

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 именовео комисију</p> <p>28.6.2018., декан Факултета техничких наука</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 Владимир Катић, редовни професор, УО: Енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије, 30.10.2002., ФТН Нови Сад,</p> <p>2. др Небојша Митровић, редовни професор, УО: Електроенергетика, 12.01.2010, Електронски факултет, Ниш,</p> <p>3. др Борис Думнић, доцент, УО: Енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије, 12.09.2013., ФТН Нови Сад,</p> <p>4. др Марко Векић, доцент, УО: Енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије, 01.10.2014., ФТН Нови Сад,</p> <p>5. др Стеван Грабић, ванредни професор, УО: Енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије, 27.01.2017., ФТН Нови Сад.</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p>Иван, Милан, Тодоровић</p>
<p>2. Датум рођења, општина, држава:</p> <p>30.09.1989., Сремска Митровица, 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>2013., Енергетика, електроника и телекомуникације</p>
<p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: -</p>
<p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: -</p>

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Управљање претварачем којим се остварује подршка дистрибутивној мрежи током поремећаја

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

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

Дисертација разматра пројектовање и испитивање рада алгорита управљања за претварач повезан на електричну мрежу на начин да се оствари максимално могућа подршка мрежи током поремећаја. Проблематика подршке електричној мрежи у различитим режимима рада је дефинисана захтевима при прикључењу одређеног извора енергије (*Grid Code*). Полазећи од анализе најбитнијих важећих захтева, у раду је издвојен минималан скуп функционалности које претварач мора да оствари, што је представљало и основне захтеве за пројектовање алгорита. Полазна претпоставка од које се пошло је да се дати захтеви, утицај претварача и ограничења у његовом раду могу пресликати у проблем регулације струја које претварач инјектује у мрежу, њиховог ограничења и задавања одређених вредности профила активне снаге, реактивне снаге, позитивне и негативне секвенце активне и реактивне снаге. На основу спроведене математичке анализе модела склопа којим су дефинисани токови снага, узимајући у обзир дати приступ и ограничења, изложено је више механизма за прорачун задатих профила снага које треба да резултују задовољењем постављених захтева, али и максималним искоришћењем могућности претварача: 1. остваривање приоритета у произведеним тренутним вредностима снага уз минимизацију њихове таласности; 2. остваривање задате вредности фактора снаге уз минимизацију таласности снага; 3. остваривање максималних вредности активне и/или реактивне снаге кроз подесив однос њихових позитивних и негативних секвенци. Добијен је заокружен скуп модела алгорита управљања који омогућује рад претварача у свим захтеваним условима рада, као и у прелазним периодима, уз пуну контролу свих битних величина унутар претварача. Применом напредне методе емулације електромагнетних склопова, коришћењем умрежених *HIL* емулатора, у раду је најпре потврђена сврсисходност датих управљачких решења, а затим је остварена анализа утицаја више претварачких јединица унутар једне дистрибутивне мреже која је подвргнута различитим поремећајима. Добијени закључци указују на могућности оптималног избора контролног механизма одређеног претварача у зависности од топологије мреже, врсте поремећаја и функције самих претварача, у сврху унапређења одређених карактеристика радних режима мреже.

Докторска дисертација је написана на српском језику. Садржи 116 страна. Састоји се од 7 поглавља, 23 табеле, 106 слика и 119 навода литературе. Кључна документација написана је на српском и енглеском језику.

Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод; 2. Управљачки алгорита инвертора повезаног на мрежу; 3. Прорачун струјних референци; 4. Примена предложених решења и потврда на експерименталној поставци; 5. Закључак; 6. Прилози; 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 су дата општа разматрања везана за примену склопова који омогућују регулацију тока снага према електричној мрежи, њихов значај и очекивани утицај на рад мреже. Уводни део јасно наглашава значај разматране теме и оправданост истраживања.

- *Управљачки алгорита инвертора повезаног на мрежу*

Део који разматра анализу и синтезу управљачког алгорита инвертора повезаног на мрежу најпре даје преглед релевантних законских регулатива које су искоришћене за дефинисање

основних функционалности које дистрибуирани извор мора да оствари. Сваки од аспеката контролног алгоритма инвертора повезаног на мрежу је засебно анализиран и понуђена су решења за сваки од контролних задатака. Коначно, на бази детаљног прегледа литературе и свеобухватне анализе расположивих података, предложена је целокупна поставка контролног алгоритма од које се очекује да оствари постављене захтеве.

