

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милице Бановић.

Одлуком Наставно-научног већа бр. 2300-26, на 902. седници Изборног и Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Електротехничког факултета, одржаној у уторак, 10.12.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милице Бановић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме *Утицај магнетских јслебних летвица на локалну расподелу губитака код нисконапонских асинхроних машина великих снага*.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милица Бановић рођена је 29.12.1996. године у Новом Саду. Гимназију „Јован Јовановић Змај“ у Новом Саду, смер природно-математички, завршила је 2015. године.

Основне академске студије, студијски програм: Енергетика, електроника и телекомуникације уписује 2015. године на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду. Дипломирала је 22.7.2019. године као прва у својој генерацији на усмерењу Електроенергетика са оценом 10 на дипломском испиту и просечном оценом током студирања 10. Током студирања бива ангажована на Департману за енергетику, електронику и телекомуникације Факултета техничких наука у Новом Саду као сарадник-демонстратор у периоду од 2017. до 2019. године.

Уписује мастер академске студије електротехнике и рачунарства на Факултету техничких наука у Новом Саду, школске 2019/2020. године. Звање мастер инжењера електротехнике и рачунарства стиче на Департману за Енергетику, електронику и телекомуникације, смер Енергетска електроника и електричне машине. Мастер студије је завршила у року са укупном просечном оценом 10. Паралелно са похађањем мастер студија, школске 2019/2020., бива ангажована као сарадник у настави на Факултету техничких наука на Катедри за електроенергетику и примењено софтверско инжењерство. Завршни мастер рад под називом „Прорачун локалне расподеле снаге губитака у магнетном колу IPMSM-а применом FEA“ успешно је одбранила 25.09.2020. године, под менторством др Јеркан Дејана.

За изузетне резултате остварене током основних и мастер академских студија у јануару 2021. године јој је уручена Светосавска награда Факултета техничких наука, чиме је промовисана у најбољег студента Факултета за школску 2019/2020. годину.

На основу остварених резултата током основних и мастер академских студија, школске 2021/2022. уписује докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, под менторством академика проф. Слободана Вукосавића.

До сада је учествовала у изради и публикавању шест научних радова - један рад у часопису међународног значаја категорије M22, четири саопштења са научних скупова међународног значаја категорије M33 и један рад из часописа националног значаја категорије M53.

Од 2020. године, запослена је у развојно-истраживачком сектору аутомобилске индустрије.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је у току докторских студија положио следеће испите:

- 19Д011ППМ – Прелазне појаве у електричним машинама
ЕСПБ: 9 | Оцена: 10 | Датум полагања: 01.09.2023.
Наставник: Богдан Брковић
- 19Д081ММФ – Математичко моделовање физичко-техничких процеса
ЕСПБ: 9 | Оцена: 10 | Датум полагања: 09.07.2023.
Наставник: Братислав Иричанин
- 19Д091УНР – Увод у научни рад
ЕСПБ: 9 | Оцена: 10 | Датум полагања: 07.07.2023.
Наставник: Зоран Поповић
- 19Д011ЕП – Енергетски претварачи
ЕСПБ: 9 | Оцена: 10 | Датум полагања: 30.06.2022.
Наставник: Жељко Деспотовић
- 19Д011ИЕМ – Испитивање и одржавање електричних машина
ЕСПБ: 9 | Оцена: 10 | Датум полагања: 07.07.2022.
Наставник: Младен Терзић
- 19Д011МУП – Микропроцесорско управљање електромоторним погонима
ЕСПБ: 9 | Оцена: 10 | Датум полагања: 27.06.2022.
Наставник: Слободан Вукосавић
- 19Д011ОТМ – Општа теорија електричних машина
ЕСПБ: 6 | Оцена: 10 | Датум полагања: 07.02.2022.
Наставник: Слободан Вукосавић

Библиографија кандидата:

