

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију</p> <p>30.12.2021., декан Факултета техничких наука донео је решење о именовању комисије за оцену и одбрану докторске дисертације број 012-199/8-2021.</p> <p>2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1. др Борис Думнић, ванредни професор, УО: Енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије, 12.09.2018., ФТН Нови Сад, 2. др Милан Бебић, ванредни професор, УО: Енергетски претварачи и погони, 01.04.2019., ЕТФ Београд, 3. др Лука Стрезоски, доцент, УО: Електроенергетика, 01.03.2018., ФТН Нови Сад, 4. др Бане Попадић, доцент, УО: Енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије, 03.07.2019., ФТН Нови Сад, 5. др Драган Милићевић, ванредни професор, УО: Енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије, 25.09.2019., ФТН Нови Сад</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p>Никола, Драган, Вукајловић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава:</p> <p>18.12.1993, Ужице, Република Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив</p> <p>Факултет техничких наука, Енергетика, електроника и телекомуникације, Мастер инжењер електротехнике и рачунарства</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија</p> <p>2017., Енергетика, електроника и телекомуникације</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: -</p>

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: -

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Суперкондензатор као елемент хибридног електричног складишта енергије савремених електричних возила

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Предмет научне расправе у овом раду јесте анализа могућности и оправданости употребе хибридног електричног складишта у електричним возилима, које је засновано на литијум-јонским батеријама и суперкондензаторима. Основна мотивација за истраживање овакве конфигурације електричног складишта произилази из недостатака које имају чисто батеријска складишта у погонима електричних возила. Као најважнији препознати су недостаци који се доводе у везу са убрзаним старењем батерија које је узроковано природом оптерећења карактеристичним за погон електричних возила, а што се даље одражава на друге техничке али и економске аспекте. С тим у вези деоба електричног оптерећења електричног возила између батеријског и суперкондензаторског складишта предложена је као метода за адресирање препознатих проблема, што у коначници треба да резултује редукијом деградације животног века батерије, унапређењем динамичких перформанси, али и побољшањем економског биланса електричног возила. У раду је препозната и важност енергетског претварача који омогућава активну и двосмерну размену енергије између складишта и електромоторног погона, те је на опсежан и студиозан начин обрађена тематика моделовања, симулације, емулације, дизајна, реализације прототипског модела и лабораторијског тестирања одговарајућег трофазног једносмерног бидирекционог претварача. Осим тога као важан аспект хибридног складишта препознат је и алгоритам енергетског менаџмента, задужен за надзор и управљање расположивим ресурсима и то пре свега у смислу енергије и капацитета складишта са једне, и захтеваних перформанси са друге стране. Предложена конфигурације хибридног складишта је третирана емулационим и експерименталним путем чиме је недвосмислено доказано, да се под дефинисаним претпоставкама може постићи статистички значајан продужетак животног века литијум-јонске батерије у погону електричног возила. Уз то доказано је и да хибридизација отвара шире могућности за оптимизацију енергетског складишта, али и значајна побољшања економског биланса.

Докторска дисертација је написана ћиричним писмом на српском језику. Садржи 203 стране. Састоји се од 7 поглавља, 17 табела, 179 слике и 192 навода литературе. Кључна документација написана је ћиричним писмом на српском и латиничним писмом на енглеском језику.

Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод;
2. Суперкондензатор као технологија за складиштење енергије;
3. Претварач енергетске електронике за контролу рада суперкондензатора у функцији складиштења електричне енергије;
4. Анализа утицаја суперкондензаторског складишта на рад електричног возила;
5. Закључак;
6. Додатак;
7. Литература.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Теза се може поделити у пет битних делова који су у наставку вредновани.

- *Увод*

У уводном поглављу дата су општа разматрања везана за тематику складиштења енергије. Дат је осврт на области енергетике где се употреба енергетског складишта базира на литијум-јонским батеријама, а где се при томе због природе апликације може разматрати хибридизација. Посебан осврт дат је у вези са темом електричних возила, као веома важног примера потрошача релативно велике снаге који као извор доминантно користи литијум-јонске батерије. Осим тога електрична возила препозната су као тип потрошача који, иако у овом тренутку не игра значајну улогу, има потенцијал да у будућности постане веома важан чинилац у електроенергетском систему. У овом делу јасно је истакнута и основна хипотеза дисертације која гласи: „*Хибридизацијом класичног енергетског складишта електричног возила употребом суперкондензаторског складишта и одговарајућег једносмерног претварача, уз употребу адекватног алгоритма енергетског менаџмента, могуће је постићи значајна побољшања перформанси самог складишта, али и електричног возила у опште. Продужетак животног века батерије, повећање растојања које се може прећи, смањење деградације капацитета батерије и побољшање динамичких перформанси електричног возила представљају главне параметре на које ће утицати хибридизација енергетског складишта.*“

