

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 20.06.2023. године именовало нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Милије Голубовића под насловом „Пројектовање и анализа рада монофазног резонантног LLC претварача”. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Милија Голубовић је рођен 21.09.1998. године у Београду. Завршио је основну школу „Никола Тесла“ у Београду као носилац Вукове дипломе и ћак генерације. Уписао је 2013. године Математичку гимназију у Београду, смер за надарене ученике, коју је завршио 2017. године. Током школовања освојио је више награда на државним, окружним и општинским такмичењима из математике, физике и географије. Електротехнички факултет уписао је 2017. године. Дипломирао је на одсеку за Енергетику 2022. године са просечном оценом 8,53. Дипломски рад одбранио је 13. јула 2022. године са оценом 10. Мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за електроенергетске системе уписао је у октобру 2022. године. У периоду од фебруара до маја 2023. године боравио је на Политехничком Универзитету у Мадриду, у склопу Erasmus програма студентске размене.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Милија Голубовић је као припрему за израду мастер рада урадио истраживање релевантне литературе која се односи на област којој припада тема мастер рада. Истраживање је рађено у склопу програма размене на Политехничком универзитету у Мадриду – Центру за индустријску електронику. Конкретно, анализирана су постојећа решења и проблеми у области пројектовања резонантних LLC претварача. У оквиру истраживања су детаљније анализирани следеће референце:

- [1] J. Deng, S. Li, S. Hu, C. C. Mi and R. Ma, “Design Methodology of LLC Resonant Converters for Electric Vehicle Battery Chargers”, *IEEE Transactions on vehicular technology*, 63(4), 2014.
- [2] S. Abdel-Rahman: “Resonant LLC Converter: Operation and Design”, *Infineon Technologies North America (IFNA) Corp.*, 2012.
- [3] U.Khaled, H. Farh, S. Alissa, A. Abanmi, and O. Aldraimli. “Efficient Solution of the DC-Link Hard Switching Inverter of the PV System.” *Journal of King Saud University - Engineering Sciences. Elsevier BV.*, 2020.

У наведеним референцама, као и у осталој литератури приказаној у мастер раду, показана су решења за добијање константног напона на излазној страни (типично 12V, 24V или 48V) за широк опсег напона на улазу. У мастер раду пројектован је претварач, који је верификован кроз симулације, за константан напон на улазу, док се на излазу постиже широк опсег напона од чак 400V (500V-900V). Анализом потреба на тржишту и развоја пуњача за електрична возила у будућности, утврђено је да оваква топологија представља перспективно решење. Током рада на изради мастер тезе, у великој мери је коришћен софтверски пакет Plexim PLECS, веома савремен алат, дизајниран пре свега за разне врсте прорачуна у области енергетске електронике.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 39 страна, са укупно 28 слика, 1 табелом и 10 референци. Рад садржи увод, 6 поглавља и закључак (укупно 8 поглавља) и списак коришћене литературе.

Прво поглавље представља увод у коме су описаны предмет и циљ рада. Представљен је тренд пораста броја електричних аутомобила у свету, као и потреба за смањењем загађења и емисија штетних гасова. Описане су предности и одређене мане тренутних расположивих електричних возила.

У поглављу број 2 је објашњен разлог увођења LLC претварача и места на којима је та компонента нашла своју примену. Након тога, наведени су основни елементи од којих се он састоји, са кратким освртом на топологије и начин њиховог повезивања. Објашњено је како функционише резонантно коло, као најважнији део тог система.

Поглавље број 3 се бави аналитичким описивањем рада претварача. Изведена је преносна функција коју чини један разделник напона, и детаљно је показано како се долази до упрошћеног облика те функције, из кога се види које су величине од интереса. Побројане су све величине које су важне, и које ће се касније подешавати кроз процес пројектовања претварача, као што су однос између индуктивности расипања и магнећења, фактор доброте, односи међу фреквенцијама итд. Издвојене су две најважније фреквенције и објашњен је њихов утицај на рад претварача. Такође, приказане су и криве које се користе при избору параметара.

Након тога, у четвртом поглављу се демонстрирају три режима рада, у зависности од фреквенције, при чему су приказани смерови преноса снаге у колу. Повучене су границе између одређених региона и радне течке које су од интереса, као и границе међу регионима и критичне вредности параметара. Укратко је објашњен принцип прекидања струје у колу помоћу транзистора, те како се прекидање врши у тренутку проласка напона кроз нулу.

Пето поглавље је посвећено детаљнијем извођењу додатних веза међу параметрима, које на први поглед нису видљиве, као и минималне и максималне вредности преносне функције, које служе као битне смернице приликом пројектовања.

У шестом поглављу су дате и конкретне бројне вредности напона и струје које се захтевају од претварача, као и детаљан процес избора сваког параметра. Ту је представљен и избор преносног односа трансформатора, резонантне индуктивности и капацитивности, фактора доброте, као и одговарајуће индуктивности магнећења, а све се то унутар унапред дефинисаних граница.

Седмо поглавље, као последње поглавље пре закључка, даје графички приказ кључних величина које доказују да је пројектовани претварач испунио захтеве, односно да су струје и напони, као и одређене осцилације и сметње, унутар дозвољених граница. Одређени феномени од интереса су такође приказани, а првенствено управљање напоном на излазу из претварача променом фреквенције.

Осмо поглавље је закључак у оквиру кога је описан значај описаног решења и могућа даља унапређења. Резимирани су резултати рада, као и изазови приликом пројектовања и препоруке код којих електричних возила би овакво решење нашло примену.

4. Анализа рада са кључним резултатима

Мастер рад дипл. инж. Милије Голубовића се бави проблематиком дизајна, односно избора компоненти монофазног резонантног LLC претварача, а у циљу решавања захтеваног задатка: како постићи да напон на излазној страни буде у опсегу од 500 до 900 V, док је напон на улазу у претварач константне вредности, 700 V. Највећи акценат је стављен на управљање напоном променом фреквенције, а најважнији елементи целог претварача су

индуктивности магнећења и расипања, као и капацитивност у редној вези са индуктивношћу расипања. Такође, битан је и избор фактора доброте, као и још неких пратећих отпорности, индуктивности и капацитивности.

Основни доприноси рада су: 1) приказ и методологија пројектовања претварача са великим опсегом напона на излазу; 2) примена пројектованог претварача у оквиру различитих система за пуњење електричних аутомобила; 3) смернице за даљи рад на развоју овог претварача.

5. Закључак и предлог

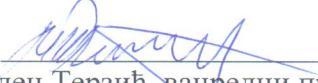
Кандидат дипл. инж. Милија Голубовић је у свом мастер раду успешно решио проблем пројектовања резонантног LLC претварача за потребе имплементације у пуњач батерија електричног возила. Приказани поступак даје јасан увид у основне параметре претварача као и њихову повезаност и утицај на перформансе самог претварача и система у који се он интегрише.

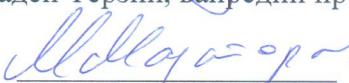
Кандидат је исказао самосталност и систематичност у своме поступку као и иновативне елементе у решавању проблематике овог рада.

На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да рад дипл. инж. Милије Голубовића прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 30.08.2023. године

Чланови комисије:


Др Младен Терзић, ванредни професор.


Др Милован Мајсторовић, асистент.