1. Mladen Vučković, Vladimir Popović, Dejan Jerkan, Milica Jarić, **Milica Banović**, Veran Vasić, Darko Marčetić, "Nonlinear Magnetic Model of IPMSM Based on the Frozen Permeability Technique Utilized in Improved MTPA Control", *Electronics*, 13 (2024) pp. 1-21, <https://doi.org/10.3390/electronics13040673>, ISSN 2079-9292, **IF: 2,6. (M22)**
2. **M. Banović**, B. Iričanin, D. Reljić and D. Jerkan, "Hybrid Iron Loss Model for IPMSMs in Wide-Speed Range Applications," 2023 22nd International Symposium on Power Electronics (Ee), Novi Sad, Serbia, 2023, pp. 01-06, doi: 10.1109/Ee59906.2023.10346165. **(M33)**
3. **M. Banović**, Ž. V. Despotović and D. Jerkan, "Increase in Efficiency of PMSM Drive Using Supercapacitor Storage," 2023 22nd International Symposium on Power Electronics (Ee), Novi Sad, Serbia, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/Ee59906.2023.10346126. **(M33)**
4. **M. Banović**, K. Vujkov, M. Terzić, D. Jerkan, "Modeling of High-Voltage Induction Machines with Fallen-out Magnetic Slot Wedges", 9th International Conference on

Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2022, ETRAN Society, Belgrade, Academic Mind, Belgrade, Novi Pazar, Serbia, Jun, 2022. pp. EEI1.5: 205-210 (M33)

5. S. Cvetićanin, B. Vujkov and **M. Banović**, "Fractional model and analytically determined response of DC motor with separate excitation," 2019 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/INFOTEH.2019.8717751. (M33)
6. **M. Banović**, D. Jerkan, "Proračun lokalne raspodele snage gubitaka u magenotnom kolu IPMSM-s primenom FEA", Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2020, ISSN 0350-428X, pp. 2006-2009, November 2020. (M53)

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података и изнесеног научноистраживачког рада кандидаткиње, може се закључити да је кандидаткиња стекла теоријско и практично знање у области енергетске електронике и електричних машина. Током докторских студија, кандидаткиња је успешно положила све испите са просечном оценом 10, што демонстрира њену способност за самосталан научноистраживачки рад.

Кандидаткиња је до сада објавила шест научних радова, од којих је један у часопису међународног значаја категорије M22, четири саопштења на научним скуповима међународног значаја категорије M33 и један рад у националном часопису категорије M53. Објављени радови (под 2, 4 и 6) су директно везани за тематику предложене докторске дисертације, што указује на значајан допринос кандидаткиње научноистраживачкој области. Тренутно је у фази рецензије и рад у часопису међународног значаја категорије M21 у којем ће се публиковати најзначајнији научни допринос будуће докторске дисертације. У оквиру својих истраживања, кандидаткиња је демонстрирала способност примене сложених математичких модела и иновативних инжењерских метода, као и коришћење софтверских алата заснованих на методу коначних елемената за нумеричку анализу посматраних проблема.

Поред научних активности, кандидаткиња је имала практично искуство кроз рад на Факултету техничких наука у Новом Саду, где је била ангажована као сарадник-демонстратор и сарадник у настави. Од 2020. године, запослена је у развојно-истраживачком сектору аутомобилске индустрије.

Будући да је кандидаткиња испунила формалне услове предвиђене планом и програмом докторских студија на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, Комисија констатује да је кандидаткиња у потпуности оспособљена и компетентна за израду докторске дисертације под насловом „Утицај магнетских жлебних летвица на локалну расподелу губитака код нисконапонских асинхроних машина великих снага“.

На основу наведеног, кандидаткиња испуњава све услове и поседује неопходна знања и вештине за успешну реализацију предложене теме докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања у оквиру докторске дисертације подразумева изучавање локалне расподеле губитака код нисконапонских асинхроних машина великих снага у циљу утврђивања доприноса повећању ефикасности применом магнетских жлебних летвица.

