

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

### ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног  
родитеља и име Костић Иво Војин  
Датум и место рођења 26. 6. 1977. Београд

#### Основне студије

Универзитет Универзитет у Београду  
Факултет Електротехнички факултет  
Студијски програм Енергетски одсек, смер за електроенергетске системе  
Звање Дипломирани инжењер електротехнике  
Година уписа 1996.  
Година завршетка 2005.  
Просечна оцена 7,26 (седам и 26/100)

#### Магистарске студије

Универзитет Универзитет у Београду  
Факултет Електротехнички факултет  
Студијски програм Електроенергетска постројења и опрема  
Звање Магистар електротехничких наука  
Година уписа 2005.  
Година завршетка 2013.  
Просечна оцена 9,71 (девет и 71/100)  
Научна област Електроенергетска постројења и опрема  
Наслов завршног рада Унапређење метода за утврђивање стања уземљења електроенергетских објеката после вишегодишње експлоатације

#### Докторске студије

Универзитет Универзитет у Нишу  
Факултет Електронски факултет  
Студијски програм Теоријска електротехника  
Година уписа 2013.  
Остварен број ЕСПБ бодова 584  
Просечна оцена -

### НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације Побољшани методи за мерење сигурносних карактеристика система уземљења у високонапонским постројењима  
Име и презиме ментора, звање Небојша Б. Раичевић, доцент  
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације ННВ бр. 07/03-017/16-002 од 23.03.2016. године, Електронски факултет  
НСВ бр. 8/20-01-003/16-018 од 18.04.2016. године, Универзитет у Нишу

### ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна 188  
Број поглавља 8  
Број слика (шема, графика) 64  
Број табела 6  
Број прилога 3

**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА  
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1	<p><b>Vojin I. Kostić, Nebojša B. Raičević,</b> "An alternative approach for touch and step voltages measurement in high-voltage substations", <i>Electric Power Systems Research Journal</i>, vol. 130, pp. 59–66, ISSN: 0378-7796, <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2015.08.023">http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2015.08.023</a>, January 2016. (IF 2014=1.749).</p> <p>У раду је приказан побољшани метод за мерење напона додира и напона корака. Поменути методолошки приступ именује се као <i>Frequency Shift Method (FSM)</i>. Метод је заснован на узастопном коришћењу АС испитне струје на три фреквенције које су различите од мрежне, као и од фреквенције њених хармоника. У циљу верификације <i>FSM</i>, мерења су спроведена у две високонапонске трансформаторске станице у нормалном погонском стању и са, у пракси добро установљеним, <i>Test Current Reversal Method (TCRM)</i>. Компаративна анализа експерименталних резултата испитивања указује да, у случају временски константне сметње (интерференција је константна по амплитуди и фазном ставу), и <i>TCRM</i> и <i>FSM</i> имају у суштини исти квалитет. У раду је анализирано и понашање фреквенцијске зависности напона додира и напона корака, везано за електромагнетске специфичности основног тла, али и присуства других металних маса у земљишту (струјно-оптеретиви плаштеви каблова разгранате кабловске мреже средњег напона) које остварују директну галванску везу са испитиваним системом уземљења.</p>	M22
