



# 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 31.08.2021. године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Немања Милошевића под насловом „Анализа примене енергетских филтара и дигиталне обраде сигнала код активног исправљача“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Биографски подаци кандидата

Немања Милошевић је рођен 26.03.1994. године у Прокупљу. Завршио је основну школу „Дринка Павловић“ у Куршумлији са одличним успехом као носилац дипломе „Вук Стефановић Караџић“. Уписао је Гимназију у Куршумлији 2009. године коју је завршио са одличним успехом и просеком 5,00. Електротехнички факултет у Београду је уписао 2013. године. Дипломирао је на студијском програму Електротехника и рачунаство, модул Енергетика 2017. године са просечном оценом 8,08. Дипломски рад је одбранио у септембру 2017. године са оценом 10. Мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду, на модулу Енергетска ефикасност уписао је у октобру 2017. године.

#### 2. Извештај о урађеном студијском истраживачком раду

Кандидат Немања Милошевић (3410/2020) је као припрему за израду мастер рада „Анализа примене енергетских филтара и дигиталне обраде сигнала код активног исправљача“ урадио истраживање релевантне литературе која се односи на област којој припада пријављена тема мастер рада. Анализирао је актуелно стање у области примене активних енергетских претварача на страни мреже код регулисаних електромоторних погона са аспекта рада са јединичним фактором снаге и ниским садржајем виших хармоника у мрежној струји. Детаљна анализа одговарајуће литературе имала је за циљ да омогући развој симулационог модела активног исправљача, избор начина управљања, као и избор методе за прорачун одговарајућег пасивног филтра, како би се елиминисали виши хармоници на учестаности комутација и њених целобројних умножака из састава мрежне струје. Додатно, анализа постојећих метода за синтезу дигиталних филтара, показала је да је њиховом применом могуће ублажити негативни утицај који имају хармоници на непарном умношку мрежне учестаности (највише пети и седми хармоник) у мрежном напону на перформансе активног исправљача. Утврђено је да је могуће изабрати одговарајућу комбинацију филтара која ће обезбедити најмање изобличење мрежне струје, односно најмањи THD (Total Harmonic Distorsion).

#### 3. Опис мастер рада

На основу претходно описаног студијског истраживачког рада кандидат је урадио мастер рад који обухвата 82 стране са укупно 55 слика, две табеле, једним прилогом и са 19 референци. Рад садржи 6 поглавља и списак коришћене литературе.

Прво поглавље представља увод у тему, мотивацију, предмет, циљ и организацију мастер рада. У другом поглављу је дат теоријски увод о енергетским исправљачима са акцентом на активног исправљачу, односно објашњени су типови исправљача, њихове разлике, предности и мане. Приказане су основне компоненте активног исправљача, изведен математички модел, објашњено управљање активним исправљачем и приказан детаљан прорачун параметара  $PI$  регулатора у струјној и напонској управљачкој петљи. Треће

поглавље се односи на синтезу улазног *LCL* филтра. Описана је улога и предности овог типа филтра који се користи у спречи са активним исправљачем. Такође је дат и теоријски увод о пасивним филтрима, приказана метода избора параметара *LCL* филтра и приложени су описи критеријума који су коришћени приликом избора тих параметара. У четвртном поглављу је приказан прелазак из континуалног у дискретни домен, како би се увели дигитални филтри и филтрирање сигнала. Такође у су описане нежељене појаве које се јављају током дискретизације сигнала. Пето поглавље се односи на дигиталне филтре, као и на њихову имплементацију у управљачки систем активног исправљача. Овде су објашњени типови дигиталних филтара и начин њиховог функционисања, показан је начин пројектовања дигиталног филтра који се користи у симулацији, као и побољшање у раду самог исправљача након његове имплементације. На крају рада, изведен је закључак, где је констатовано да је укупни хармонијски садржај мрежне струје након имплементације енергетског и дигиталног филтра знатно смањен.