Порастом називних снага нисконапонских машина последично расту и интензитети струја. Управо су ове врсте машина, тј. нисконапонске машине великих снага, главни предмет овог истраживања. Обезбеђивање адекватне конфигурације и геометрије статорских намотаја којима се омогућава успостављање струја повећаних интензитета решава се на више различитих начина, увођењем паралелних грана у статорски намотај, али и преласком на профилне проводнике правоугаоног пресека. Такође се и роторски намотаји почињу израђивати од профилних бакарних штапова [1]. Отуда је нужно посезати за другачијим облицима отвора, како статорских, тако и роторских жлебова. Тиме се значајно повећава неравномерност ваздушног процепа, те последично и расте изобличење магнетског поља. Изобличење поља је двојачке природе, расте удео виших хармоничких чланова у просторној расподели магнетског поља, а уједно расте и његова вршна вредност. Услед тога расте и локална густина магнетских губитака у танком површинском слоју уз ваздушни процеп [2].

Оно што се уочава локалном анализом поља јесте да то нужно доводи до појаве губитака и у магнетском колу ротора, који могу бити веома значајни [3], [4]. Управо је утврђивање ове компоненте губитака један од значајних аспеката овог истраживања, јер се та компонента обично занемарује у укупној расподели губитака у машини. Највећа потешкоћа која прати појаву ове компоненте губитака је та што је концентрисана у танком површинском слоју ротора, који услед тога може имати значајна локална повишења температуре. Овим истраживањем ће се покушати правилно квантификовати неповољна запреминска расподела ових губитака, те могућности њиховог умањења применом магнетских жлебих летвица [5], [6].

Други веома важан феномен који се нарочито јавља код нисконапонских машина већих снага јесте и појава знатних губитака у штаповима ротора, чак и у режиму празног хода. Иако је машина практично на синхроној брзини, због постојања виших просторних хармоника у пољу, долази до индуковања паразитивних струја у штаповима ротора, које поседују фреквенције умношка броја статорских жлебова по полу. Реч је о успостављању струја повишених фреквенција, које ће услед површинског ефекта доминантно заузети део пресека штапа уз ваздушни процеп. Важно је напоменути да се кроз стандардне експерименте над машинама великих снага не може квантификовати овај удео у губицима, већ се њихова појава рачунским раздвајањем губитака приписује повећаним губицима у магнетском колу статора.

Једно од најчешће коришћених решења за овај проблем је управо примена магнетских жлебних летвица, којима се затварају отвори статорских жлебова. Реч је о летвицама које су у основи израђене изливањем епоксидних смола у које је импрегнисан феромагнетски прах у одређеној концентрацији. Циљ је да се добије материјал нешто увећане релативне пермеабилности, чиме се врши хомогенизација геометрије ваздушног процепа са аспекта магнетских својстава [7], [8].

Када се изврше експерименти на машини са и без убачених магнетних летвица, приметно је значајно смањење укупних губитака празног хода. Оно што изостаје у интерпретацији овог феномена јесте чињеница да се остварено смањење приписује у целости умањењу губитака у магнетском колу статора, што ће се показати као недовољно прецизно тумачење.

Предмет истраживања у оквиру ове докторске дисертације обухвата анализу губитака независних од оптерећења у нисконапонским кавезним асинхроним машинама великих снага, са посебним акцентом на утицај магнетских жлебних летвица на локалну расподелу ових губитака. Истраживање ће обухватити развој одговарајућег модела губитака за испитивање различитих феномена који доводе до појаве губитака у магнетском колу статора и ротора машине, укључујући и механизам настанка додатних губитака у штаповима кавезног намотаја ротора.

Циљ истраживања је правилна идентификација и квантитативно одређивање локалне расподеле установљених компоненти губитака независних од оптерећења, које се јављају у експлоатацији нисконапонских кавезних асинхроних машина великих снага, са нарочитим освртом на утицај магнетских жлебних летвица.

Значај истраживања огледа се у побољшању разумевања природе настанка и локалне расподеле губитака у асинхроним машинама, те у развоју нових конструкционих решења за оптимизацију њиховог рада. Поред тога, резултати истраживања ће допринети:

- Тачнијој процени експлоатационих трошкова и ефикасности машина великих снага.
- Развоју методологија за унапређење прорачуна губитака, што ће имати директан утицај на индустријску примену.
- Унапређењу пројектовања и конструкције асинхроних машина, с циљем смањења неповољних термичких и механичких утицаја.
- Могућности примене развијених модела прорачуна и на остале типове електричних машина, нарочито на синхроне машине великих снага.

