

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 23.06.2026 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Филип Радојевић под насловом „Развој симулатора батеријски напајаних наменских система“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Рођен сам 9. августа 2001. године у Пожаревцу. Основну школу „Јован Цвијић“ завршио сам у Костолцу, а након тога уписао сам Пожаревачку гимназију, коју сам завршио 2020. године.

Исте године уписао сам Електротехнички факултет Универзитета у Београду. Након завршене прве године студија определио сам се за модул Електроника и дигитални системи, на коме сам дипломирао у септембру 2024. године са просечном оценом 9,00. Под менторством проф. др Ненада Јовичића одбранио сам дипломски рад под називом „Програмски језик Rust – примена, карактеристике и имплементација у наменским системима“, са оценом 10.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Филип Радојевић је, као припрему за израду мастер рада, спровео истраживање релевантне научне и стручне литературе из области батеријски напајаних уграђених система, процене стања напуњености батерије (енгл. State of Charge, SoC) и енергетски ефикасне имплементације алгоритама за управљање батеријом.

У оквиру истраживања посебна пажња посвећена је анализи начина на који рад самог наменског уређаја, односно извршавање основних системских задатака, утиче на укупну потрошњу енергије батерије, као и додатном утицају који извршавање естимационог алгорита за процену SoC-а има на ту потрошњу. Истражени су начини на које се ова два извора потрошње, потрошња платформе током редовног рада и потрошња проузрокована извршавањем естимационог алгорита могу заједно сагледати како би се добио обједињени енергетски утрошак целокупног система.

Анализиране су три основне групе метода за процену стања напуњености батерије (SoC): кулоново бројање, методе засноване на мерењу напона и методе које користе моделе батерије. Посебна пажња посвећена је проширеном Калмановом филтру (енгл. Extended Kalman Filter, EKF), који омогућава процену SoC-а на основу мерених величина и модела понашања батерије. Разматрана је његова примена са еквивалентним електричним моделима батерије, пре свега са Rint моделом, односно моделом првог реда, и моделом двоструке поларизације (енгл. Dual Polarization, DP). За ове моделе размотрен је поступак примене EKF-а, који обухвата кораке предикције и корекције, као и линеаризацију модела помоћу Јакобијевих матрица и подешавање коваријационих матрица шума. Истражене су и могућности постојећих комерцијалних и академских алата за анализу батеријских система, при чему је уочено да се у доступним решењима ретко истовремено разматрају тачност естимације стања напуњености и енергетски трошак извршавања естимационог алгорита на циљној хардверској платформи.

На основу спроведеног истраживања дефинисани су концепт, архитектура и функционални захтеви обједињеног софтверског симулатора који истовремено моделује понашање батерије и извршавање естимационих алгоритама, третирајући алгоритама као активног потрошача енергије унутар система. Такође су дефинисани сценарији за експерименталну евалуацију и методологија поређења естимационих алгоритама у идентичним условима рада.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 56 страна, са укупно 29 слика, 8 табела и 16 референци. Рад садржи увод, три тематска поглавља и закључак, односно укупно пет поглавља, као и списак коришћене литературе.

У првом поглављу (Увод) представљени су мотивација, проблем и циљ рада. Проблем процене стања напуњености батерије (SoC) дефинисан је као проблем естимације стања нелинеарног динамичког система, код којег се стање не може директно измерити, већ се процењује на основу доступних мерења.

У другом поглављу (Теоријска основа) изложене су теоријске основе неопходне за разумевање проблема

естимације SoC-a. Дефинисано је стање напуњености батерије и размотрене су основне карактеристике батеријских технологија у контексту наменских рачунарских система, укључујући енергетску густину, енгл. C-rate карактеристике и животни век батерије. Такође је представљен динамички модел батерије у простору стања и дат преглед метода за процену SoC-a.

У трећем поглављу описана је архитектура развијеног енгл. Battery Software Simulator-a (BSS). Представљено је процесорско језгро симулатора, његови улазни подаци и основне компоненте: Battery Current Generator, Voltage Estimator, Noise Generator, Reference SoC и Algorithm Block. Такође је описан начин имплементације и интеграције естимационих алгоритама у симулационо окружење.