- *Суперкондензатор као технологија за складиштење енергије*

Имајући у виду да се хибридизација електричног складишта енергије може спровести употребом суперкондензатора, у овом делу дат је опсежан приказ различитих технологија израде ове компоненте, приказани су принципи моделовања и симулације, као и лабораторијског испитивања. Осим тога дат је и преглед литературе у погледу будућих трендова у развоју ове врсте технологије складиштења електричне енергије.

- *Претварач енергетске електронике за контролу рада суперкондензатора*

Као један од суштинских делова хибридног складишта, у овом делу детаљно је обрађена тематика избора, моделовања, дизајна и тестирања једносмерног претварача, који врши размену енергије између суперкондензаторског складишта и погона електричног возила. Као елемент који врши двосмерну конверзију целокупне енергије која се током рада размењује, висока ефикасност је од императивног значаја. Осим тога могућност усклађивања напонског нивоа суперкондензатора са остатком погона, али и усклађивање потребне струјне носивости, основни су параметри који утичу на одабир и дизајн претварача.

- *Хибридно енергетско складиште у електричном возилу*

Како би се извршила предметна анализа и верификовала постављена хипотеза рада, предложена ја хибридна топологија енергетског складишта електричног возила. Уз то предложен је и алгоритам енергетског менаџмента, који ће се користити за управљање токовима снаге у електричном погону возила. У циљу остваривања могућности процене утицаја хибридног складишта на животни век батерије, предложен је емпиријски модел старења литијум-јонске батерије који ће бити коришћен као основни критеријум за оцену доприноса хибридног складишта продужетку животног века батерије. Употребом система за емуляцију електромоторног погона електричног возила, извршена је верификација емпиријског модела старења батерије.

- *Експериментална поставка и закључак*

На основу постављене топологије хибридног складишта, као и усвајања претпоставки под којима ће бити извршена експериментална верификација, у лабораторијским условима је састављена скалирана експериментална поставка која репрезентује електромоторни погон електричног возила. Овом поставком могуће је у лабораторијским условима остварити сва радна стања карактеристична за погон електричног возила, а која су при том од значаја за разматрања везана за хибридно електрично складиште. Осим тога поставка укључује сегмент батеријског и суперкондензаторског складишта, као и претвараче енергетске електронике, што заједно конституише хибридно електрично складиште. Коришћењем скалиране експерименталне поставке, и репрезентативног возног профила карактеристичног за урбану и међуградску вожњу добијени су резултати који

недвосмислено потврђују основну хипотезу овог рада. Закључено је да се хибридизацијом енергетског складишта електричног возила може значајно продужити животни век батерије. Ово значи да постигнути резултати оправдавају имплементацију хибридног складишта са техничког, али и са економског становишта. У закључку је дат основни преглед рада, укључујући значај истраживања, методологију и најзначајније доприносе ове дисертације. Размотрени су и правци даљих истраживања у овој области који се могу ослонити на овде приказане закључке.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01.јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

M21: Рад у врхунском међународном часопису

[1]. **N. Vukajlović**, D. Milićević, B. Dumnić, and B. Popadić, “Comparative analysis of the supercapacitor influence on lithium battery cycle life in electric vehicle energy storage,” J. Energy Storage, vol. 31, p. 101603, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.est.2020.101603.

M22: Рад у истакнутом међународном часопису

[1]. Dumnic, B.; Popadic, B.; Milicevic, D.; **Vukajlovic, N.**; Delimar, M.: Control Strategy for a Grid Connected Converter in Active Unbalanced Distribution Systems, Energies, 2019, 12, no. 7, 1362, ISSN: 1996-1073

[2]. D. Milicevic, B. Popadic, **N. Vukajlovic**, B. Dumnic, and Z. Corba, “Analysis of inverter non-linearity influence on modulation technique selection in a dual three-phase induction machine drives,” IET Power Electronics, vol. 12, no. 3, pp. 567–577, Mar. 2019, ISSN 1755-4543

M33: Саопштење са међународног скупа штампано у целини

[1]. **N. Vukajlović**, D. Milićević, B. Dumnić, B. Popadić, Distributed Generator’s Monitoring and Protection Relay Performance Analysis, PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology – ICET, ISBN 978-86-7892-934-2

[2]. B. Popadić, V. Vasić, B. Dumnić, D. Milićević, **N. Vukajlović**, “Rotor Slot Harmonics Based Induction Machine Speed Estimation” International Symposium POWER ELECTRONICS Ee, Novi Sad, ISBN 978-86-7892-980-9

[3]. B. Dumnić, **N. Vukajlović**, B. Vujkov, E. Adžić, B. Popadić, D. Milićević, V. Katić, Z. Čorba, D. Jerkan, “Control of Electrical Generator Used in Sigma Wave Energy Conversion System” International Symposium POWER ELECTRONICS Ee, Novi Sad, ISBN 978-86-7892-980-9

[4]. **Nikola Vukajlovic**, Vladimir Katic, Dragan Milicevic, Boris Dumnic, Bane Popadic, Active Control of Induction Generator in Ocean Wave Energy Conversion System, 2018 IEEE 18th International Power Electronics and Motion Control Conference – PEMC 2018, Budapest, Hungary, 26-30 August, 2018, pp. 324-329 ISBN USB 978-1-5386-4197-2

[5]. Bane Popadic, Boris Dumnic, Dragan Milicevic, Zoltan Corba, **Nikola Vukajlovic**, Behavior of the Grid Connected Converter in Unbalanced Smart Power Systems, International Symposium on Industrial Electronics – INDEL 2018, Banja Luka, Republika Srpska/Bosnia and Herzegovina, 1-3 November, 2018, pp. 1–6, ISBN 978-1-5386-2352-7, IEEE Catalog Number CFP18D67-USB

[6]. Boris Dumnic, Bane Popadic, Dragan Milicevic, **Nikola Vukajlovic**, Marko Delimar, Grid Connected Converter Control Technique in Active Unbalanced Distribution Systems, 11th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion – MEDPOWER 2018, Dubrovnik, Croatia, 12-15 November, 2018, pp. 1-6, ISBN USB 978-953-184-249-5

[7]. Barbara Vujkov, Boris Dumnić, Bane Popadić, Dragan Milićević, **Nikola Vukajlović**, Vladimir Katić, Advanced research and development facility for digital control of power electronic based drives, I, pp. 1–6, ISBN 978-1-5386-2352-7, IEEE Catalog Number CFP18D67-USB

[8]. Vujkov, V. A. Katic, B. Dumnic, D. Milicevic, and **N. Vukajlovic**, “Testing of the low speed salient pole synchronous generator for renewable energy sources,” in 2019 20th International Symposium on Power Electronics (Ee), Novi Sad, Serbia, 2019, pp. 1–6.

[9]. **N. Vukajlovic**, D. Milicevic, B. Popadic, B. Dumnic, D. Jerkan, and V. Vasic, “Increasing the Induction Machine Power Capacity using Industrial Frequency Converter,” in IEEE EUROCON 2019 - 18th International Conference on Smart Technologies, Novi Sad, Serbia, 2019, pp. 1–5.

[10]. Vujkov, B. Dumnic, T. Grbic, B. Popadic, **N. Vukajlovic**, and S. Medic, “Spectral analysis of ocean waves for determination of fundamental energy parameters,” in IEEE EUROCON 2019 -18th International Conference on Smart Technologies, Novi Sad, Serbia, 2019, pp. 1–5.

[11]. **N. Vukajlovic**, B. Popadic, D. Milicevic, B. Dumnic, and Z. Mitrovic, “Modelling of three-phase interleaved DC-DC converter for hybrid energy storage application in electric vehicles,” Oct. 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/Ee53374.2021.9628312.

M63: Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини

[1]. **N. Vukajlović**, Analiza pogonskih aspekata rada industrijskog pretvarača u situaciji napajanja asinhronе mašine opterećene teretom велике инерције, Infoteh-Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2017, ISBN 978-99976-710-0-4.