3. Полазне хипотезе

Хипотеза претпоставља да се применом магнетских жлебних летвица може остварити значајно смањење губитака независних од оптерећења машине, али доминантно нестандардних и недовољно истражених компоненти губитака, као што су наведени губици у магнетском колу ротора и додатни губици празног хода у штаповима кавезног намотаја. Хипотеза опонира досадашњим, у референтној научној литератури увреженим тврђењима да се применом магнетских жлебних летвица умањују губици празног хода, али они који се искључиво приписују домену статора.

4. Научне методе истраживања

- Развој унапређеног теоријског модела прорачуна губитака у гвожђу и придруженог прорачуна додатних губитака празног хода у штаповима кавезног намотаја у локалној форми заснованим на методи коначних елемената.

У истраживању ће бити примењен модификовани модел, заснован на Бертотијевом моделу губитака [9], [10]. Компонента губитака услед вртложних струја биће израчуната према класичном Бертотијевом моделу, док ће статичка компонента бити одређена коришћењем степене функције добијене фитовањем измерених површина статичких хистерезисних петљи. Компонента додатних губитака ће се прорачунавати одузимањем измерених површина статичких петљи и компоненти губитака услед вртложних струја од измерених површина динамичких петљи. Након тога ће се фитовањем одредити рачунски коефицијенти и функционалне зависности помоћу којих ће се модификованим моделом прорачуна моћи квантификовати запреминска густина губитака, подесна за даље прорачуне у локалној форми.

Развијени модел треба да омогући прорачун губитака у локалној форми, којим се допушта израчунавање губитака на нивоу појединачних коначних елемената, како оних који припадају домену феромагнетског материјала, тако и оних у роторским штапним проводницима. Овај поступак није обједињен постојећим моделима прорачуна губитака [11]. Прорачун губитака у штаповима кавезног намотаја ће такође бити изведен у локалној форми, применом Фарадејевог закона и Џуловог закона, где ће се за имплементацију директно користити вредности магнетског вектор потенцијала у теменима коначних елемената, те њихова линеарна комбинација унутар троугаоних сегмената.

- Детаљно експериментално испитивање узорка феромагнетског материјала у облику торуса.

Увидом у литературу која се детаљније бави природом самих феромагнетских материјала (без нужне примене у конкретним врстама машина) може се закључити да варијацији губитака доприноси и њихова механичка обрада, јер се сечењем лимова по рубовима нарушава кристална структура, те се може очекивати да својства обрађених лимова могу осетно одступати од каталошких карактеристика произвођача [12], [13], [14], [15]. Установљено је и да губици у многоне зависе од просторног облика успостављеног магнетског поља, као и од услова напајања машина [16], [17], [18], [19], [20], [21].

Овим истраживањем спровешће се детаљна анализа узорка феромагнетског материјала у облику торуса, од којег ће се израдити и асинхрона машина, централни објекат разматрања. У погону произвођача машине, на истом алату за сечење, биће израђен торус из исте серије лимова као и сама машина. На торусу ће бити извршен низ експерименталних мерења у циљу добијања облика и димензија хистерезисних петљи у унапред дефинисаном распону. Извршиће се серија побуђивања торуса у циљу успостављања магнетске индукције у широком распону амплитуда (од 0.1 до 2.5 T), при опсегу учестаности од 1 до 60 Hz. Овим ће се обезбедити средство за даљу нумеричку обраду добијених хистерезисних петљи, које у суштини представљају запреминску густину укупних губитака у гвожђу.

- Математичко моделовање и нумеричке симулације применом методе коначних елемената.

