

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 02.07.2026 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Тодор Александровић под насловом „Управљање вишенивовским претвараčem са летећим кондензатором у фотонапонским системима за потискивање осцилација напона на једносмерном међуколу". Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Тодор Александровић рођен је 27. априла 2002. године у Београду. У истом граду завршио је основну школу “Краљ Александар I”, са одличним просеком. У средњој школи је учествовао у више дебатних такмичења и такмичења студије случаја, а потом матурирао из Девете Београдске Гимназије, такође са одличним просеком. Електротехнички факултет је уписао 2021. године као студент буџета. Као члан студентског тима H-Bridges са Електротехничког факултета, учествовао је на међународном такмичењу IEEE IFES 2024. и 2025. године, и током тог времена освојио две четврте награде у оквиру овог такмичења, као и другу награду на националном такмичењу за Најбољу Технолошку Иновацију. Током основних студија био је међу ауторима на два научна рада у оквиру саветовања CIGRE Србија. Дипломирао је са Електротехничког факултета 2025. године са просечном оценом 8.89. Тренутно похађа мастер академске студије на истом факултету и стипендиста је IPCEI програма компаније Infineon Technologies Austria AG. Током мастер студија био је први аутор једног научног рада у оквиру међународне конференције IcETRAN. Један је од оснивача стартап компаније H4SOUND DOO која успешно послује од априла 2025. године.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Тодор Александровић је као припрему за израду мастер рада спровео истраживање релевантне литературе из области фотонапонских система прикључених на нисконапонску дистрибутивну мрежу, претварачких топологија, конкретно активних филтара са два прекидача и вишенивовских претварача са летећим кондензатором, метода пројектовања регулације за потискивање осцилација напона на кондензатору једносмерног међукола, као и критеријума стабилности вишестепених енергетских претварача.

Истражени су принципи рада енергетских претварача са летећим кондензатором и методе пројектовања регулације на основу модела за мале сигнале. Посебна пажња посвећена је карактеризацији ограничења у регулацији ових претварача у погледу линеарности модулятора. Пројектован је метод регулације претварача којим се ова ограничења превазилазе.

За потребе рада развијени су симулациони модели у програмском пакету Simulink/MATLAB, који служе као почетна верификација пројектоване регулације. Алгоритми регулације имплементирани су на дигиталном сигналном процесору произвођача Texas Instruments серије C2000 и верификовани у реалном времену на Turphoon HIL (енг. hardware-in-the-loop) емулятору енергетског дела система.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 56 страна од чега прилог обухвата 4 стране, са укупно 28 слика, 5 табела и 26 референци. Рад садржи увод, 6 поглавља и закључак (укупно 8 поглавља) и списак коришћене литературе. Рад је написан на енглеском језику.

У уводу су описани изазови једнофазних фотонапонских претварача, пре свега пулсација напона на двострукој учестаности мреже која захтева употребу великих електролитских кондензатора. Приказани су поступци компензације другог хармоника и предности вишенивовских претварача са летећим кондензатором (FCML). Као циљ рада је дефинисан развој алгоритма дигиталног управљања које компензује нелинеарности уз рад у тачки максималне снаге при делимичном засенчењу.

У другом поглављу изведен је модел настанка таласности другог хармоника, упоређене топологије активних филтара и усвојен приступ компензације применом FCML претварача. Изведена је динамичка референца напона летећег кондензатора и мултиваријабилна управљачка структура.

Треће поглавље даје моделе за синтезу управљања: динамички Тевененов еквивалент фотонапонског извора, МРРТ алгоритам са инкременталном кондуктансом и усредњени модел малих сигнала у простору

стања, уз израз за највећи удео компензоване енергије при коме модулатор остаје линеаран. У четвртом поглављу пројектован је дигитални управљачки систем: каскаде напонским регулаторима, регулатор напона летећег кондензатора и регулатор мрежне струје, уз уважавање дигиталног кашњења. Пето поглавље анализира стабилност каскадне везе претварача Мидлбруковим критеријумом, преко импеданси FCML претварача и инвертора, чијим обликовањем су добијена појачања регулатора. Шесто поглавље даје верификацију у Simulink/MATLAB-у и реалном времену на емулятору Turphoon HIL 404, у стационарним и прелазним режимима при различитој осунчаности. Седмо поглавље упоређује перформансе преко параметра квалитета запремине реактивних компоненти и анализира трошкове полупроводника. Осмо поглавље даје критички закључак и правце даљег истраживања.

4. Анализа са кључним резултатима

Мастер рад дипл. инж. Тодора Александровића бави се проблематиком елиминације електролитских кондензатора из једнофазних фотонапонских претварача компензацијом другог хармоника таласности, и то применом вишенивовског претварача са летећим кондензатором у улазном претварачком степену. Оваква решења налазе примену у дистрибуираним фотонапонским системима мале снаге, где су радни век претварача и мала запремина од нарочитог интереса.

Управљачки систем је пројектован на основу усредњеног модела за мале сигнале, имплементиран на микроконтролеру произвођача Texas Instruments серије C2000 и верификован у реалном времену на Turphoon HIL емулятору система.

Основни резултати рада су: 1) карактеризација ограничења усредњеног модела за мале сигнале FCML претварача у погледу линеарности модулатора и извођење изрази за највећи допустиви удео компензоване енергије таласности; 2) синтеза дигиталног управљачког система са раздвајањем петљи, којим се наведена ограничења превазилазе; 3) оптимизација запремине реактивних компоненти са анализом компромиса у погледу напонског напрезања полупроводника и остварење смањења запремине од 50.54% у односу на решења са електролитским кондензатором.

5. Закључак и предлог

Кандидат Тодор Александровић је у свом мастер раду успешно спровео све фазе истраживања, развио и валидирао методологију и придружени алгоритам дигиталног управљања за компензацију енергије другог хармоника у једнофазним фотонапонским претварачима. Предложени алгоритам обезбеђује очување линеарности модулятора и стабилности каскадне регулационе структуре, поуздано компензује таласност напона на једносмерном међуколу и одржава рад у тачки максималне снаге, при делимичном засенчењу фотонапонског панела. Предложена решења могу значајно да унапреде густину снаге и радни век овакве класе претварача.

Кандидат је јасно назначио начињене апроксимације и исте је током истраживања испитао у наменским програмским алатима. У раду су дате јасне смернице за даља истраживања у области као и могућност практичне примене. 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. Тодора Александровића прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 11.09.2026. године

Чланови комисије:

др Александар Милић Доцент
сагласан, 11.09.2026.

др Зоран Стојановић Редовни професор
сагласан, 11.09.2026.

др Никола Мирковић Научни сарадник
сагласан, 11.09.2026.