

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 07.10.2025 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Лука Коновалов под насловом „Анализа синхроног мотора са сталним магнетима методом коначних елемената“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Лука Коновалов је рођен 03.08.1999. године у Крагујевцу. Завршио је основну школу "Горан Остојић" у Јагодини као вуковац. Уписао је гимназију "Светозар Марковић" у Јагодини коју је такође завршио као вуковац. Електротехнички факултет је уписао 2018. године. Дипломирао је на одсеку за Енергетику 2023. године са просечном оценом 8,06. Дипломски рад одбранио је у септембру 2023. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за Енергетску ефикасност уписао је у октобру 2023. године. Положио је све испите са просечном оценом 9,6.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Лука Коновалов (2023/3354) је као припрему за израду мастер рада под насловом „Анализа синхроног мотора са сталним магнетима методом коначних елемената“ спровео студијско истраживање релевантне литературе из области пројектовања и анализе електричних машина. Циљ истраживања био је да се сагледају савремене методе нумеричке анализе и управљања синхроним моторима са сталним магнетима, као основа за формирање модела у оквиру мастер рада. Кандидат је анализирао осам релевантних извора који обухватају теме из области енергетски ефикасних електромотора, математичких модела, метода коначних елемената и алгоритама управљања (FOC, DTC, МТРА). Истраживање је укључило проучавање различитих типова топологија ротора, магнетних материјала и метода симулације у софтверу Ansys Electronics Desktop. У оквиру рада дефинисан је предмет анализе, утврђена структура рада и извршена припрема за практични део који подразумева моделирање и симулацију. Овим истраживањем постављени су темељи за израду нумеричког модела мотора и његову верификацију у оквиру мастер рада.

3. Опис мастер рада

Мастер рад садржи 52 странице текста, са укупно 54 слике, 5 табела и 8 референци. Рад садржи увод, 4 поглавља и закључак (укупно 6 поглавља), списак коришћене литературе, списак скраћеница, слика и табела.

У уводном поглављу истакнута је мотивација за избор теме, дефинисан је предмет истраживања и описана структура рада.

Друго поглавље обрађује математички модел трофазног СМСМ и основне принципе управљања. Представљене су стратегије FOC и DTC, као и МТРА алгоритам, који омогућава максимални момент за дату струју.

У трећем поглављу приказан је историјски развој метода електромагнетске анализе, описана је метода коначних елемената, као и софтвер Ansys Electronics Desktop 2020 R2 коришћен у раду.

Четврто поглавље садржи опис анализираног мотора и поступак формирања FEM модела, корак по корак, од геометрије и дефинисања материјала до постављања граничних услова и симулационих параметара.

У петом поглављу дати су резултати симулације и њихово поређење са експерименталним резултатима. Анализирани су жлебни момент, контраелектромоторна сила, индуктивности, ефикасност и механичка карактеристика.

Шесто поглавље садржи закључак рада, у којем су сумирани постигнути резултати, истакнута успешна верификација модела и предложени правци за будућа истраживања — попут 3D анализа и спрегнутих multiphysics симулација које обухватају електромагнетске, термалне и механичке ефекте.

4. Анализа са кључним резултатима

Синхрони мотори са сталним магнетима (СМСМ) представљају кључну компоненту савремених енергетски ефикасних погона због високе ефикасности, густине снаге и прецизне контроле. Посебно се издваја spoke-уре топологија, код које су магнети распоређени радијално у ротору и магнетисани у тангенцијалном

правцу. Такав распоред повећава магнетну индукцију у ваздушном зазору и омогућава примену јефтинијих феритних магнета без већег губитка перформанси. Због тога ова конфигурација налази примену у електромобилима, индустријским погонима и роботским системима, где су потребне високе перформансе и енергетска ефикасност.

Мастер рад Луке Коновалова заснива се на анализи spoke-type СМСМ-а применом методе коначних елемената (FEM) у софтверу Ansys Electronics Desktop. Истраживање је изведено на примеру индустријског мотора који се користи у систему хлађења, са циљем израде нумеричког модела за анализу електромагнетних параметара.

Анализирани су следећи аспекти: жлебни момент (cogging torque), понашање у празном ходу кроз таласни облик и спектар електромоторне силе, синхроне индуктивности у d- и q-оси и механичка карактеристика, однос момента и брзине.

Под оптерећењем је примењен алгоритам за максимални момент по амперу (МТРА), који оптимизује струје у статору ради постизања максималног момента уз минималну потрошњу енергије. У анализу су укључена ограничења инвертора и напона једносмерног међукола, што омогућава примену у реалним системима.

Резултати симулација упоређени су са експерименталним мерењима и показали су високо слагање, чиме је потврђена поузданост модела. Рад даје методологију за анализу и моделовање СМСМ-а и основу за даљу оптимизацију конструкције и управљања.

Основни резултати мастер рада су:

1. формирана методологија за пројектовање мотора;
2. одређене карактеристике као што су жлебни момент, електромоторна сила, индуктивности и ефикасност;
3. потврђено слагање симулација и мерења;
4. доказана применљивост методе коначних елемената за анализу и оптимизацију СМСМ-а.

5. Закључак и предлог

Кандидат Лука Коновалов је у свом мастер раду успешно анализирао синхрони мотор са сталним магнетима применом методе коначних елемената (FEM). У раду је представљена детаљна методологија формирања нумеричког модела, као и поступак симулације и анализе електромагнетских параметара мотора.

Симулиране су карактеристичне перформансе мотора, а добијени резултати показују висок степен слагања са експерименталним мерењима, чиме је верификован развијени модел и потврђена његова поузданост.

Даљи рад може бити усмерен ка развијању модела који уважавају ефекте техника модулације инвертора, тродимензионалне електромагнетске ефекте и спрегу електромагнетског, термичког и механичког домена у оквиру multiphysics анализа.

Током израде мастер рада кандидат је показао висок степен самосталности, систематичности и истраживачке зрелости.

На основу изложеног, Комисија за студије II степена Електротехничког факултета у Београду предлаже да се рад дипл. инж. Луке Коновалова прихвати као мастер рад и да се кандидату одобри јавна усмена одбрана.

Београд, 31.10.2025. године

Чланови комисије:

др Драган Мухић Ванредни професор
сагласан, 31.10.2025.

Жарко Копривица Асистент
сагласан, 31.10.2025.