Развиће се 2D симулациони FEM модел нисконапонске кавезне асинхроне машине велике снаге, без и са магнетским жлебним летвицама применом софтверских алата који нумерички имплементирају методу коначних елемената у анализи електромагнетских поља електричних машина. На основу добијених резултата FEM симулација, примениће се предложени модел губитака. Као резултат, добиће се детаљан увид у локалну расподелу губитака нисконапонске кавезне асинхроне машине велике снаге, у два одвојена случаја: без и са примењеним магнетским жлебним летвицама.

- Експериментална верификација модела.

У овом истраживању ће се извршити два експеримента на електричној машини, без и са уметнутим магнетским летвицама. Верификација предложеног поступка прорачуна губитака независних од оптерећења ће се извршити на нисконапонској кавезној асинхроној машини велике снаге. Резултати добијени прорачунима применом развијеног модела биће упоређени са резултатима мерења извршених на машини, чиме ће се верификовати предложени модел губитака и потврдити његова валидност кроз адекватно предвиђено смањење губитака постигнуто уметањем магнетских жлебних летвица.

Литература

- [1] L. Alberti and D. Troncon, "Design of Electric Motors and Power Drive Systems According to Efficiency Standards," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 68, no. 10, pp. 9287–9296, Oct. 2021, doi: 10.1109/TIE.2020.3020028.
- [2] J. Yan, C. Di, X. Bao, and Q. Zhu, "Iron Losses Model for Induction Machines Considering the Influence of Rotational Iron Losses," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 38, no. 2, pp. 971–981, Jun. 2023, doi: 10.1109/TEC.2022.3231881.
- [3] D. Zhang, H. Dai, H. Zhao, and T. Wu, "A Fast Identification Method for Rotor Flux Density Harmonics and Resulting Rotor Iron Losses of Inverter-Fed Induction Motors," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 7, pp. 5384–5394, Jul. 2018, doi: 10.1109/TIE.2017.2779432.
- [4] R. Kumar, B. Sah, and P. Kumar, "Stray Loss Formulation for Inverter-Driven Induction Motors for a Wide Range of Switching Frequency and Motor's Loading," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 71, no. 3, pp. 2385–2394, Mar. 2024, doi: 10.1109/TIE.2023.3269484.
- [5] S. Han et al., "In-Service Monitoring of Stator-Slot Magnetic Wedge Condition for Induction Motors," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 52, no. 4, pp. 2900–2910, Jul. 2016, doi: 10.1109/TIA.2016.2539128.

