

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовео комисију: 01.07.2021., rešenjem br.012-199/31-2019, Nastavno-naučno veće Fakulteta tehničkih nauka		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. Проф. др Сарић Андрија	Редовни професор	Електроенергетика
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		Председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. Проф. др Бекут Душко	Редовни професор	Електроенергетика
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. Проф. др Видовић Предраг	Ванредни професор	Електроенергетика
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. Проф. др Думнић Борис	Ванредни професор	Енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. Проф. др Стојановић Зоран	Ванредни професор	Електроенергетски системи
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Електротехнички факултет, Универзитет у Београду		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

6.	Др Стрезоски Лука презиме и име	Доцент звање	Електроенергетика ужа научна област и датум избора
	Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду установа у којој је запослен-а		Ментор функција у комисији
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ			
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Изабела, Борисав, Стефани</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 17.08.1976. Париз, Француска</p> <p>3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Електротехника и рачунарство, Електроенергетика, Електроенергетски системи, магистар техничких наука из области електротехнике и рачунарства</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2017. Енергетика, електроника и телекомуникације</p>			
III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:			
Прорачун подешења и координације релејне заштите у дистрибутивним системима са дистрибуираним енергетским ресурсима заснованим на уређајима енергетске електронике			
IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:			
<p>Навести кратак садржај са знаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл. Докторска дисертација је написана на 85 страна. Садржи 9 поглавља, 7 табела, 48 слика и 59 навода из литературе. Кључна документација је написана на српском и енглеском језику. Дисертација се састоји од следећих глава:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Увод 2. Активне дистрибутивне мреже 3. Преглед заштите дистрибутивних мрежа и постојећих традиционалних поступака за подешење и координацију заштите у дистрибутивним мрежама 4. Модели ДЕР за прорачун дистрибутивних мрежа са кратким спојевима 5. Прорачун режима активне дистрибутивне мреже са кратким спојевима 6. Нова метода за прорачун подешења и координацију релејне заштите у дистрибутивним мрежама са кратким спојевима 7. Нумеричка верификација предложене методе за адаптивну релејну заштиту дистрибутивних мрежа са ДЕР 8. Закључци 9. Литература 			

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Научна студија представљена у дисертацији се бави новом методом за подешавање и координацију релејне заштите у мрежама са великим бројем дистрибуираних енергетских ресурса (ДЕР) заснованих на најмодернијим технологијама. Дистрибутивне мреже више нису пасивне, оне постају активни системи у којима ДЕР имају свој допринос струји кратког споја који не може да се занемари. Прорачуни режима са кваром су један од основних електроенергетских прорачуна који се користе за димензионисање и проверу капацитета прекидачке опреме као и за прорачуне подешавања и координацију релејне заштите. Прорачун подешавања релејне заштите је заснован на прорачуну кратких спојева уз уважавање тачних модела ДЕР у режимима са кратким спојем. С обзиром на то, традиционални прорачуни који су базирани на принципима пасивних мрежа више нису применљиви. Из ових разлога је у дисертацији развијен нови метод који изузетно прецизно прорачунава струје кратких спојева у присуству великог броја ДЕР и на основу ових прорачуна адаптивно преподешава заштитне уређаје.

Прва глава

Ова глава представља увод у ком је кандидат указао на значај и улогу релејне заштите у дистрибутивним мрежама као и на потребу да се унапреде методе за подешавање и координацију заштите базиране на прорачуну кратких спојева, нарочито у дистрибутивним мрежама са великим бројем ДЕР заснованих на најмодернијим технологијама. Поред тога, кандидат је указао на чињеницу да традиционални модели машина у прорачунима кратких спојева нису примењиви на ДЕР са модерним технологијама, те је потребно користити тачне, унапређене моделе ДЕР у прорачунима кратких спојева који се користе за подешавање и координацију релејне заштите. Кандидат је указао на тренутно стање у области истраживања. Дефинисани су предмет и циљ истраживања са очекиваним резултатима.

