

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 12.08.2025 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Мила Глигоријевић под насловом „Активно исправљање у секундарном колу LLC резонантног претварача“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Мила Глигоријевић је рођена 24.11.1997. године у Београду. Завршила је основну школу „Јован Миодраговић“ у Београду као вуковац. Уписала је Четрнаесту београдску гимназију, коју је завршила такође као вуковац. Електротехнички факултет уписала је 2016. године. Током студија била је члан „H-bridges“ студентског тима, унутар којег је била члан хардвер тима, који је учествовао на „International Future Energy Challenge (IFEC)“ такмичењу, организованом од стране „Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)“. Пројекат на којем је радила освојио је друго место у финалу такмичења. Дипломирала је на одсеку Енергетика 2023. године. Дипломски рад одбранила је у септембру 2023. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за енергетску ефикасност уписала је у октобру 2023. године. Тренутно има положених четири од пет испита, са просечном оценом 9,5.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидаткиња је као припрему за израду мастер рада спровела истраживање релевантне литературе из области резонантних LLC претварача и синхроног исправљања. Посебна пажња посвећена је механизмима настанка губитака у секундарном исправљачком колу, могућностима њиховог смањења заменом диода MOSFET транзисторима, као и различитим стратегијама генерисања управљачких сигнала за транзисторе синхроног исправљача.

У оквиру истраживања анализиран је рад LLC резонантног претварача у различитим радним режимима, са освртом на услове за постизање меке комутације и утицај прекидачке фреквенције и оптерећења на понашање претварача. Спроведена је анализа губитака диодног и синхроног исправљача коришћењем параметара реалних полупроводничких компоненти и одговарајућих софтверских модела. За прорачун и симулацију коришћени су MATLAB/Simulink и LTSpice.

На основу прегледа постојећих приступа синхроним исправљању развијено је дигитално решење управљања засновано на DSP-у TMS320F28335 из фамилије C2000 и драјверу UCD7138 са детекцијом вођења body диоде. Управљачки алгоритам користи eCAP периферију за мерење трајања вођења body диоде и ePWM периферију за генерисање управљачких сигнала, при чему се duty cycle SR MOSFET-а итеративно прилагођава у циљу смањења губитака и очувања безбедног режима рада.

Развијено решење је експериментално испитано на хардверској платформи дигитално контролисаног LLC претварача снаге 300 W. Испитивања су обухватила рад у режиму константног напона и константне струје, поређење рада са укљученим и искљученим синхроним исправљањем, мерење температуре прекидачких компоненти, анализу таласних облика и праћење прелазног процеса при активирању алгоритма.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 39 страна, 29 слика, 3 табеле и 12 библиографских навода. Рад је организован у шест поглавља, након којих су дати списак литературе, списак скраћеница, слика и табела.

У уводном поглављу образложена је примена LLC резонантних претварача и мотивација за увођење синхроног исправљања ради смањења губитака у секундарном колу. У другом поглављу описани су развој, принцип рада и карактеристични режими LLC резонантног претварача, укључујући функцију преноса и услове за ZVS и ZCS рад.

Треће поглавље посвећено је анализи губитака у исправљачу и поређењу диоде и MOSFET транзистора као прекидачких елемената. У четвртом поглављу дат је преглед принципа синхроног исправљања и различитих метода генерисања управљачких сигнала, са освртом на проблеме преурањеног и закаснелог укључења и искључења транзистора.

У петом поглављу описана је експериментална реализација на LLC претварачу снаге 300 W, коришћени микроконтролер и драјвери, као и развијени алгоритам синхроног исправљања. Приказани су експериментални резултати у режиму рада са константним напоном (CV) и константном струјом (CC) и прелазни процес при укључењу синхроног исправљања. У закључку су сумирани добијени резултати и наведени могући правци даљег развоја.

4. Анализа са кључним резултатима

Мастер рад се бави смањењем губитака у секундарном колу LLC резонантног претварача применом дигитално управљаног синхроног исправљања. На основу прорачуна и симулација показано је да замена диода MOSFET транзисторима доводи до значајног смањења губитака исправљачког степена. У свим разматраним радним режимима губици су применом синхроног исправљања смањени најмање шест пута.

За реализацију синхроног исправљања развијен је дигитални алгоритам на дигиталном сигналном процесору. Алгоритам користи информацију о трајању вођења *body* диоде и итеративно подешава *duty cycle* SR MOSFET-а у дефинисаним границама. На тај начин смањује се време вођења *body* диоде, уз задржавање сигурносне маргине која спречава нежељено преклапање управљачких сигнала.

Експериментална верификација на претварачу снаге 300 W потврдила је исправност предложеног приступа. У CV и CC режимима измерена температура прекидачких компоненти била је значајно нижа при укљученом синхроним исправљању. Осцилоскопски снимци потврдили су правилно генерисање управљачких сигнала и очекивано понашање алгоритма, док је анализом прелазног процеса показано постепено повећање *duty cycle*-а SR MOSFET-а до устаљене вредности.

5. Закључак и предлог

Кандидаткиња Мила Глигоријевић је у мастер раду успешно анализирала могућност смањења губитака секундарног исправљачког кола LLC резонантног претварача применом синхроног исправљања. Развијен је и имплементиран дигитални алгоритам управљања заснован на DSP-у из фамилије C2000 и драјверу са детекцијом вођења body диоде. Исправност предложеног решења потврђена је прорачуном, симулацијама и експерименталним испитивањем на хардверском прототипу снаге 300 W.

Добијени резултати показују значајно смањење губитака и температуре прекидачких компоненти при примени синхроног исправљања, као и поуздано функционисање развијеног алгоритма у различитим режимима рада. Кандидаткиња је током израде рада показала способност повезивања теоријске анализе, софтверског моделовања, програмирања дигиталног управљачког система и експерименталне верификације.

На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да мастер рад кандидаткиње Миле Глигоријевић прихвати и одобри његову јавну усмену одбрану.

Београд, 27.08.2026. године

Чланови комисије:

др Богдан Брковић Ванредни професор
сагласан, 27.08.2026.

Милован Мајсторовић Асистент
сагласан, 27.08.2026.