација.

Референце у вези са темом:

- [1] Erich Schmidt, Member, IEEE , J. Buschbeck , M. Vogelsberger, Multi-Physics Optimization of Air-Cooled Asynchronous Induction Machines for Railway Traction Drives, 2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Sydney, NSW, Australia
- [2] Cenk Ulu TÜBİTAK MRC, Oğuz Korman, Güven Kömürçöz, Electromagnetic and Thermal Analysis/Design of an Induction Motor for Electric Vehicles, Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), 2017 8th International Conference
- [3] Santosh Ghosh , Hemant Memane , M Karpe , Ravindra Birajdar , V K Yadav, and V Mukherjee, Design of High Performance Induction Motor through Multi Objective and Multi Domain Optimization, 2015 5th International Electric Drives Production Conference (EDPC), 15th-16th September 2015.
- [4] Ankit Tiwari , Savas Yavuzkurt, An Iterative Conjugate Heat Transfer Analysis for Heat Transfer Enhancement of an Externally Cooled 3-Phase Induction Motor, IET Electric Power Applications (Volume: 11, Issue: 1, 1 2017), 26th January, 2017.

- [5] Gerd Bramerdorfer, Andrea Cavagnino, Silvio Vaschetto, Importance of thermal modeling for design optimization scenarios of induction motors, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2017 IEEE, 1st-5th October 2017.
- [6] David Gerada , Abdeslam Mebarki , Neil L. Brown , Chris Gerada, Optimal Split Ratio for High Speed Induction Machines, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE, 12th-16th September 2010.
- [7] Dr.S.Kar Chowdhury, Prem Kr. Baski, A Simple Lumped Parameter Thermal Model for Electrical machine of TEFC Design, Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010 Joint International Conference, 20th-23rd December 2010.
- [8] Guy Friedrich , Stephane Vivier , Radhouane Khliissa , Khadija El Kadri Benkara, Determination of rotor-stator heat exchange coefficients in the case of totally enclosed machines: Application to an integrated starter-generator, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2013 IEEE, 15th-19th September 2013.
- [9] Sinisa Jurkovic, Khwaja M. Rahman, John C. Morgante, Peter J. Savagian, Induction Machine Design and Analysis for General Motors e-Assist Electrification Technology, IEEE Transactions on Industry Applications (Volume: 51, Issue: 1, Jan.-Feb. 2015.)
- [10] Ram Ranjan, Jagadeesh Tangudu, Thermal Design of High Power-Density Additively- Manufactured Induction Motors, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2014 IEEE, 14th-18th September 2014.
- [11] A.K. Naskar, D. Sarkar, Numerical Analysis of Three Dimensional Steady State Heat Conduction in the Rotor of an Induction Motor by Finite Element Method, Control, Instrumentation, Energy and Communication (CIEC), 2014 International Conference, 31st January-2nd February 2014.
- [12] "Проектирование гидрогенераторов, электромагнитные и тепловые расчёты", В.В.Домбровский, А.С.Еремеев, Н.П.Иванов, П.М.Ипатов, М.Я.Каплан, Г.Б.Пинский, ЭНЕРГИЯ, Москва, Ленинград 1965.
- [13] "Основы проектирования электрических машин переменного тока", В.В.Домбровский, Г.М. Хуторецкий, ЭНЕРГИЯ, Ленинград 1974.

3. Полазне хипотезе

- *Применом електромагнетног прорачуна са уважавањем проблема хлађења, одредиће се оптимум параметарски дефинисаних геометријских величина у појединим деловима електричне машине. Потребно је поставити захтеве за перформансе машина на такав начин да се смањи увећање температуре у номиналном режиму рада, узимајући у обзир ограничења у погледу габарита и масе.*
- *Налажењем оптимума појединих делова машине, одређених тако да имају значајан утицај на губитке снаге. Локална оптимална решења зависе у великој мери од равнотеже између електромагнетних критеријума и критеријума хлађења. Добијени резултати могу послужити као полазна тачка у вишепараметарској оптимизацији.*
- *Геометрија свих кључних елемената магнетског и струјног кола, може се свести на скуп параметара, који дефинишу значајне облике, јачину поља, губитке и услове хлађења. Поступак вишепараметарске оптимизације даје оптимални дизајн за дате услове и ограничења у погледу електромагнетних услова и услова хлађења.*
- *У зависности од радног циклуса и климатско-механичких услова, циљ оптималног пројектовања се може поставити као увећање снаге уз исте губитке снаге, али и постизање истих перформанси и пораста температуре уз смањен габарит и мањи утрошак гвоздја и бакра.*

4. Научне методе истраживања

- *Анализа и евалуација конструктивних елемената и отвора на електромагнетски прорачун, уз свођење дизајна на релевантан скуп параметара од значаја за електромагнетски прорачун и губитке. Резултати прорачуна ће бити приказани као*

појединачни губици у намотајима и динамо-лимовима, са циљем да се оствари процена пораста температуре у појединим деловима машине.

- Нумеричко представљање резултата прорачуна путем симулације модела у програму базираном на методи коначних елемената.
- Постављање нове методе оптимизације електричних машина са директним утицајем на елементе конструкције, измена у геометрији магнетног и струјног кола и измена у губицима са утицајем на процес достизања циљаних индекса перформансе.
- Коришћење рачунарских алата за пројектовање електричних машина, обогаћених новим аналитичким и искуственим формулама за постизање оптимума у дизајну.
- Експериментална верификација развијене методологије на две наменски пројектоване асинхроне машине.

5. Очекивани научни допринос

- Развој аналитичких израза за постизање оптимума геометрије појединих делова машине.
- Постизање вишег нивоа аутоматизације у прорачунавању и анализи резултата прорачуна асинхроних машина.
- Развој и организација алгорита за примену нове методе у поступцима дизајнирања електричних машина.

6. План истраживања и структура рада

- Прва фаза: Анализа утицаја елемената конструкције и геометрије магнетских и струјних кола на постизање номиналних параметара електричне машине и жељених перформанси.
- Друга фаза: одређивање аналитичких израза, који дефинишу електромагнетски прорачун и губитке у појединим деловима асинхроне машине.
- Трећа фаза: анализа утицаја облика, броја и односа броја жлебова, навојака и навојног корака на коначне резултате електромагнетног прорачуна.

- Четврта фаза: након опредељивања оптималних резултата из треће фазе, приступа се изради експерименталних модела и анализи резултата добијених путем експеримената.
- Пета фаза: формулисање и организовање алгоритма за оптимизацију асинхроне електричне машине на бази аналитичких израза и матрице оптимизације електричне машине. Приказ резултата ће бити потврђен експериментално уз помоћ две експерименталне машине на којима ће бити спроведена сва релевантна испитивања.

7. Закључак и предлог

Комисија је узела у обзир релевантне чињенице које формирају слику о подобности теме и кандидата за реализацију предвиђених истраживања. Имајући у виду резултате досадашњег рада кандидата Петра Јеркана, који је показан у фази истраживања у оквиру докторске дисертације и његовог истраживачког искуства, Комисија је утврдила да је кандидат способан за научно-истраживачки рад, као и за реализацију предвиђених истраживања. Анализом предложене теме: "Развој и примена новог приступа пројектовању асинхроних машина са увећаним степеном корисног дејства и већом специфичном снагом", Комисија је закључила да непосредни циљеви, очекивани резултати и научни допринос, ове теме задовољавају све услове подобности за докторску дисертацију. При томе, ова комисија констатује да ова тема припада ужој научној области Електричне Махине, да Електротехнички Факултет Универзитета у Београду јесте матичан за ову научну област и при томе за ментора рада предлаже проф. др Слободана Вукосавића, запосленог на Електротехничком Факултету Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког Факултета Универзитета у Београду да прихвати тему докторске дисертације "Развој и примена новог приступа пројектовању асинхроних машина са увећаним степеном корисног дејства и већом специфичном снагом" и да кандидату Петру Јеркану омогући приступ њеној изради.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Слободан Н. Вукосавић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
(предложени ментор)

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

др Веран Васић, редовни професор
Универзитет у Новом Саду
(није запослен на ЕТФ у Београду)

др Милан Илић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
(члан комисије са ЕТФ)