Друга глава

У овој глави кандидат је дао преглед структуре дистрибутивних мрежа и њених основних елемената укључујући и уземљење дистрибутивних мрежа, као и структуре и погон различитих врста ДЕР (фотонапонске електране, ветрогенератори, микротурбине, гориве ћелије, мотори са унутрашњим сагоревањем, дистрибуирана складишта енергије), у циљу утврђивања математичких модела елемената дистрибутивних мрежа за прорачун режима дистрибутивних мрежа у случају кварова (кратких спојева) и анализе рада и прорачун подешавања релејне заштите у дистрибутивним мрежама. Поред тога, кандидат је дао и преглед правила за рад и прикључење ДЕР на дистрибутивну мрежу са посебним освртом на ФРТ (fault ride through) захтеве у Немачкој, Ирској и Данској. У овој глави, кандидат је дао кратак преглед основних функција и захтева које треба да задовољи заштита дистрибутивних мрежа.

Трећа глава

У овој глави дат је преглед постојећих метода за заштиту традиционалних дистрибутивних мрежа и указано је на недостатке ових метода у случају активних дистрибутивних мрежа са великом количином ДЕР.

У првом делу ове главе је дат преглед карактеристика и функција релеја, реклозера и осигурача, које се користи као заштита дистрибутивних мрежа. У другом делу ове главе су описане традиционалне методе и критеријуми за подешавање и координацију релеја, реклозера и осигурача у дистрибутивним мрежама. У трећем делу ове главе кандидат је указао на значајан утицај ДЕР на рад, селективност и координацију заштите у дистрибутивним мрежама са великим бројем ДЕР, а истовремено и на недостатак традиционалних метода за подешавање и координацију заштите које се базирају на стандардним, традиционалним моделима ДЕР у прорачунима кратких спојева који се користе за подешавање и координацију релеја, реклозера и осигурача. У последњем делу ове главе кандидат је указао да су традиционални модели ДЕР сувише поједностављени у прорачунима кратких спојева па самим тим и недовољно тачни што може довести до погрешних закључака и неадекватно изабраног подешавања заштите, а тиме и до непоузданог и неселективног деловања заштитом што може довести до озбиљних последица у раду дистрибутивног система.

Четврта глава

У овој глави кандидат је представио тачне, унапређене модели следећих типова ДЕР за прорачун режима дистрибутивних мрежа с кратким спојевима: модели синхроне машине директно прикључене на мрежу, модели асинхроне машине директно прикључене на мрежу, модели ДФИМ (“double-fed induction machine”), модели ИБДЕР (“inverter-based distributed energy resources”). Посебна пажња је посвећена моделима ДФИМ и ИБДЕР пошто је то од суштинске важности за прорачуне режима савремених дистрибутивних мрежа с кратким спојевима на којим се базирају методе за прорачун подешања и координације релејне заштите.

Кандидат је указао да предложени модели ИБДЕР се састоје искључиво од директне компоненте. Режији инверзног и нултог редоследа су занемарени. Сходно томе, модели ИБДЕР се састоје од идеалних струјних генератора симетричних струја директног редоследа. Сматра се да ИБДЕР реагују на смањење напона у складу са правилима о погоуну ДЕР прикључених на мрежу у случају квара, и да се искључује са мреже након одређеног времена у складу са ФРТ карактеристиком. Кандидат је објаснио да је инверторима уграђеним у ИБДЕР углавном потребно једна до две периоде (20-40 мс) да се детектује кратак спој у мрежи. У том кратком периоду, да би се одржала константном ињектирана снага пре кратког споја, долази до пораста ињектиране струје, с обзиром на смањени напон чвора њиховог прикључења на мрежу. Након детекције квара, ињектирана струја ДЕР се почиње контролисати. Вредност струје кратког споја у кратком периоду пре него што се инвертором детектује кратак спој, као и однос активне и реактивне компоненте (контролисане) струје кратког споја након што се инвертором кратак спој детектује, одређују се итеративно, у зависности од вредности напона директног редоследа у чвору прикључења на мрежу. Након сваке итерације, модел се коригује у складу са променом напона на месту прикључења. Кандидат је указао да предложени модел ИБДЕР уважава и ФРТ карактеристику, односно, време искључења ДЕР са мреже у зависности од вредности напона на месту прикључења. С обзиром да време искључења ДЕР зависи од вредности напона, ИБДЕР на различитим локацијама у мрежи у односу на локацију квара, имају различита времена искључења. Стога, струје квара кроз заштиту зависе и од броја ДЕР који ће остати прикључени на мрежу док се заштитом не одреагује

Кандидат је јасно указао да се разликују модели ДФИМ за прорачун режима с кратким спојем у зависности од тога која заштита се користи за заштиту инвертора. У случају да је заштита изведена кроубаром и уколико струје кратког споја нису толико велике да оштете инвертор (у случају кратког споја који даље од места прикључења ДФИМ), кроубар неће одреаговати и инвертор наставља да контролише вредност излазне струје. У овом случају, модел ДФИМ за прорачун режима са кратким спојем је идентичан моделу ИБДЕР. Да ли је кратак спој критичан, у смислу да су струје велике и да ће изазвати реаговање кроубара, или није, може да се утврди на основу вредности напона у чвору прикључења ДФИМ на мрежу. Ако је напон у чвору прикључења мањи од унапред задате вредности, кратак спој се сматра критичним и претпоставља се да ће кроубар реаговати и тада се ДФИМ моделује као асинхрона машина, преко одговарајуће импедансе.

Пета глава

У овој глави, кандидат је представио алгоритам за прорачун режима активних дистрибутивних мрежа с кратким спојем који се базира се на унапређеној методи сумирања струја корекција напона која уважава тачне моделе ДФИМ и ИБДЕР. У овој глави, кандидат је дао предлог унапређења методе сумирања струја корекције напона тако што се уважава корекција модела ДФИМ и ИБДЕР у свакој итерацији у зависности од вредности прорачунатог напона на месту ДФИМ и ИБДЕР, као и време искључења ДЕР у складу са ФРТ карактеристиком.

Шеста глава

У овој глави кандидат је предложио нови метод за адаптивну релејну заштиту дистрибутивних мрежа са великом количином ДЕР. Предложени метод укључује поступак за подешање релеја као и проверу координације релејне заштите у мрежама са великим бројем ДЕР. У првом делу ове главе, кандидат је описао процедуру за избор струјног и временског подешања прекострујних релеја. Избор струјног подешања се базира на израчунатој вредности максималне струје квара на месту заштите која се јавља у условима када су сви ДЕР низводно од заштите искључени и сви ДЕР узводно од заштите укључени. За прорачун струје кратког споја, за жељену конфигурацију мреже, користи се унапређени алгоритам описан у глави 5. Поред тога, кандидат је представио

нову процедуру за избор временског подешања које се изводи тако да се обезбеди потребна селективност између парова основни – резервни релеј, односно, да се обезбеди брже деловање релеја за кратке спојеве у основној зони штићења у односу на резервни релеј. Прорачун подешања временских карактеристика заштите се базира на прорачуну кратких спојева за конфигурацију и услове у мрежи при којима се јавља максимална струја кратког споја кроз заштиту. У активним дистрибутивним мрежама са прикљученим ДЕР, максимална струја кратког споја кроз заштиту се јавља у условима када су сви ДЕР низводно од заштите искључени и сви ДЕР узводно од заштите укључени. Селективност заштите је задовољена ако је време деловања резервне заштите за степен селективности веће од времена деловања основне заштите за максималну вредност струје квара у случају кратког споја на месту уградње основне заштите. Нови метод предложен у овој дисертацији подразумева да су струје кратког споја на месту квара као и струје квара кроз релеје добијене применом унапређене методе за прорачун кратких спојева, при чему се за ДЕР користе модели описани у поглављу 4 с обзиром на одговарајући тип ДЕР.