#### 4. Анализа рада са кључним резултатима

Одговарајућа пажња у раду је посвећена теоријској основи на којој се базира динамички модел активног исправљача. Једна од његових главних особина јесте да из мреже узима струје које су готово синусоидалне, захваљујући начину управљања и високој фреквенцији прекидања транзистора и тако доприноси смањењу запрљаности мреже вишим хармоницима напона и струја, што је у складу са све строжим стандардима којима се дефинише захтевани квалитет напона и струје. Међутим, свака дисторзија мрежног напона, чак и у границама дозвољеног, негативно утиче на хармонијски садржај линијских струја. У овом раду је моделован активни исправљач који се напаја напоном из реалног извора који у себи садржи више хармонике у стандардом дефинисаним границама, са циљем је да се применом енергетских филтара и дигиталне обраде сигнала постигне да улазна струја у исправљач буде што приближнија синусоиди. Резултати симулација на моделу активног исправљача са примењеним *LCL* филтром, за који је детаљно приказана метода избора параметара са јасним описом критеријума за њихов избор, потврдили су очекивано смањење хармонијског садржаја струје са мрежне и исправљачке стране. Што се тиче дигиталних филтара, у оквиру мастер рада су пројектована два типа, пропусник виших учестаности и пропусник ниских учестаности који су употребљени у симулацији, у оквиру управљачког дела модела активног исправљача. Приложена је теоријска подлога о начину пројектовања ових филтара као и о њиховој примени у симулацији. На крају, приказани су резултати симулације, где је примењен *FIR (Finite Impulse Response)* дигитални филтар пропусник ниских учестаности (*LP-LowPass*) за филтрирање улазног напона и добијање сигнала који се даље користи у управљачком делу, заједно са њему комплементарним филтром пропусником виших учестаности (*HP-HighPass*), који селекује само више хармонике из сигнала улазног напона, додаје их на излаз управљачког кола, а затим прослеђује на *PWM* компаратор. Теоријско објашњење за овакав приступ је дато у раду. Спектрална анализа сигнала мрежне струје показала је да је дошло до смањења *THDi* струје са 2.8% на 1.6%. Ово преставља врло добар резултат, са обзиром на то да примена дигиталних филтара не изискује употребу додатних материјала, већ је чисто софтверске природе.

#### 5. Закључак и предлог

Кандидат Немања Милошевић је у свом мастер раду одговарајућу пажњу посветио теоријској основи на којој се базира рад једне од најчешће коришћених топологија енергетских претварача да би развио динамички модел у одговарајућем софтверу. Затим је одредио параметре регулатора задужених за регулацију струје и једносмерног напона, а у циљу имплементације управљачког алгорита у динамички модел, тако да су симулацијама на моделу тестиране перформансе исправљача. Након тога, извршио је прорачун параметара улазног енергетског *LCL* филтра, на основу дефинисаних критеријума. Резултати симулација на моделу потврдили су како се правилним пројектовањем филтара, у виду енергетског *LCL* филтра који се налази у хардверском делу активног исправљача и дигиталног филтра који је

имплементиран у софтверском делу активног исправљача , може облик сигнала улазне струје приближити синусоиди, без обзира на садржај хармоника у мрежном напону, уколико је тај садржај у стандардом дефинисаним границама, што је био основни циљ овог рада.

Кандидат Немања Милошевић је исказао висок степен самосталности, систематичности и креативности у решавању проблематике изложене у свом раду, као и аналитичност и инжењерску зрелост. На основу горе наведеног, Комисија за преглед и оцену мастер рада Немање Милошевића предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да прихвати рад „Анализа примене енергетских филтара и дигиталне обраде сигнала код активног исправљача“ дипл. инж. Немање Милошевића као мастер рад и одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 17.06.2022. год.

Чланови комисије:



др Лепосава Ристић, ванредни професор



др Јелена Тертић, ванредни професор



др Милан Бебић, ванредни професор