У четвртом поглављу приказана је експериментална процедура, која обухвата карактеризацију хардверске платформе STM32L476RG и коришћених улазних струјних профила (LPS и HPS сценарио). Извршена је верификација генерисања струјног профила и рада Voltage Estimator модула.

У петом поглављу изложена су закључна разматрања и сумирани су остварени резултати и доприноси рада. Наведена су ограничења спроведеног истраживања, као и могући правци будућег развоја, са посебним освртом на моделовање утицаја температуре и деградације батерије, као и на увођење додатних метода за процену SoC-a.

4. Анализа са кључним резултатима

Мастер рад дипл. инж. Филипа Радојевића бави се развојем софтверског симулатора за анализу тачности алгоритама за естимацију стања напуњености батерије (SoC), као и њиховог утицаја на енергетску потрошњу батеријски напајаних уграђених система.

Развијени симулатор моделује понашање батерије помоћу еквивалентних електричних модела, Rint и Dual Polarization, генерише профиле струје оптерећења и омогућава извршавање естимационих алгоритама на циљној хардверској платформи. На тај начин могуће је истовремено пратити тачност процене SoC-a, време извршавања алгорита и енергетску потрошњу система. У оквиру симулатора имплементирани су и упоређене три методе естимације SoC-a: Кулоново бројање (CC), проширени Калманов филтар заснован на Rint моделу (K0) и проширени Калманов филтар заснован на Dual Polarization моделу (K2).

Резултати добијени за сценарио ниске потрошње (LPS) показују да Кулоново бројање има најмањи енергетски трошак, али да се код ове методе грешка временом повећава због одсуства механизма за корекцију процене.

У сценарију високе и динамичке потрошње (HPS), резултати показују да повећање учестаности извршавања K0 естиматора не решава у потпуности проблеме који произилазе из ограничења Rint модела при наглим променама струје оптерећења.

Основни доприноси рада су:

1. развој обједињеног софтверског симулатора за моделовање батерије и евалуацију естимационих алгоритама, са имплементираним процесорским језгром и графичким корисничким интерфејсом;
2. имплементација и поређење три методе естимације. SoC-a: Кулоново бројање, K0 (Rint EKF) и K2 (DP EKF), под истим условима рада;
3. дефинисање евалуационог оквира заснованог на MSE, RMSE и MAE метрикама тачности;
4. анализа утицаја периоде извршавања естимационог алгорита на тачност процене SoC-a и енергетску потрошњу система;
5. развој симулатора са отвореним изворним кодом, пројектованог тако да омогући проширивање новим моделима батерија, естимационим алгоритмима и хардверским платформама.

5. Закључак и предлог

Кандидат Филип Радојевић је у свом мастер раду успешно пројектовао, имплементирао и експериментално верификовао софтверски симулатор намењен анализи батеријски напајаних наменских система. Развијени симулатор омогућава моделовање динамичког понашања батерије, генерисање струјних профила и извршавање алгоритама за естимацију стања напуњености батерије, чиме је омогућена анализа њихове тачности и утицаја на енергетску потрошњу система.

Резултати спроведене евалуације показују да реализовани симулатор исправно репродукује очекивано понашање батеријског система, што је потврђено верификацијом модула за генерисање струје платформе и естимацију терминалног напона. Поређењем три естимациона алгорита, СС, К0 и К2, у истим условима рада показано је да избор модела батерије и периоде извршавања алгорита има значајан утицај на тачност процене SoC-а и енергетску потрошњу система.

Кандидат је током израде рада показао самосталност, систематичност и способност да теоријска знања из области моделовања батеријских система, естимације стања и уграђених рачунарских система примени у практичној реализацији и експерименталној верификацији сложеног софтверског симулатора.

На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду да мастер рад дипл. инж. Филипа Радојевића под насловом „Развој симулатора батеријски напајаних наменских система“ прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 04.09.2026. године

Чланови комисије:

др Иван Поповић Редовни професор
сагласан, 04.09.2026.

др Харис Туркмановић Асистент
сагласан, 04.09.2026.