- *Прорачун струјних референци*

На основу постављене хипотезе да се постављени контролни задаци, утицај претварача на рад мреже и ограничења у раду претварача могу свести на проблем регулације струја које претварач инјектује у мрежу, њиховог ограничења и задавања одређених вредности профила токова снага, предложене су три нове методе за израчунавање референци струја и снага. Дати скуп функција представља заокружен скуп који омогућује испуњење свих претходно постављених захтева. Приказан је потпун математички поступак и описане су карактеристике профила електричних величина које су резултат примене ових метода.

- *Примена предложених решења и потврда на експерименталној поставци*

У овом делу је приказан савремен метод разматрања проблема везаних за дистрибуиране изворе применом *HIL* експерименталне поставке која је развијена у оквиру израде ове тезе. Кроз резултате низа експеримената показано је да предложени контролни алгоритам испуњава све постављене захтеве. Остварени низ експерименталних резултата приказује и ефекте међусобног утицаја низа дистрибуираних извора опремљених развијеним контролним алгоритмом и дистрибутивне мреже. Као таква, метода представља нов приступ у анализи оваквих система и омогућују читав низ даљих праваца истраживања.

- *Закључак*

У закључку је дат језгровит преглед рада, укључујући значај истраживања, методологију и најзначајније доприносе дисертације. Размотрени су и правци даљих истраживања у овој области који се могу ослонити на овде остварене резултате.

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

Todorović Ivan, S. Grabić, and Z. Ivanović, “Grid-connected converter active and reactive power production maximization with respect to current limitations during grid faults”, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 101, pp. 311–322, Oct. 2018.

M22: Рад у истакнутом међународном часопису

1. Ivanović R. Z., Vekić S. M., Grabić U. S., **Todorović Ivan**, “Fault ride-through capability of wind turbine connected to the grid in case of unbalanced voltages”, *Thermal Science - International Scientific Journal* ISSN: 0354-9836, ISBN: 10.2298/TSCI15092903, 2016.

M33: Саопштење са међународног скупа штампано у целини

Todorović Ivan, I. Isakov and S. Grabić, “Safe Reactive Power Production Schemes For the Grid-Connected Converters Affected by the Voltage Unbalances”, 2018 COMPEL, pp. 1-6.

Ivana Isakov, **Todorović Ivan**, Vladimir Katić, and Stevan Grabić, “Control Strategy for Two-Stage PV Power Converter During Simultaneous Grid Fault and Irradiance Change,” presented at the 18th International Conference on Power Electronics and Motion Control, PEMC-2018, Budapest, 2018.

Todorović Ivan, I. Isakov and S. Grabić, "Assessment of GCCs' synchronization units under various grid voltage conditions, " 2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), East Sarajevo, 2018, pp. 1-6., ISBN 978-1-5386-4907-7

Ivanović Z., Grabić S., **Todorović Ivan**, Adžić E., Porobić V., "Development of smart grid laboratory infrastructure for educational purposes", The 8th International Conference on Engineering and Technology ICET-2017, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, 6. - 8. Jun 2017, no. T6-1.1, pp. 1 - 5, ISBN: 978-86-7892-934-2,

Todorović Ivan, Grabić S., Ivanović Z., Reljić D., Popović V., "Flexible Hybrid Synchronous-Stationary reference frame GCC control", International Conference on Engineering and Technology ICET-2017, Novi Sad, 2017, pp 1-4

Todorović Ivan, Grabić S., Ivanović Z., Porobić V., Adžić E., "Grid connected inverter DC-link charge analysis", International Symposium POWER ELECTRONICS, Novi Sad, 2015, pp, ISBN: 978-86-7892-757-7

Todorović Ivan, Adžić E., Ivanović Z., Vekić M., Čelanović N., "Power electronics development in the cloud", International Symposium POWER ELECTRONICS, Novi Sad, 2013, pp, ISBN: 978-86-7892-757-7

Arif M., Saleem J., Abbas Q., **Todorovic Ivan**, Majid A., "High Gain Bidirectional Multiport DC to DC Converter for DC Microgrid", International Symposium POWER ELECTRONICS, Novi Sad, 2017, pp, ISBN: 978-86-7892-757-7