У другом делу ове главе, кандидат је представио унапређену процедуру за проверу осетљивости и координације релејне заштите која уважава време искључења ДЕР према ФРТ карактеристикама, што је предност у односу на традиционалне методе јер се на тај начин уважава промена вредности струје кратког споја кроз заштиту док се заштитом не одреагује. Предложена метода се базира на увођењу временских интервала који се одређују секвенцијално у зависности од времена искључења ДЕР на основу ФРТ карактеристике. Осетљивост и координација заштите се проверава за сваки временски интервал са вредностима струја кратког споја које зависе од броја ДЕР који су у том временском интервалу прикључени на мрежу. При томе, време деловања релеја се прерачунава за сваки временски интервал уважавајући промену вредности струје кратког споја због искључења ДЕР као и степен побуђености релеја.

Седма глава

У седмој глави извршена је нумеричка верификација развијеног алгорита за прорачун подешања и проверу координације релеја у мрежама са великим бројем ДЕР. Представљена је анализа резултата подешања и координације релеја, као и координације реклозер - осигурач на примерима дистрибутивних мрежа малих димензија (IEEE 37). На примеру реалне дистрибутивне мреже од 186 чворова представљени су резултати координације релеја. У примерима су приказани упоредни резултати вредности струја кратких спојева и времена деловања заштитом добијени стандардним, традиционалним методама и резултати добијени предложеном новом методом за прорачун подешања и координације заштите. У првом случају, на примеру мале дистрибутивне мреже са 37 чворова и 9 ДЕР, струје кратког споја добијене применом стандардне методе су веће од струја кратког споја добијених применом методе предложене у овој дисертацији. Ова разлика је последица тога што стандардна методологија користи импедантни модел за представљање ДФИМ, без обзира на озбиљност кратког споја у односу на ДФИМ, као и што не уважава време искључења ДЕР с обзиром на ФРТ карактеристику. Као последица тога добијају се нетачни и непоуздани резултати струја кварова кроз заштитне уређаје, као и нетачна времена деловања, што може довести до погрешних закључака о координацији заштите. Додатно, време деловања релеја, као резервне заштите, је релативно велико, што може навести инжењере да разматрају корекцију и избор новог подешања релеја. До овог закључка се не долази уколико се анализа ради применом стандардне методе.

У другом примеру се проверава координација реклозера и осигурача на примеру дистрибутивне мреже од 37 чворова са прикључених 9 ДЕР. Израчунате вредности струје кратког споја на месту квара, као и кроз реклозер и осигурач, применом стандардне методе, знатно су веће од струја које се добијају применом нове методе. И овде је разлог што стандардна методологија користи импедантни модел ДФИМ у прорачунима кратких спојева и не уважава време искључења ДЕР према ФРТ карактеристици.

На основу трећег примера координације релеја у реалној дистрибутивној мрежи са 186 чворова, јасно је да је нова метода примењива и на реалне дистрибутивне мреже, односно применљива је у индустријским софтверима за надзор, управљање и заштиту електродистрибутивних мрежа великих димензија.

Осма глава

У осмој глави су изнети закључци о оствареним резултатима истраживања. Такође, дате су смернице за даља истраживања у области.

Девета глава

Девета глава садржи списак коришћене литературе.

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 складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

1. L. Strezoski, I. Stefani, D. Bekut. "Novel Method for Adaptive Relay Protection in Distribution Systems with Electronically Coupled DERs", *Int. J. of Elec. Pow. & En. Syst. (IJEPES)*, Vol. 116, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105551>.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

У овој дисертацији је представљена нова метода за адаптивну релејну заштиту дистрибутивних мрежа са великом количином ДЕР заснованих на уређајима енергетске електронике.