- [6] G. Stojčić, M. Vašak, N. Perić, G. Joksimović, and T. M. Wolbank, "Detection of Partially Fallen-Out Magnetic Slot Wedges in Inverter-Fed AC Machines at Lower Load Conditions," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 50, no. 2, pp. 1161–1167, Mar. 2014, doi: 10.1109/TIA.2013.2275955.
- [7] C. Verucchi, C. Ruschetti, E. Giraldo, G. Bossio, and J. Bossio, "Efficiency optimization in small induction motors using magnetic slot wedges," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 152, pp. 1–8, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.epsr.2017.06.012.
- [8] K. W. Lee et al., "Detection of Stator-Slot Magnetic Wedge Failures for Induction Motors Without Disassembly," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 50, no. 4, pp. 2410–2419, Jul. 2014, doi: 10.1109/TIA.2013.2290869.
- [9] G. Bertotti, "General properties of power losses in soft ferromagnetic materials," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 24, no. 1, pp. 621–630, Jan. 1988, doi: 10.1109/20.43994.
- [10] G. Bertotti, "Physical interpretation of eddy current losses in ferromagnetic materials. I. Theoretical considerations," *J. Appl. Phys.*, vol. 57, no. 6, pp. 2110–2117, Mar. 1985, doi: 10.1063/1.334404.
- [11] Z.-Q. Zhu et al., "Evaluation of Iron Loss Models in Electrical Machines," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 55, no. 2, pp. 1461–1472, Mar. 2019, doi: 10.1109/TIA.2018.2880674.
- [12] S. Yue, P. I. Anderson, Y. Li, Q. Yang, and A. Moses, "A Modified Inverse Vector Hysteresis Model for Nonoriented Electrical Steels Considering Anisotropy for FEA," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 36, no. 4, pp. 3251–3260, Dec. 2021, doi: 10.1109/TEC.2021.3073349.
- [13] M. Dems and K. Komeza, "The Influence of Electrical Sheet on the Core Losses at No-Load and Full-Load of Small Power Induction Motors," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 3, pp. 2433–2442, Mar. 2017, doi: 10.1109/TIE.2016.2587817.
- [14] S. Elfgen, S. Steentjes, S. Böhmer, D. Franck, and K. Hameyer, "Influences of Material Degradation Due to Laser Cutting on the Operating Behavior of PMSM Using a Continuous Local Material Model," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 53, no. 3, pp. 1978–1984, May 2017, doi: 10.1109/TIA.2017.2665338.
- [15] G. Bertotti, G. Di Schino, A. Ferro Milone, and F. Fiorillo, "ON THE EFFECT OF GRAIN SIZE ON MAGNETIC LOSSES OF 3% NON-ORIENTED SiFe," *J. Phys. Colloq.*, vol. 46, no. C6, pp. C6-385-C6-388, Sep. 1985, doi: 10.1051/jphyscol:1985671.
- [16] L. Ma, M. Sanada, S. Morimoto, and Y. Takeda, "Prediction of iron loss in rotating machines with rotational loss included," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 39, no. 4, pp. 2036–2041, Jul. 2003, doi: 10.1109/TMAG.2003.812706.
- [17] R. Kumar and P. Kumar, "Core Loss Estimation for an Inverter-Fed Induction Motor With More Accurate Realisation of Material Non-Linearity and Impact of Hysteresis Minor Loops," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 37, no. 1, pp. 327–336, Mar. 2022, doi: 10.1109/TEC.2021.3085764.
- [18] S. Abdi, E. Abdi, and R. McMahon, "A New Iron Loss Model for Brushless Doubly-Fed Machines With Hysteresis and Field Rotational Losses," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 36, no. 4, pp. 3221–3230, Dec. 2021, doi: 10.1109/TEC.2021.3075629.
- [19] H. Zhao et al., "An Improved Core Loss Model of Ferromagnetic Materials Considering High-Frequency and Nonsinusoidal Supply," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 57, no. 4, pp. 4336–4346, Jul. 2021, doi: 10.1109/TIA.2021.3072930.
- [20] S. Steentjes, K. Hameyer, D. Dolinar, and M. Petrun, "Iron-Loss and Magnetic Hysteresis Under Arbitrary Waveforms in NO Electrical Steel: A Comparative Study of Hysteresis Models," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 3, pp. 2511–2521, Mar. 2017, doi: 10.1109/TIE.2016.2570200.
- [21] J.-H. Seo, D.-K. Woo, T.-K. Chung, and H.-K. Jung, "A Study on Loss Characteristics of IPMSM for FCEV Considering the Rotating Field," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 46, no. 8, pp. 3213–3216, Aug. 2010, doi: 10.1109/TMAG.2010.2047849.

5. Очекивани научни допринос

Допринос овог истраживања огледаће се у постизању адекватне интерпретације расподеле укупних губитака независних од оптерећења код асинхроних машина великих снага, као и у правилном квантификовању утицаја магнетских жлебних летвица. Такође треба истаћи и допринос разумевању феномена губитака који одступају од традиционалне поделе. Примена развијених решења може помоћи у прецизнијој процени експлоатационих трошкова машина великих снага али и у предупредивању неповољних концентрација дисипације губитака у локално температурно осетљивим зонама попречног пресека машине.