2	<p><b>Vojin I. Kostić, Nebojša B. Raičević,</b> "A study on high-voltage substation ground grid integrity measurement", <i>Electric Power Systems Research Journal</i>, vol. 131, pp. 31-40, ISSN: 0378-7796, <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2015.10.006">http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2015.10.006</a>, February 2016. (IF 2014=1.749).</p> <p>Задржавајући се у оквирима стандарда <i>IEEE Std 81-2012</i> (sec. 10.2), у раду је до детаља елабориран побољшани метод за испитивање континуитета мрежастог уземљивача високонапонског постројења. Суштински, ради се о квалитативно новом методу. Како би се суштински објективизирао (побољшао) постојећи <i>IEEE</i> метод (<i>High-Current Test Method</i>), у раду је, базирајући се на алгоритму процедуре испитивања јасно раздвојен процес мерења (прикупљање сирових података) и њихова обрада (<i>postprocessing</i>). Експертском анализом обрађених резултата мерења, откривање деградираних места унутар мрежастог уземљивача, постиже се са прихватљивом прецизношћу. Резултати приказани у раду оправдавају имплементацију наведеног приступа.</p>	M22
3	<p><b>Vojin Kostić, Nebojša Raičević, Aleksandar Pavlović,</b> "Enhanced grounding system impedance measurements for high-voltage substations", <i>International Transactions on Electrical Energy Systems</i>, vol. 25, no. 9, pp. 1875–1883, ISSN: 2050-7038, <a href="http://dx.doi.org/10.1002/etep.1939">http://dx.doi.org/10.1002/etep.1939</a>, September 2015. (IF 2014=0.49).</p> <p>Побољшани метод за мерење импедансе система уземљења високонапонских трансформаторских станица, <i>Frequency Shift Method (FSM)</i>, представљен је у раду. Експериментална истраживања спроведена су у две трансформаторске станице називног напона 110/35/10 kV и 110/35 kV, респективно. Прва трансформаторска станица била у нормалном оперативном стању, док је друга била у безнапонском стању. Како би се побољшани метод и експериментално потврдио, испитивања импедансе система уземљења спроведена су, поред <i>FSM</i>, и упоредним коришћењем <i>Beat Frequency Method (BFM)</i> и <i>Transition Method (TM)</i>. Резултати, представљени у раду, показују да у случају трансформаторске станице у безнапонском стању сва три метода дају практично исте вредности импедансе система уземљења. Међутим, када је на уземљивачком систему трансформаторске станице регистровано значајно присуство временски променљиве електромагнетске интерференције (трансформаторска станица у нормалном оперативном стању), <i>FSM</i> и <i>TM</i> показују значајну имуност на сметњу у односу на <i>BFM</i>.</p>	M23

4	<p><b>Vojin I. Kostić</b>, Nebojša B. Raičević, Dragan S. Kovačević, "The choice of suitable frequencies for measurements based on FSM", <i>Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics</i>, vol. 15, no. 1, 2016, pp. 9–16, ISSN: 1820-6425, <a href="http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUAutContRob/article/view/1255/1125">http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUAutContRob/article/view/1255/1125</a>.</p> <p>У овом раду анализиран је и верификован нови метод за елиминисање утицаја системске сметње на процес(е) мерења на систему уземљења активног ВН постројења. Прво, објашњени су разлози везани за предлог коришћења три тест фреквенције уместо једне или две фреквенције. Потом, анализирана су ограничења везана за избор три испитне фреквенције (фреквенције су померене у односу на 50 Hz, отуда назив <i>Frequency Shift Method</i>). За десет ВН трансформаторских станица различитог напонског нивоа, детаљно су елаборирана мерења композитне сметње (резидуални сигнал на 50 Hz, хармонијске компоненте од 50 Hz, основни шум и интермодулациони производи). Детаљном анализом мерења утврђено је да је ниво сметњи специфичан за сваку ВН трансформаторску станицу. У том смислу, предложен је поступак за избор оптималног интензитета испитне струје за сет од три испитне фреквенције.</p>	M24
5	<p><b>Vojin Kostić</b>, Žarko Janda, Zoran Nedeljković, „Analiza frekvencijske zavisnosti specifične električne otpornosti tla – metoda merenja i praktična primena”, 2015., <i>Tehnika</i>, Br. 64, Iz. 3, pp. 481-486, ISSN: 0040-2176.</p> <p>У овом раду предложен је метод за релативно једноставно мерење специфичне електричне отпорности тла. Метод је примењив како у фази пројектовања система уземљења, тако и за потребе ревизије изведеног система. На практичном примеру, на бази лабораторијског мерења специфичне електричне отпорности узорака тла допремљеног са локалитета електроенергетског објекта (ПП 400 kV Младост, ЈП Електромрежа Србије) и оближње оранице, јасно је показано какве последице има насипање терена са шљаком. Такође је потврђена и полазна премиса аутора, да на карактер фреквенцијске зависности импедансе система уземљења, поред уземљеног дела трансмисионе инфраструктуре (надземне и/или подземне), као и присуства других подземних металних структура које су у непосредној близини испитиваног система уземљења, битно утичу и фреквенцијски зависне електричне карактеристике тла.</p>	M51
6	<p><b>Vojin Kostić</b>, Maja Grbić, Predrag Branislavljević, Žarko Janda, Jovan Mrvić, "Ispitivanje specifične električne otpornosti guste hidromešavine pepela i povratne vode iz TE "Kostolac A" u laboratorijskim uslovima", <i>Zbornik radova Elektrotehničkog instituta "Nikola Tesla"</i>, Beograd, Knjiga 25, pp. 31-39, 2015., ISSN: 0350-8528.</p> <p>У раду је приказано мерење специфичне електричне отпорности густе хидромешавине пепела и повратне воде из ТЕ „Костолац А”. Мерења су спроведена за четири различите концентрације узорака у лабораторијским условима. Резултати експерименталних истраживања, изложени у раду, указују на неколико битних фактора: временски период протекао од уливања проводног медијума у мерни систем, за мање концентрације пепела (до 30%) нема практичног значаја; повећавањем концентрације пепела густа хидромешавина поприма израженија диелектрична својства; концентрација са мешавином 30% пепела и повратне воде доводи до засићења смеше (до засићеног воденог раствора растворљивих састојака анализираниог пепела) и даље додавање пепела нема значајнијег утицаја; електрофилтерски пепео не садржи једињења која подлежу електролитичкој дисоцијацији у воденом раствору и обарају специфичну електричну отпорност чисте повратне воде; након временског интервала од 360 s долази до смиривања процеса кретања честица електрофилтерског пепела кроз повратну воду.</p>	M53
7	<p><b>Vojin Kostić</b>, Nebojša Raičević, "Grounding system impedance measurement using shifted frequency method", <i>IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives - POWERENG 2015</i>, Riga, Latvia, LF-000124 (CD), pp. 1-4, 11-13 May 2015, ISBN: 978-1-4799-9978-1/151.</p> <p>У овом раду анализирано је испитивање импедансе система уземљења хидроелектране “Увац” (ХЕ “Увац”) применом <i>Frequency Shift Method (FSM)</i>. Испитивања су спроведена при различитим оптерећењима припадајућих далековода 110 kV, који због неуједначености струја оптерећења и несиметрије</p>	M33

	<p>далековода, генеришу лутајуће струје на систему уземљења ХЕ “Увац”. Прецизније, испитивања су спроведена при високом и ниском нивоу електромагнетске интерференције, доминантне учестаности 50 Hz. Резултати испитивања, приказани у раду, указују да је <i>FSM</i> пркатишно имуна на електромагнетску интерференцију и напонске сметње, односно да се у условима јако високог нивоа сигнала сметње добија исти резултат импедансе система уземљења као и без присуства интерференције.</p>	
8	<p><b>Vojin Kostić</b>, Nebojša Raičević, Jovan Mrvić, Slavica Rebrić, "Grounding System Impedance Measurement – Case Study", <i>12th International Conference on Applied Electromagnetics - ПЕС 2015</i>, Faculty of Electronic Engineering of Niš, Niš, Serbia, O5-6 (CD), pp. 1-4, 31 Aug.-2 Sep. 2015, ISBN: 978-86-6125-144-3.</p> <p>У циљу остварења адекватног (великог) односа између нивоа испитног сигнала и нивоа композитне сметње из постројења, испитна струја мрежне фреквенције треба бити врло велика (100 А и више). Због тога је у раду, на реалном објекту испитивања и у реалним условима испитивања, демонстрирана компаративна предност <i>Frequency Shift Method (FSM)</i>, која се огледа у избору значајно мањег интензитета испитне струје, којом се може побудити систем уземљења димензионо великог високонапонског постројења (&gt;20000 m<sup>2</sup>) и прецизно измерити импеданса система уземљења. Наиме, у раду су у трансформаторској станици 220/110/10 kV “Ваљево 3” (ЈП ЕМС), спроведена два експеримента: инјектирање испитне струје већег интензитета (реда десетине ампера) и инјектирање испитне струје мањег интензитета (реда ампера). Резултати мерења јасно указују да се “померањем” фреквенције инјектиране струје може значајно смањити њен интензитет, односно да се импеданса система уземљења димензионо великог високонапонског постројења (&gt;20000 m<sup>2</sup>) може прецизно измерити инјектирањем испитне струје реда ампера.</p>	M33
9	<p><b>Vojin Kostić</b>, Dragutin Salamon, Aleksandar Pavlović, Saša Milić, "Poboljšanje U-I metode za merenje impedanse sistema uzemljenja", <i>Elektrane 2012</i>, Društvo termičara Srbije, E2012-027 (CD), 2012., ISBN: 978-86-7877-021-0.</p> <p>У раду је дат приказ побољшаног U-I метода за мерење импедансе система уземљења. Основна идеја за побољшање конвенционалног метода, без промене фреквенције испитне струје, заснива се на снимању тренутка укључења испитне струје осцилоскопом. На основу добијеног снимка за период непосредно пре тренутка укључења могуће је одредити величину сигнала сметње у напонском испитном колу, његову ефективну вредност и фазни став. При томе је реално претпоставити да се сигнал сметње не мења значајно након тренутка укључења и да се суперпонира са сигналом од интереса. Из укупног сигнала напона снимљеног након тренутка укључења могуће је, одузимањем, елиминисати сигнал сметње. Анализу је могуће спровести директно у временском домену или у комплексном домену, при чему је неопходно одредити почетне фазне ставове сигнала сметње и сигнала од интереса.</p>	M63
10	<p><b>Vojin Kostić</b>, Slavica Rebrić, Dragan Kovačević, Nebojša Raičević, "Ispitivanje impedanse sistema uzemljenja dimenziono velikih elektroenergetskih objekata najvišeg pogonskog napona metodom pomerene frekvencije", <i>Elektrane 2014</i>, Društvo termičara Srbije, E2014-148 (CD), 2014., ISBN: 978-86-7877-024-1.</p> <p>Резултати испитивања импедансе система уземљења интреконекивних трансформаторских станица, применом метода померене фреквенције и конвенционалног метода испитивања прописаног националним правилником представљени су у раду. Поред, са метролошког аспекта ниске мерне несигурности, додатни беневит методе померене фреквенције огледа се одређивању резистивности и реактансе, односно фазног става импедансе система уземљења.</p>	M63
11	<p><b>Vojin Kostić</b>, Dragutin Salamon, Saša Milić, Aleksandar Pavlović, Jovan Mrvić, "Ispitivanje impedanse sistema uzemljenja metodom pomerene frekvencije", <i>31. Savetovanje Cigre Srbija</i>, R B3 09 (CD), 2013.</p> <p>У раду је дат приказ испитивања импедансе система уземљења методом померене фреквенције. Конвенционална метода испитивања импедансе система уземљења заснована је на потискивању сметње по амплитуди, што је веома неефикасно.</p>	M63

Основна идеја методе померене фреквенције лежи у могућности да се сметња у виду позадинског шума потисне не по амплитуди већ у фреквенцијском домену, чиме се раздваја сигнал сметње познате учестаности нпр. од 50 Hz, од мереног сигнала чија је учестаност једнака учестаности испитне струје. Услов, који поставља нова метода, је тај да је у поступку мерења потребно имати струјни извор променљиве фреквенције да би се фреквенција испитне струје могла подешавати тако да се њена фреквенција разликује од фреквенције позадинског шума, који у нашим условима износи најчешће 50 Hz. У раду је, такође, дат приказ компаративне анализе резултата практичних мерења конвенционалним U-I методом и методом померене фреквенције.

**Vojin Kostić, Srđan Mijušković, Jovan Mrvić, Nebojša Raičević, "Ispitivanje impedanse sistema uzemljenja transformatorskih stanica i razvodnih postrojenja najvišeg pogonskog napona metodom pomerene frekvencije", 4. Savjetovanje CG KO Cigre, R B3-01 (CD), 2015.**

12 Овај рад бави се практичном применом метода померене фреквенције у високонапонским постројењима лоцираним у руралном подручју. Поред неосетљивости на електромагнетску интерференцију, унапређеним методом испитивања, одређује се и фреквенцијска зависност импедансе система уземљења, њеног активног дела (резистивности), односно реактансе. Са дијаграма и из табела, приказаних у раду, јасно се може видети: да је импеданса система уземљења доминантно резистивног карактера, да је регресиона линија фреквенцијске зависности импедансе система уземљења у случају вертикалне (бочне) нехомогености тла благо негативна, као и да је вредност реактансе за ред величине мања од резистивности.

M63

**Vojin Kostić, Dragan Kovačević, Aleksandar Pavlović, Nebojša Raičević, "Ispitivanje kontinuiteta mrežastog uzemljivača elektroenergetskog postrojenja", 4. Savjetovanje CG KO Cigre, R B3-02 (CD), 2015.**

13 Овај рад се бави практичним мерним методом испитивања континуитета мрежастог уземљивача високонапонских постројења. Метод треба да омогући откривање деградираних, лоших спојева унутар мрежастог уземљивача насталих као последица хаваријских стања или вишедеценијске изложености негативним утицајима тла. Метод се састоји у пропуштању једносмерне испитне струје (100 A) кроз мрежасте уземљивач објекта, између унапред одабраног референтног уземљења и испитиваног земљовода високонапонске опреме. Коришћењем напонски регулисаног извора велике једносмерне струје ефекат лутајућих струја је потпуно елиминисан филтрирањем од стране мерног система, јер се мере вредности једносмерне струје и њоме генерисани једносмерни падови напона. Мерна несигурност која се јавља приликом испитивања једносмерном струјом (100 A) своди се на грешку мерног система, коју је могуће прецизно израчунати. У раду је до детаља изложена процедура приликом испитивања и дефинисани су кораци према којима се врши анализа резултата испитивања.

M63

**НАПОМЕНА:** уколико је кандидат објавио више од 3 рада, додати нове редове у овај део документа

### ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА

Кандидат је првопотписани аутор на два рада објављена у часопису који има импакт фактор 1.749, једног рада објављеног у часопису који има импакт фактор 0.49, као и рада објављеног у часопису који издаје Електронски факултет, Универзитета у Нишу.

### ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

Поред уводног поглавља ова дисертација садржи још седам поглавља која су организована у три дела. Део I (Поглавља 2 и 3) односи се на преглед релевантних проблема. Део II (Поглавља 4, 5, 6 и 7) садржи елаборацију и верификацију нових мерних метода. Део III садржи закључке и предлоге за даљи рад.

У Поглављу 2 дат је преглед основних функционалних и фреквенцијских карактеристика система

уземљења. У том контексту излагање је фокусирано на димензионо велика ВН постројења (уобичајено, трансформаторске станице). Дат је преглед карактеристика ВН постројења у односу на фреквенцију мреже као и односу на транзијенте (50 Hz) и импULSE који потичу од струје услед атмосферских пражњења. У том контексту дискутоване су одговарајуће интервенције у структури система уземљења ради ефикасне заштите од пренапона који су последица транзијентата (50 Hz). Елаборирано је да је понашање система уземљења у односу на мрежну фреквенцију потпуно познато и одговарајућа знања транспонована су у стандарде. Међутим, понашање мреже у присуству импулса и транзијентата још увек је у домену истраживања. Даље, у овом поглављу, дат је преглед карактеристика тла које имају фундаментални утицај на систем уземљења. У овом поглављу дат је и преглед карактеристика кондуктивних сметњи присутних у систему уземљења. Образложено је да је карактер и ниво кондуктивне сметње у систему уземљења релевантан за тачност мерења сигурносних карактеристика. Дат је критички преглед актуелних метода за потискивање кондуктивне сметње на мрежној фреквенцији. У том контексту идентификовани су и елаборирани отворени проблеми који ће бити анализирани у овој тези.

У Поглављу 3 разматрају се постојећи методи за мерење сигурносних карактеристика система уземљења. Преглед се односи искључиво на методе који су применљиви на просторно велика ВН постројења. У фокусу прегледа је *IEEE Std 81-2012* (метод за проверу континуитета система уземљења, метод за мерење импедансе система уземљења и метод за мерење напона додира и напона корака). Јасно су истакнути проблеми везани за субјективност *IEEE* метода за проверу континуитета. Основни проблем *IEEE* метода за мерење импедансе система уземљења, а такође и за мерење напона додира и напона корака, односи се на неадекватно елиминисање утицаја системске сметње на одговарајући процес мерења. Детаљно је елабориран *FOP* метод за мерење импедансе и његова практична еволуција. На компромисној основи, дефинитивна сугестија за практичну примену је тзв. неконвенционални *FOP* метод. Међутим, треба нагласити да поменута анализа, везана за развој неконвенционалног *FOP* метода, не обухвата разматрање утицаја кондуктивне системске сметње.

У Поглављу 4 дата је анализа релевантна за побољшање (објективизирање) *IEEE* метода за проверу континуитета система уземљења. Побољшани метод, *A-HCM*, развијен је на бази детаљне анализе резултата за осамнаест ранијих тестова у врло различитим ВН постројењима. Потом, побољшани метод, заснован на прецизним критеријима, примењен је у поступку мерења на нових шеснаест трансформаторских станица. У овом поглављу, на конкретном примеру, корак по корак, објашњена је примена новог метода на једној од тестираних димензионо великих ВН трансформаторских станица. Мерења су извршена на трансформаторској станици која је била у нормалном радном режиму. Ово поглавље базира на објављеним радовима [2] и [13].

У Поглављу 5 анализиран је и верификован нови метод за елиминисање утицаја системске сметње на процес(е) мерења на систему уземљења активног ВН постројења. Прво, објашњени су разлози везани за предлог коришћења три тест фреквенције (уместо једне или две фреквенције чија је примена елаборирана у литератури, а у одељку 2.5 дат је критички преглед). Потом, анализирана су ограничења везана за избор три испитне фреквенције (фреквенције су померене у односу на 50 Hz, отуда назив *Frequency Shift Method*). За десет ВН трансформаторских станица различитог напонског нивоа, детаљно су елаборирана мерења композитне сметње (резидуални сигнал на 50 Hz, хармонијске компоненте од 50 Hz, основни шум и интермодулациони производи). Детаљном анализом мерења утврђено је да је ниво сметњи специфичан за сваку ВН трансформаторску станицу. У том смислу, предложен је поступак за избор оптималног интензитета испитне струје за сет од три испитне фреквенције. Ово поглавље базира на раду [4].

У Поглављу 6 елаборирана је примена *FSM* за мерење импедансе система уземљења активне ВН трансформаторске станице. Наиме, неконвенционални *FOP* метод примењен је на сет од три испитне фреквенције. Ради одређивања (прецизније, процене) вредности импедансе на 50 Hz примењен је поступак линеарне регресије на резултате мерења за три испитне фреквенције померене у односу на 50 Hz. Одговарајућа експериментална анализа спроведена је у двадесет пет ВН постројења. Упоредо су вршена мерења са потискивањем сметњи (50 Hz) користећи традиционални, *TCRM*, метод. Показано је, да једино у нетипичној ситуацији, тј. када се интензитет и фаза системске сметње не мењају, конвенционални и нови метод дају практично исти резултат на 50 Hz. Међутим, у реалним условима, тј. када системска сметња флукутира, доказано је да је конвенционални метод потискивања утицаја системске сметње инфериоран у односу на *FSM*. Дакле, доказана је предност *FOP-FSM* у односу на *FOP-TCRM*. Такође, доказано је да *FOP-FSM* захтева за око ред величине мањи интензитет испитне струје у односу на *FOP-TCRM*. Даље, доказано је да *FOP-FSM* омогућава увид у карактер измерене привидне импедансе система

уземљења. Са друге стране, објашњена је веза између карактера привидне импедансе и карактеристика тла (хомогено, нехомогено). Ово поглавље базира на објављеним радовима [3, 5-12].

У Поглављу 7 предложен је нови метод за мерење напона додира и напона корака. У одсуству сметњи метод је еквивалентан са *FEM (Footprint-Electrode Method)*, а у присуству системске сметње је инхерентно бољи (прецизнији) него конвенционални *FEM-TCRM*. Такође, нови метод је у манипулативном погледу једноставнији него *FEM-TCRM*. Робустност новог метода у односу на системску сметњу резултат је примене *FSM*. Ово поглавље базира на објављеном раду [1].

У Поглављу 8 резимирани су основни доприноси ове тезе: побољшани метод за проверу континуитета система уземљења, метод за *on-line* детектовање и потискивање сметњи при мерењу импедансе система уземљења, нови метод за мерење напона додира и напона корака. Такође, препоручени су могући правци за даљи рад. Препоруке се односе на процес стандардизације предложених метода и на потпуну аутоматизацију мерења.

## ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације (до 200 речи)

Основни циљ ове дисертације односи се на суштинско побољшање *IEEE Std 81-2012*.

Прво, у овој дисертацији предложен је и доказан ефикасан метод за елиминисање системских сметњи. Тај метод именује се као *FSM (Frequency Shift Method)*. Метод је применљив на мерење све четири карактеристике система уземљења. Због практичних разлога, у овој дисертацији, метод је примењен у процесу мерења импедансе система уземљења, као и у процесу мерења напона додира и напона корака. Очигледно, примена *FSM* има за последицу побољшање тачности мерења (у односу на одговарајуће конвенционално мерење).

Друго, испитивање континуитета система уземљења, за разлику од предлога у *IEEE Std 81-2012*, потпуно је објективизовано. Суштински, ради се о квалитативно новом методу.

Треће, интензитет испитне струје, за разлику од паушалног предлога у *IEEE Std 81-2012*, прецизно је дефинисан за све врсте разматраних мерења на систему уземљења. То има за последицу побољшање тачности и економичности мерења.

Четврто, предложен је и експериментално доказан нови метод за мерење напона додира и напона корака.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације (до 200 речи)

У циљу адекватног разумевања доприноса ове тезе, а који се односе на суштинско побољшање актуелних мерних метода предложених у *IEEE Std 81-2012*, корисно је имати у виду следеће чињенице.

1. Одређени стандард у области мерних процедура последица је најбољег акумулираног искуства по том питању у датој области. У принципу, стандард не сме бити субјективан. Ипак, постоје привремени изузеци условљени специфичним ограничењима због мноштва фактора који утичу на мерну величину, а истовремено стандардизационо тело не располаже са довољно емпиријског искуства о објективној контроли тих утицаја. У том случају стандард дефинише само оквирне смернице за мерну процедуру. Истовремено, стандард оставља слободу експериментатору да процедуру и/или мерну шему персонализује према својим потребама. На тај начин ствара се фондус нових искустава као основа за генерално објективизирање предметног стандарда у будућности. Управо такав сценарио је у случају *IEEE Std 81-2012* у делу који се односи на испитивање континуитета система уземљења ВН објеката. С тим у вези, у стандарду *IEEE Std 81-2012* експлицитно се наводи да је субјективан. Предметна дисертација, на веродостојној емпиријској основи даје недвосмислен прилог објективизацији поменутог стандарда.

2. У одређеној фази еволуције, стандард може садржати резидуалну имплицитну субјективност, ограничену тачност и одређене манипулативне проблеме. Такав је *IEEE Std 81-2012* у делу који се односи на мерење импедансе система уземљења, напона додира и напона корака. Предметна дисертација, на веродостојној, теоријској и емпиријској, основи даје недвосмислен прилог објективизацији, тачности и изводљивости поменутих мерења.

3. Генерално, битна карактеристика одређеног стандарда односи се на рационално коришћење енергетског извора неопходног у процесу мерења. По природи проблема, када је у питању мерење на систему уземљења димензионо великог ВН постројења, захтев у погледу интензитета струје из енергетског извора је значајан практични и економски фактор. У дисертацији, биће предложени и емпиријски потврђени побољшани методи за мерење импедансе система уземљења, напона додира

и напона корака, а који показују очигледне предности (значајно мањи интензитет испитне струје) у односу на паушално препоручену вредност наведену у *IEEE Std 81-2012 (Sec. 9.4.2)*.

4. Генерално, битна особина одређеног стандарда односи се на софистицираност - једноставно и једнозначно мерење и софтверски контролисани *postprocessing*. Методи који ће бити елаборирани у дисертацији су софистицирани.

5. Предложени нови методи биће верификовани на репрезентативном узорку од укупно 49 високонапонских постројења (трансформаторских станица, разводних постројења, термоелектрана и хидроелектрана) напонског нивоа између 110 kV и 400 kV из производног и дистрибутивног (ЈП ЕПС), односно преносног (ЈП ЕМС) електроенергетског система Србије.

#### Оцена самосталности научног рада кандидата (до 100 речи)

Кандидат је током израде докторске дисертације достигао висок степен самосталности у решавању проблема из области теме докторске дисертације и испољио је изузетну самоиницијативу у научном раду. Кандидат је првопотписани аутора свих радова који су директно повезани са темом докторске дисертације.

#### ЗАКЉУЧАК (до 100 речи)

Кандидат је у току израде докторске дисертације дао значајан допринос побољшању и развоју нових метода за мерење сигурносних карактеристика система уземљења у високонапонским постројењима. Главни доприноси докторске дисертације су представљени стручној јавности кроз два рада у часописима категорије M22, један рад категорије M23, један рад категорије M24, један рад категорије M51 и већи број конференцијских радова.

Чланови Комисије предлажу Наставно-научном већу:

- да усвоји Извештај о оцени докторске дисертације под насловом: "Побољшани методи за мерење сигурносних карактеристика система уземљења у високонапонским постројењима" кандидата мр Војина Костића, дипл. инж. и
- да одобри усмену одбрану дисертације.




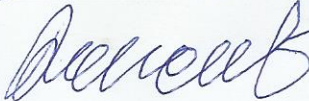


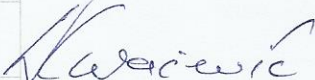
## КОМИСИЈА

Број одлуке ННВ о именовану  
Комисије

НСВ за ТТ науке број 8/20-01-005/16-032 и ННВ ЕФ број 07/03-017/16-011

Датум именовања Комисије

НСВ за ТТ науке 04.07.2016. год. и ННВ ЕФ 20.06.2016. год.

Р. бр.	Име и презиме, звање		Потпис
1.	др Небојша Б. Раичевић, доцент	председник - ментор	
	Теоријска електротехника (Научна област)	Електронски факултет, Универзитета у Нишу (Установа у којој је запослен)	
2.	др Славољуб Р. Алексић, редовни професор	члан	
	Теоријска електротехника (Научна област)	Електронски факултет, Универзитета у Нишу (Установа у којој је запослен)	
3.	др Ненад Н. Цветковић, доцент	члан	
	Теоријска електротехника (Научна област)	Електронски факултет, Универзитета у Нишу (Установа у којој је запослен)	
4.	др Александар Д. Јањић, доцент	члан	
	Електроенергетика (Научна област)	Електронски факултет, Универзитета у Нишу (Установа у којој је запослен)	
5.	др Драган С. Ковачевић, научни саветник	члан	
	Електроенергетика (Научна област)	Електротехнички институт "Никола Тесла", Универзитета у Београд (Установа у којој је запослен)	

Датум и место:

15. 07. 2016. године, Ниш/Београд