



# 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 14.05.2019. године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Немање Нешковића под насловом „Развој система за складиштење електричне енергије у погону електричног тркачког возила“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Биографски подаци кандидата

Немања Нешковић је рођен 06.11.1994. године у Јагодини. Завршио је основну школу "Јован Јовановић Змај" у Свилајнцу као вуковац. Уписао је гимназију у Свилајнцу коју је завршио као вуковац. Електротехнички факултет уписао је 2013. године. Дипломирао је на одсеку за Енергетику 2017. године са просечном оценом 9,17. Дипломски рад одбранио је у септембру 2017. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за енергетску ефикасност уписао је у октобру 2017. године. Положио је све испите са просечном оценом 10.

#### 2. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 95 страна, са укупно 83 слике, 6 табела, 23 референце и два прилога. Рад садржи 9 поглавља, списак коришћене литературе и прилоге. Прво поглавље представља увод у тему мастер рада. Друго поглавље почиње са кратким освртом на историјат електричних возила и различите конфигурације електричних и хибридних возила. Објашњено је *Formula Student* такмичење и примена „зелених“ технологија у аутомобилском спорту. У трећем поглављу дат је преглед различитих типова електрохемијских извора енергије, са посебним нагласком на литијум-јонске ћелије и њихово понашање током пуњења и пражњења. Четврто поглавље се односи на израчунавање неопходног капацитета батерије на основу динамичког модела возила и реалних података са возила прикупљених током трке. У њему је приказан избор одговарајуће литијум-јонске ћелије и оптимална конфигурација изабраних ћелија. На крају поглавља дат је и 3D модел батерије. У петом поглављу је објашњена улога и важност система за праћење стања батерије. Детаљно је приказан реализовани систем *master-slave* архитектуре. Шесто поглавље се бави термичким моделом ћелија и хлађењем батерије. Објашњени су основни принципи преноса топлоте и принципи генерисања топлоте у ћелијама. Софтверски алати за нумеричке симулације су коришћени како би се одредила снага генерисања топлоте током трке и дизајнирало најоптималније хлађење батерије. У седмом поглављу приказан је симулациони модел активног исправљача са двоквадратним чопером који се може користити као пуњач батерије електричних возила у модерним *Vehicle to Grid* системима. У осмом поглављу приказан је реализовани прототип једног сегмента батерије електричног возила и објашњен процес спајања ћелија. Помоћу корисничке апликације на рачунару, тестирана је исправност рада система за праћење стања батерија и тестиране све његове функционалности. Прототип сегмента оптерећен је различитим профилима струје пражњења и пуњења, како би се проверила исправност рада система и проверило термичко понашање ћелија током рада. Девето поглавље представља закључак, у коме су дате смернице за даље унапређење система за складиштење енергије у електричном тркачком возилу.

### 3. Анализа рада са кључним резултатима

Због повећаног загађења животне средине и опасности по здравље људи узрокованих загађењем ваздуха, електрична возила су постала популарна тема у протеклих неколико година. Данас је највећи недостатак електричних возила у поређењу са традиционалним СУС возилом (возила са мотором са унутрашњим сагоревањем) њихов домет (удаљеност коју возило може покрити с потпуно напуњеном батеријом). Аутономија горива модерног СУС возила је много већа, тако да произвођачи електричних возила стално траже начин да повећају густину енергије у систему за њено складиштење у погону електричног возила.

Због велике густине енергије, непостојања меморијског ефекта и дугог века трајања, литијум-јонске (Li-ion) ћелије се широко користе у данашњим електричним возилима. Систем за складиштење енергије у погону електричних возила састоји се од пакета батерија које садрже по неколико стотина литијум-јонских ћелија како би се постигао жељени напон и капацитет. При њиховом повезивању, веома је важно да се осигура да су напони сваке ћелије врло блиски, јер неравнотежа напона између суседних ћелија има негативан утицај на стање ћелија и може изазвати проблем прегревања. Максимална температура коју литијум-јонске ћелије могу постићи без негативног утицаја на њихово стање је 60°C.

У овом мастер раду је приказана детаљна процедура пројектовања високонапонског акумулатора са литијум-јонским ћелијама за тркачко електрично возило (Формула Студент). Пројектовани акумулатор треба да има капацитет од 7.5kWh и напон од 600V, због чега се састоји од 700 ћелија у 140s5p конфигурацији (5 ћелија се спаја паралелно, а затим 140 оваквих паралела се повезује редно). Ових 700 ћелија је подељено у 5 сегмената. Да би се континуирано пратио напон и температура сваке ћелије, пројектован је и Систем за управљање батеријама (BMS), који се састоји од једне матичне (главне) плоче и неколико помоћних плоча, које обезбеђују надзор над 14 различитих ћелија и међусобну комуникацију уз помоћ брзог универзалног асинхроног пријемника / предајника (UART). Главна (матична) плоча треба да чита информације из помоћних плоча, прати стање грешке и израчунава преостало стање напуњености акумулатора.

Како је растојање између ћелија само неколико милиметара, термичко понашање система треба пажљиво анализирати. Анализа је вршена применом методе коначних елемената (ФЕМ), у доступном софтверу за ту намену.

### 4. Закључак и предлог

Кандидат Немања Нешковић је у свом мастер раду одговарајућу пажњу посветио разумевању понашања литијум-јонских ћелија током процеса пуњења и пражњења. На основу реалних података са стазе и динамичког модела возила, израчунат је потребан капацитет батерије и изабрана одговарајућа конфигурација литијум-јонских ћелија. Самостално је развио систем за праћење стања батерије и извршио експерименталну верификацију исправности рада система. Применом методе коначних елемената (ФЕМ) урадио је симулацију система за хлађење ћелија и дизајнирао систем који даје најприхватљивије резултате, као копромис између перформанси система и масе возила. У раду је такође приказана и симулација *Vehicle to Grid* пуњача. Помоћу тестера батерије и пуњача, тестирано је понашање батерије током процеса пуњења и пражњења и извршена одговарајућа корелација између резултата симулације, одређених претпоставки и реалних података. У закључку су дате смернице за даље унапређење система.

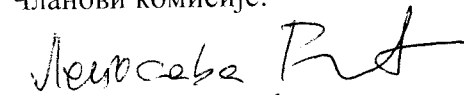
Кандидат Немања Нешковић је исказао високи степен самосталности, систематичности и креативности у решавању проблематике изложене у свом раду, као и аналитичност и инжењерску зрелост.

На основу горе наведеног, Комисија за преглед и оцену мастер рада Немање Нешковића предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да прихвати рад „Развој система за складиштење електричне енергије у погону електричног


тркачког возила“ дипл. инж. Немање Нешковића као мастер рад и одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 19.06.2019. год.

Чланови комисије:



Др Лепосава Ристић, доцент



др Милан Бебић, доцент