



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73, 11000 Београд, Србија

Тел. 011/324-8464, Факс: 011/324-8681

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 06.06.2023. године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Александра Вуксановића под насловом „Напредни алгоритми управљања за повећање ефикасности ИПМ погонског мотора електричног аутомобила“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Александар Вуксановић је рођен 22.10.1998. године у Новом Пазару. Завршио је основну школу „Братство“ у Новом Пазару. Уписао је Гимназију у Новом Пазару коју је завршио са одличним успехом. Електротехнички факултет уписао је 2017. године. Дипломирао је на одсеку за Енергетику 2021. године са просечном оценом 8,86. Дипломски рад одбранио је у септембру 2021. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за Енергетску ефикасност, уписао је у октобру 2021. године. Положио је све испите са просечном оценом 10.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Александар Вуксановић (3205/2021) је као припрему за израду мастер рада „Напредни алгоритми управљања за повећање ефикасности ИПМ погонског мотора електричног аутомобила“ урадио истраживање релевантне литературе која се односи на област којој припада пријављена тема мастер рада. Конкретно, анализирани су могућности за повећање енергетске ефикасности електромоторних погона у виду примене напредних метода управљања за оптимизацију губитака засноване на моделу мотора. У оквиру истраживања коришћено је следећих 7 референци:

- [1] R. Krishnan, „*Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives*“, Electrical and Computer Engineering Department Virginia Tech Blacksburg, Virginia, U.S.A.
- [2] Zdeno Biel, Ján Vittek, Michal Hrke, „*Permanent Magnet Synchronous Motor Loss Minimization Control Strategies*“, University of Zilina, Department of Power Electrical Systems, Žilina, Slovakia, 978-1-4673-1179-3/12/\$31.00 2012 IEEE
- [3] Shigeo Morimoto, Yi Tong, Yoji Takeda, Taka Hirasa, „*Loss Minimization Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Drives*“, IEEE Transactions on industrial electronics, vol. 41, no. 5, October 1994
- [4] Ramin Monajemy, „*Control Strategies and Parameter Compensation for Permanent Magnet Synchronous Motor Drives*“, October 12, 2000 Blacksburg, Virginia
- [5] Byeong-Hwa Lee, Soon-O Kwon, Tao Sun, Jung-Pyo Hong, Geun-Ho Lee, Jin Hur, „*Modeling of Core Loss Resistance for - Equivalent Circuit Analysis of IPMSM considering Harmonic Linkage Flux*“, IEEE Transactions on magnetics, vol. 47, no. 5, May 2011
- [6] Slobodan N. Vukosavić, „*Digital Control of Electrical Drives*“, ISBN 978-0-387-48598-0

[7] www.pogoni.etf.rs, „Energetski efikasan elektromotorni pogon sa sinhronim motorom sa permanentnim magnetima“

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 100 страна са укупно 87 слика, 4 табеле, 4 прилога и 7 референци. Рад садржи 6 поглавља, списак коришћене литературе, списак скраћеница, списак слика, списак табела и прилоге.

Прво поглавље представља увод у тему мастер рада, са освртом на мере за повећање енергетске ефикасности савремених дигитално регулисаних електромоторних погона. У овом поглављу представљене су и главне предности имплементације синхроних мотора са унутрашњом монтажом перманентних магнета као погонске јединице електричног возила и дат је сажетак тема које су обрађене у преосталим поглављима. У другом поглављу приказан је математички модел на основу кога су изведени изрази за електричне губитке у мотору. Приказан је и поступак за одређивање оптималних параметара дигиталних регулатора који имају задатак да обезбеде најбржи могући, по могућству апериодични одзив система. На почетку трећег поглавља приложени су основни подаци о мотору и приказани су параметри који су коришћени у процесу имплементације управљачких алгоритама. У оквиру овог поглавља реализовано је четири методе управљања: **1)** Метода управљања погоном при константном углу између фазора флуksа у зазору машине и фазора статорске струје, **2)** Управљање погоном при оптималној вредности момента за јединичну вредност струје статора – МТПА, **3)** Метода управљања за минимизацију губитака – ЛМЦ и **4)** Управљање погоном при константној вредности губитака снаге – ЦПЛ. Наведене управљачке методе имплементирани су помоћу софтверског пакета MATLAB и усмерене ка оптимизацији перформанси мотора, смањењу губитака и повећању енергетске ефикасности. На крају овог поглавља извршена је упоредна анализа реализованих стратегија управљања на основу које су изведени одговарајући закључци. У четвртном поглављу анализирана је напредна метода за моделовање губитака која даје унапређени математички модел мотора уважавајући присуство виших хармоника флуksа. Примењене су одабране технике за одређивање зависности параметара мотора у функцији оптрећења помоћу софтверски пакета MATLAB и FEMM 4.2. У петом поглављу реализован је напреднији управљачки алгоритам који уважава промену параметара мотора приликом рада погона. У оквиру шестог поглавља, које уједно представља и закључак рада, изнет је сажетак добијених резултата и предложене су идеје за даље унапређење и оптимизацију управљачких алгоритама у циљу постизања веће енергетске ефикасности и смањења потрошње електричне енергије.