Katić A. V., **Todorović Ivan**, Pecelj M., Čorba Z., Dumnić B., Milićević D., "Multiple Battery Charger Stations Impact on Power Quality", INDEL, Banja Luka, 6-8 November, 2014., pp 229-234, ISBN: 978-99955-46-22-9

Katić A. V., **Todorović Ivan**, Pecelj M., "Effects of Individual Battery Charger Station on Power Quality", INDEL, Banja Luka, 6-8 November, 2014., pp 224-228, ISBN: 978-99955-46-22-9

Todorović Ivan, Gartner P., Katić A. V., Grabić S., "Ultracapacitors as auxiliary energy source in electric vehicles", INDEL, Banja Luka 6-8 November, 2014., pp 301-307, ISBN:978-99955-46-22-9

M53: Рад у научном часопису

1. **Todorović Ivan**, "Grid connected converter control testing in HIL environment", Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 2013, pp 1589-1592, ISSN: 0350-428X

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Дисертација разматра пројектовање и испитивање рада алгорита управљања за претварач повезан на електричну мрежу на начин да се оствари максимално могућа подршка мрежи током поремећаја. Област истраживања је изузетно актуелна и битна с обзиром на све ширу примену уређаја који обухватају разматране претвараचे и с обзиром да та примена у многоме мења статичке и динамичке особине мреже у коју су прикључени. Разматрања полазе од скупа захтева који се постављају пред ове уређаје и постављене хипотезе да се контролни задаци, утицај претварача на рад мреже и ограничења у раду претварача могу свести на проблем регулације струја које претварач инјектује у мрежу. На основу спроведене математичке анализе, узимајући у обзир дати приступ и ограничења, предложен је скуп механизма за прорачун задатих профила снага које треба да резултују задовољењем постављених захтева, али и максималним искоришћењем струјних капацитета претварача. Сврсисходност датих управљачких решења је потврђена на лабораторијском емулационом склопу, посебно развијеном у оквиру рада на тези. Коначно, остварена је анализа утицаја више претварачких јединица унутар једне емулиране дистрибутивне мреже која је подвргнута различитим поремећајима. Остварена методологија испитивања представља нов приступ у анализи оваквих система и омогућује читав низ даљих праваца истраживања.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

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

У овом раду претстављена је исцрпна, детаљна и веома стручна студија једног оригиналног приступа у решењу изузетно актуелног проблема контроле претварача повезаног на дистрибутивну мрежу. Аутор започиње излагање образложењем значаја разматране теме и оправданости истраживања, поставља циљеве које је потребно остварити, врши детаљну математичку анализу разматраног склопа, дефинише хипотезу као основу са које развија алгоритам управљања којим се обезбеђује проширен скуп функционалности и максимална могућа подршка мрежи током поремећаја. Потврда остварених резултата је остварена на напредном лабораторијском испитном склопу. У сваком од ових корака се јасно види педантност, конзистентност, потпуно владање како теоријским тако и практичним аспектима разнородне и мултидисциплинарне области рада претварача енергетске електронике на електричној мрежи.

Аутентичност тезе је проверена применом програма за детекцију плагијаризама “*iThenticate*“ где је утврђен индекс подударности (*Similarity index*) 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

Истраживања приказана у раду су остварила два битна, оригинална доприноса. Прво, у раду је предложено ново решење контролног алгоритма за трофазни инвертор повезан на мрежу којим се обезбеђује максимална могућа подршка мрежи током поремећаја, проширен скуп функционалности у односу на решења која су до сада била понуђена у литератури и које је у потпуности применљиво на савременим контролерским јединицама. Друго, дат је допринос у правцу динамичке анализе понашања оваквих склопова, односно међусобне интеракције једног или више претварача и дистрибутивне мреже. Ове могућности су створене, са једне стране, једнообразним и свеобухватним приступом у анализи и синтези управљачког алгоритма претварача повезаних на мрежу, а са друге стране, применом напредне методе емулације рада мреже коришћењем умрежених *NIL* уређаја. Остварени закључци представљају одличну основу за развој читавог низа даљих праваца истраживања у овој области.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања НЕМА

X ПРЕДЛОГ:
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
да се докторска дисертација кандидата Ивана Тодоровића под називном „Управљање претварачем којим се остварује подршка дистрибутивној мрежи током поремећаја“ прихвати, а кандидату одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

др Владимир Катић, редовни професор

др Небојша Митровић, редовни професор

др Борис Думнић, доцент

др Марко Векић, доцент

др Стеван Грабић, 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.