Предложена метода итеративно прорачунава вредности струје квара кроз заштитне уређаје и на основу резултата прорачуна, адаптивно преподешава координацију заштитних уређаја. Предложеном методом уважени су следећи кључни параметри дистрибутивних мрежа са великом количином ДЕР заснованих на уређајима енергетске електронике:

1. Развијени су и уважени изузетно прецизни модели заДФИМ, како у случају озбиљних кварова, тако и у случају благих кварова. Модели се итеративно унапређују на основу резултата прорачуна.

2. Унапређени су модели за ИБДЕР, тако да се итеративно унапређују на основу резултата прорачуна и захтева ФРТ.

3. Прорачунавају се времена искључења ДЕР диктирана захтевима ФРТ, и на основу резултата прорачуна, формирају се временски интервали у којима ће се ДЕР искључивати са мреже. У оквиру ових интервала, итеративно се прорачунавају струје кратких спојева кроз заштитне уређаје, и на основу њих се подешавање и координација уређаја адаптивно подешава.

4. Коначно, трајање конструисаних интервала се у свакој итерацији пореди са временом реаговања релеја, на основу чега се формира последњи интервал, односно на основу чега се итеративни прорачун зауставља.

Уважавањем наведених фактора, предложени метод за адаптивну релејну заштиту у дистрибутивним мрежама са великом количином ДЕР је изузетно прецизан и применљив над реалним дистрибутивним мрежама са реалним бројем и позиционирањем заштитних уређаја, без потребе за додатним улагањем у опрему.

У дисертацији су приказане велике предности предложеног метода у односу на традиционалне методе релејне заштите дистрибутивних мрежа.

Коначно, показано је да је предложена метода применљива и ефикасна за прорачуне реалних дистрибутивних мрежа великих димензија са великом количином ДЕР, као део Дистрибутивног Менаџмент Система (ДМС) софтверског решења

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

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

Прегледом докторске дисертације Комисија закључује да је приказ дисертације јасно структуриран, прегледан, систематичан и у складу са темом дисертације. Тумачење резултата је аргументовано, а изведени закључци проистичу из добијених резултата истраживања. Извршена је софтверска провера докторске дисертације на плагијаризам у библиотеци ФТН софтвером за детекцију плагијаризма iThenticate.

У складу са наведеним Комисија ПОЗИТИВНО оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

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. Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да. Дисертација је својим уводом, прегледом литературе, шест поглавља, закључком и исцрпном листом референци садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

У дисертацији је предложен нови метод за адаптивну релејну заштиту активних дистрибутивних мрежа са великом количином дистрибуираних енергетских ресурса заснованих на уређајима енергетске електронике. С обзиром да ови ресурси имају потпуно другачији одзив у случају квара у односу на традиционалне машине, постојећи методи за релејну заштиту се не могу користити у мрежама са овим ресурсима. Зато је допринос дисертације врло велик, с обзиром да предлаже метод који је потпуно употребљив у оваквим мрежама и обезбеђује заштићен и сигуран рад активних

дистрибутивних мрежа.
4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања? Дисертација нема недостатке који би значајно утицали на резултате истраживања.
X ПРЕДЛОГ:
На основу наведеног, комисија предлаже:
Да се докторска дисертација кандидата Изабела Стефани прихвати, а кандидату одобри одбрана;

Место и датум:

1. Др Андрија Сарић, редовни професор, Факултет техничких наука, Нови сад, председник
2. Др Душко Бекут, редовни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад,, члан
3. Др Борис Думнић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад, члан
4. Др Зоран Стојановић, ванредни професор, Електротехнички факултет, Београд, члан
5. Др Предраг Видовић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад, члан
6. Др Лука Стрезоски, доцент, Факултет техничких наука, Нови Сад, ментор

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 и да исти потпише.