6. План истраживања и структура рада

- Опсежни преглед научне литературе и анализа актуелног стања у области прорачуна губитака у магнетском колу нисконапонских кавезних асинхроних машина великих снага, са нарочитим освртом на утицај примене магнетских жлебних летвица.
- Истицање недостатака постојећих решења у наведеној литератури и формулисање хипотезе којом се поставља основ за научну расправу у овој докторској дисертацији, а којом се претпоставља да су постојећи поступци утврђивања доприноса магнетских жлебних летвица у смањењу губитака неодговарајуће истражени и квантификовани.
- Одговарајућа квантификација доприноса магнетских жлебних летвица биће омогућена развијањем унапређеног модела прорачуна губитака у гвожђу у локалној форми, те придруженог прорачуна додатних губитака празног хода у штаповима кавезног намотаја, такође у локалној форми.
- За потребе развијања модела прорачуна, односно одговарајућих рачунских коефицијената и функционалних зависности, најпре ће се извршити детаљно експериментално испитивање узорка феромагнетског материјала у облику торуса, од ког ће бити израђена и сама асинхрона машина која ће бити централни објекат разматрања.
- Развој симулационог *FEM* модела машине без и са магнетским летвицама применом софтверских алата који нумерички имплементирају методу коначних елемената у анализи електромагнетских поља електричних машина. Модел ће, добијеним излазним резултатима, омогућити спровођење прорачуна предвиђених унапређеним моделом губитака у локалној форми.
- Резултати *FEM* симулација, потпомогнути експерименталним резултатима испитивања огледног торуса омогућиће имплементацију предложеног модела губитака. Као резултат, добиће се детаљан увид у локалну расподелу губитака нисконапонске кавезне асинхроне машине велике снаге, у два одвојена случаја: без и са примењеним магнетским жлебним летвицама.
- Експериментална верификација предложеног поступка прорачуна губитака независних од оптерећења биће извршена на физички израђеној асинхроној машини кроз два одвојена огледа: прво путем испитивања машине која је израђена без уметнутих жлебних летвица, а затим након њиховог уметања.

Структуру рада потребно је усагласити са наведеним планом. С тим у вези, рад треба да буде подељен у засебне тематске и логичке целине кроз које је јасно могуће уочити имплементацију плана истраживања.

7. Закључак и предлог

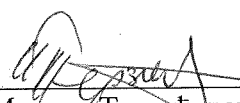
Предложена докторска дисертација кандидаткиње Милице Бановић представља актуелну и значајну научну тему у области електричних машина. Истраживање утицаја магнетских жлебних летвица на локалну расподелу губитака код нисконапонских асинхроних машина великих снага од великог је значаја за унапређење енергетске ефикасности и поузданости ових машина. Резултати истраживања могу допринети унапређењу конструкционих решења, оптимизацији рада електричних машина и смањењу губитака, што је од изузетне важности за индустријску примену и одрживи развој.

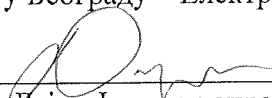
Увидом у биографске и библиографске податке кандидаткиње, као и прегледом њених досадашњих резултата на докторским студијама, укључујући објављене научне радове и успешну реализацију свих испитних и ваниспитних обавеза, може се закључити да кандидаткиња поседује адекватна теоријска и практична знања неопходна за успешну реализацију предложене теме. Њена истраживачка активност и професионални ангажман додатно потврђују њену оспособљеност за спровођење истраживања и израду докторске дисертације.

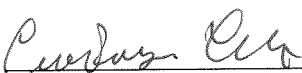
На основу наведеног, Комисија констатује да је тема докторске дисертације кандидаткиње Милице Бановић под насловом „Утицај магнетских жлебних летвица на локалну расподелу губитака код нисконапонских асинхронних машина великих снага“ научно утемељена и предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да исту усвоји. Тема дисертације се може сврстати у научну област Техничке науке – Електротехника, ужу научну област Енергетски претвараачи и погони, подобласт Електричне машине. За ментора за израду теме докторске дисертације Комисија предлаже академика проф. др Слободана Вукосавића.

Београд,
27.12.2024

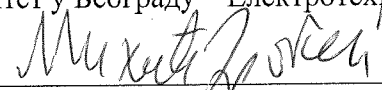
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Младен Терзић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Дејан Јеркан, ванредни професор
Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких Наука


др Слободан Савић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Братислав Иричанин, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Драган Микић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет