

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 17.06.2026 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Лука Богојевић под насловом „Систем за директно дигитално генерисање RF сигнала“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Лука Богојевић је рођен 18.06.1998. године у Шапцу. Завршио је основну школу „Николај Велимировић“ у Шапцу као вуковац. Уписао је Шабачку гимназију у Шапцу коју је завршио са одличним успехом. Електротехнички факултет уписао је 2017. године. Дипломирао је на одсеку за Електронику 2023. године са просечном оценом 8,00. Дипломски рад одбранио је у септембру 2023. године са оценом 10. Мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду, на модулу за Електронику и дигиталне системе уписао је у октобру 2023. године.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Лука Богојевић је у току припреме за израду мастер рада урадио истраживање релевантне литературе која се односи на област којој припада мастер рад. Релевантна литература обухвата уџбенике и научне радове из области дигиталне обраде сигнала, теорије и реализација делта-сигма модулятора, као и архитектура потпуно дигиталних система за генерисање RF сигнала. При анализи постојећих архитектура посебна пажња је усмерена на могућности поједностављења реализације и потребних хардверских ресурса уз минималну деградацију перформанси, као што су однос сигнал/шум, потискивање симетричног опсега итд. Модификацијом постојећих делта-сигма модулятора добијена је двостепена архитектура у којој је први степен вишебитни делта-сигма модулар, док је други степен табела која апроксимира једнобитни делта-сигма модулар.

3. Опис мастер рада

Прво поглавље мастер рада је увод у коме су описани предмет и циљ рада.

У другом поглављу се разматра архитектура система за директно дигитално генерисање RF сигнала. Дат је преглед теорије делта-сигма модулације, анализа остваривог односа сигнал/шум у зависности од реда модулятора и ширине дигиталне речи на излазу, као и предности вишебитних у односу на једнобитне модулаторе. Разматра се и редукција вишебитног сигнала на једнобитни сигнал више учестаности одабирања у отвореној спрези, применом табеле. Редукција ширине речи у отвореној спрези значајно смањује комплексност реализације уз минималну деградацију односа сигнал/шум. На крају другог поглавља се разматра и реконструкција комплексног сигнала, проблем фреквенцијски зависног фазног одзива кола за реконструкцију и технике побољшања потискивања симетричног опсега.

У трећем поглављу се разматра реализација система. Дат је пример пројектовања и реализације вишебитног делта-сигма модулятора и симулиран је однос сигнал/шум. Поред тога, извршена је квантизација коефицијената на мали број сабирака степена двојке, тако да се уместо множака могу користити сабирачи и померачи. Разматрана је редукција вишебитног у једнобитни сигнал применом табеле и извршена је провера да је очуван однос сигнал/шум. На крају је разматрано и коло за реконструкцију комплексног сигнала, као и начини за побољшање потискивања симетричног опсега.

Четврто поглавље је закључак у којем су сумирани резултати рада.

Додатак А садржи помоћне C++ функције које су коришћене у изради рада.

4. Анализа са кључним резултатима

У мастер раду дипл. инж. Луке Богојевића представљен је систем за директно дигитално генерисање RF сигнала. У оквиру рада се разматрају теоријске основе делта-сигма модулације, оствариви однос сигнал/шум у зависности од реда модулятора, фактора повећања учестаности одабирања и ширине излазне речи, као и предности вишебитних у односу на једнобитне делта-сигма модулаторе. Приказан је поступак пројектовања вишебитног делта-сигма модулятора вишег реда са нулама у преносној функцији за шум, којим се може остварити већи однос сигнал/шум, за исти однос повећања учестаности одабирања, у

поређењу са модулаторима који немају коначне нуле. Пројектована функција преноса петог реда је затим реализована CRFBD топологијом, и симулацијом је потврђена коректност.

Ради флексибилности у избору ширине речи и једноставности провере, модели делта-сигма модулатора су реализовани у C++ библиотеци HLSLibs која подржава типове података у фиксном зарезу и бит-егзактно извршава аритметичке операције над њима. Поред тога, реализовани C++ модели се могу без измена синтетизовати у хардверску реализацију софтверским алатима.

Даље смањење комплексности је постигнуто употребом другог степена реализованог табелом од 16 података дужине речи 19 бита, која је еквивалент делта-сигма модулатора у отвореној спрези. Поред веома једноставне хардверске реализације табеле, предност се огледа и у томе што је други степен безусловно стабилан, за разлику од једнобитног делта-сигма модулатора који користи повратну спрежу. Без обзира на једноставност реализације, симулацијом је показано да други степен не деградира однос сигнал/шум. На крају, показано је коло за директну реконструкцију једнобитног комплексног сигнала у основном опсегу учестаности на RF учестаностима.

Резултати овог мастер рада се огледају у поступку пројектовања система за директно дигитално генерисање RF сигнала. Систем користи двостепену архитектуру како би се поједноставила реализација уз занемарљиву деградацију односа сигнал/шум.

5. Закључак и предлог

Кандидат Лука Богојевић је у свом мастер раду успешно пројектовао систем за директно дигитално генерисање RF сигнала. Модел система је пројектован коришћењем C++ библиотека са аритметиком у фиксном зарезу, које омогућавају бит-егзактну симулацију и пружају флексибилност избора ширине речи, а при томе се директно могу синтетизовати у хардверску реализацију. Избор архитектуре и друге оптимизације су резултовале значајним смањењем комплексности, а да при томе систем ради у складу са теоријским очекивањима.

Кандидат је исказао самосталност и систематичност у свом раду.

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

Београд, 06.09.2026. године

Чланови комисије:

др Душан Грујић Ванредни професор
сагласан, 04.09.2026.

др Никола Петровић Доцент
сагласан, 06.09.2026.