[2]. **N. Vukajlovic**, D. Milicevic, B. Dumnic, B. Popadic, V. Katic, “ANALIZA OPRAVDANOSTI PRIMENE SUPERKONDENZATORA U POGONU ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA” XX Savetovanje Energetska elektronika Ee2019, Novi Sad, Srbija, 2019, pp. 1-5.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Дисертација разматра техничке аспекте и оправданост хибридизације електричног складишта енергије савремених електричних возила. Хибридно складиште је конципирано као енергетско складиште у коме фигуришу литијум-јонска батерија, суперкондензатор и одговарајући претварач енергетске електронике. Оваква топологија анализирана је теоријски, симулационим и емулационим методама. Показано је да се може сматрати оправданом хипотеза о могућности за продужетак животног века батерије у случају њеног експлоатисања у склопу хибридног складишта. Додатно, у циљу експерименталне верификације развијена је скалирана лабораторијска поставка којом се могу реализовати сви важи радни режими погона електричног возила. Употребом ове поставке дошло се до експерименталних резултата који потврђују да се може очекивати значајано продужење животног века литијум-јонске батерије, уколико се изврши хибридизација енергетско складишта. Осим тога могуће је извршити одређену редукцију капацитета батерије, а да се при томе очувају перформансе електромоторног погона. Такође је показано да се продужетком животног века и редукцијом капацитета батеријског складишта може постићи и добит у погледу економско-тржишног статуса електричних возила, што је веома важно имајући у виду да овај фактор представља један од најважнијих критеријума који успоравају трансфер технологије транспорта са фосилних горива на ону засновану на електричној енергији.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

У овом раду дата је исцрпна и детаљна студија могућности и оправданости хибридизације енергетског складишта у савременим електричним возилима. Кандидат је образложио значај разматране теме и оправданост истраживања, те је на јасан начин изложио основну хипотезу рада. Изузев тога, током дефиниције и објашњења проблема, кандидат је користио детаљну математичку анализу, симулационе и емулационе методе. Осим тога, током научно истраживачког рада, кандидат је на одговарајући начин, користећи се прецизно дефинисаним истраживачким методама, извршио експерименталну проверу наведених теоријских разматрања. На тај начин, кандидат је показао да је у потпуности упознат са теоријским и практичним аспектима рада хибридног енергетског складишта у погону електричног возила, моделовања, симулације, емулације и дизајна енергетских претварача, као и димензионисања електричног складишта.

Аутентичност тезе је проверена применом програма за детекцију плагијаризама “iThenticate“, који је показао да је сличност ове дисертације са другим радовима мања од 1%.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

- | | | |
|----|---|----|
| 1. | Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме | ДА |
| 2. | Да ли дисертација садржи све битне елементе | ДА |
| 3. | По чему је дисертација оригиналан допринос науци | |

Пре свега, истраживања приказана у раду, недвосмислено потврђују хипотезу рада, нудећи при томе закључке добијене на основу експериментално спроведених испитивања на лабораторијско поставци која репрезентује погон електричног возила. У раду су приказане сви важни аспекти за третирање предметне проблематике почевши од суперкондензатора као технологије за складиштење енергије, преко једносмерног претварача до хибридног складишта и алгорита енергетског менаџмента. Практична провера резултата, на развијеној експерименталној поставци, даје додатну вредност резултатима и упућује на могућност практичне имплементације топологије каква је у овом раду разматрана. Фундаментални допринос дисертације произилази из закључка да се уважавајући усвојене претпоставке, хибридизацијом енергетског складишта електричног возила може очекивати продужетак животног века батерије у опсегу од 164% до 250%.

Изузев тога, свеобухватан приступ омогућио је да се спознају сви релевантни услови при којима важе закључци до којих се дошло у овом раду. Осим тога препознат је и простор за даље истраживање изложене проблематике. Постигнути резултати и изнети закључци представљају веома добру основу за наставак научно истраживачког рада у предметној области посебно у правцу њихове верификације на примеру погону који је еквивалентан оном код комерцијалног електричног возила.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

НЕМА

X ПРЕДЛОГ:
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
да се докторска дисертација кандидата Николе Вукајловића под називом „Суперкондензатор као елемент хибридног електричног складишта енергије савремених електричних возила“ прихвати, а кандидату одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

др Борис Думнић, ванредни професор

др Милан Бебић, ванредни професор

др Лука Срезоски, доцент

др Бане Попадић, доцент

др Драган Милићевић, ванредни професор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.