4. Анализа рада са кључним резултатима

Мастер рад Александра Вуксановића се састоји од две тематске целине.

У првој целини анализирани су и на погодан начин приказани сви електрични губици синхроног мотора са перманентним магнетима који се могу контролисати у савременим дигитално регулисаним електромоторним погонима. Анализоване су и имплементирани различите управљачке стратегије које генеришу оптималне вредности струја за сваку радну тачку погона. Тако израчунате референтне струје водиле су се помоћу упоредних *look-up* табела на улазе дигиталних струјних регулатора који имају задатак да обезбеде жељене перформансе рада погона. На основу прикупљених резултата, добијених симулацијама рада погона за различите стратегије управљања, извршена је упоредна анализа на основу које су изведени одговарајући закључци у виду постизања највећег степена енергетске ефикасности.

У другој целини анализирана је напредна метода за моделовање губитака која уважава сложенији математички модел мотора. Врши се унапређење управљачког алгоритма најефикасније стратегије управљања уважавањем променљивости параметара мотора током рада погона. Зависности параметара мотора од оптерећења одређене су помоћу софтверских пакета FEMM 4.2 и MATLAB. На основу познате геометрије и познатих података о мотору формиран је FEMM модел мотора којим се управља помоћу програмског кода написаног у MATLAB софтверском окружењу. На крају, извршена је упоредна анализа резултата добијених помоћу алгоритма који користи константне параметре и напреднијег алгоритма који уважава њихову променљивост.

Основни доприноси су:

- 1) Имплементацијом управљачких алгоритама постигнута је знатно већа ефикасност рада електромоторног погона у односу на стандардне управљачке методе;
- 2) Формиран је модел мотора помоћу којег су, применом одабраних техника, добијене жељене зависности параметара у функцији оптерећења;
- 3) Остварена је реалнија симулација рада погона применом напредног управљачког алгоритма који уважава променљивост параметара мотора приликом рада погона;

5. Закључак и предлог

Кандидат Александар Вуксановић је током израде свог мастер рада одговарајућу пажњу посветио анализи утицаја различитих управљачких стратегија на перформансе рада погонског мотора електричног аутомобила. Приказао је упоредну анализу свих релевантних резултата добијених имплементацијом управљачких алгоритама на основу којих је изнео одговарајуће закључке у виду повећања енергетске ефикасности и смањења потрошње електричне енергије. Развио је модел и применио одабране технике у процесу одређивања зависности параметара од оптерећења мотора. На крају, реализовао је напредни управљачки систем који уважава променљивост параметара приликом рада погона.

Кандидат Александар Вуксановић је исказао висок степен самосталности, систематичности и креативности у решавању проблематике изложене у свом раду. На основу горе наведеног, Комисија за преглед и оцену мастер рада Александра Вуксановића предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да прихвати рад под насловом „Напредни алгоритми управљања за повећање ефикасности ИПМ погонског мотора електричног аутомобила“ дипл. инж. Александра Вуксановића као мастер рад и одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 01.09.2023. год.

Чланови комисије:



Др Младен Терзић, ванр. проф.



Др Лепосава Ристић, ванр. проф.