

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Синише Зубића, дипломираног инжењера електротехнике

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 911/3 од 11.06.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Синише Зубића, дипломираног инжењера електротехнике, под насловом

Алгоритми за дистантне заштите на бази дигиталне фазне компарације

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Магистарски рад под насловом „Дистантни релеј за једнофазне кварове базиран на дигиталном фазном компаратору“ кандидат је одбранио 27.12.2010. године на Електротехничком факултету у Бањој Луци. Кандидат је тему докторске дисертације под насловом „Алгоритми за дистантне заштите на бази дигиталне фазне компарације“ пријавио 25.03.2013. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је 16.04.2013. године именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: проф. др Миленко Ђурић, проф. др Иван Шкокљев и проф. др Драган Тасић. Извештај Комисије је усвојен на Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду 14.05.2013. године, а Веће области техничких наука Универзитета у Београду дало је на то сагласност 27.05.2013. Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 28.05.2013. године, а Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је 11.06.2013. године именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: проф. др Миленко Ђурић, проф. др Иван Шкокљев, проф. др Драган Тасић, проф. др Никола Рајаковић и доц. др Зоран Стојановић.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „Алгоритми за дистантне заштите на бази дигиталне фазне компарације“ припада техничким наукама, ужој научној области Електроенергетски системи за коју је матичан факултет Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је проф. др Миленко Ђурић, истакнути стручњак из области електроенергетских система. Професор Ђурић је до данас објавио 40 радова у водећим часописима међународног значаја. У звању редовног професора је од 1999. године.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат мр Синиша Зубић рођен је 27.02.1982. године у Бугојну. Након завршетка средње Електротехничке школе у Вукосављу, 2000. године је уписао Електротехнички факултет у Бањој Луци. У току студија био је учесник неколико студентских такмичења у знању и освојио прво место на Електријади 2003. године из области електричне машине. Основне студије завршио је у мају 2006. године. Наслов теме дипломског рада био је „Алгоритам за усмјерени релеј на бази интеграла тренутне снаге“, а тема припада области релејне заштите. Од 01.09.2006. године запослен је на Електротехничком факултету у Бањој Луци. Као асистент је ангажован на низу предмета из области Електроенергетски системи. Кандидат је 2006. године уписао постдипломске студије на Електротехничком факултету у Бањој Луци, где је све испите предвиђене програмом положио просечном оценом 10. За примарну област истраживања изабрао је релејну заштиту из које је под менторством проф. др Миленка Ђурића 27.12.2010. одбранио и магистарску тезу под називом „Дистантни релеј за једнофазне кварове базиран на дигиталном фазном компаратору“. Кандидат је аутор/коаутор 18 радова од којих је један објављен у међународном часопису, 3 на међународним конференцијама, а преостали на регионалним (Босна и Херцеговина и Србија) конференцијама и часописима. Учествовао је у имплементацији два пројекта од националног значаја из тематике обновљивих извора енергије и енергетске ефикасности. Коаутор је једне монографије и рецензент међународног часописа *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација садржи нумерисаних 147 страна текста и остале пратеће странице са подацима захтеваним прописаном формом. Презентовани материјал укључује 87 слика и 23 табеле. Текст дисертације је подељен у 11 поглавља, која су насловљена: 1. Увод; 2. Дистантне заштите на бази фазне компарације; 3. Алгоритми дистантне заштите на бази фазне компарације у временском домену; 4. Критеријуми поређења алгоритама; 5. Поређење алгоритама по критеријуму броја операција; 6. Фреквентне карактеристике алгоритама; 7. Утицај параметара мреже на детекцију квара; 8. Детерминистички приступ тестирању алгоритама; 9. Стохастички модел мреже; 10. Стохастички приступ тестирању алгоритама; 11. Закључак.

На крају текста дат је преглед коришћене литературе (50 библиографских референци), номенклатура, прилози и биографија аутора.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу описан је значај дистантних заштита у савременим електроенергетским системима. Посебно је истакнута њихова улога у очувању стабилности система, чиме се пред дистантне заштите постављају високи стандарди у погледу брзине, поузданости и сигурности. Дат је и преглед најзначајније литературе класификован према врстама алгоритама на којима су базиране савремене дистантне заштите. На крају су наведена отворена питања за даља истраживања у овој области.

У другом поглављу дат је преглед дистантних заштита које детекцију кvara врше на принципу фазног поређења одговарајућих величина. Описана су решења која се већ користе у пракси и која служе као референца у односу на коју се пореде алгоритми предложени у дисертацији.

У трећем поглављу су развијени нови алгоритми дистантних заштита са полигоналном карактеристиком реаговања. Избор коефицијената у једначинама фазне компарације је вршен по критеријуму минималног времена детекције кvara. Анализиране су и суштинске разлике у односу на решења која се примењују у пракси и у савременој литератури.

У четвртом поглављу су описани најзначајнији критеријуми по којима су поређени алгоритми развијени у дисертацији са алгоритмима који се користе у пракси.

У петом поглављу је дато поређење алгоритама по критеријуму броја рачунских операција. На примеру реализације дистантне заштите која покрива све врсте кvarова на воду показано је процентуално смањење захтеваног броја операција нових алгоритама у односу на класично решење.

У шестом поглављу је дефинисан критеријум за процену фреквентних карактеристика предложених алгоритама, пошто фазна компарација у временском домену не омогућава одређивање фреквентне карактеристике на класичан начин. Показан је и утицај фреквентне карактеристике на број лажних реаговања дистантне заштите, што може довести до каскадног испадања елемената електроенергетског система.

Седмо поглавље је посвећено анализи утицаја параметара мреже на детекцију кvara код дистантних заштита. Анализиран је утицај локације кvara, односа импеданси мреже и штићеног вода, отпорности лука на месту кvara и оптерећења вода у тренутку кvara. Сваки од ових фактора може у већој или мањој мери утицати на то да квар у зони реаговања не буде детектован, или да релеј погрешно реагује на квар изван штићене зоне. Због тога су сви ови фактори узети у обзир приликом тестирања алгоритама.

У осмом поглављу дати су резултати тестирања алгоритама детерминистичким приступом. Сваки од параметара поменутих у седмом поглављу вариран је у одређеном опсегу како би се извршило поређење алгоритама. Посебна пажња је посвећена одређивању утицаја поменутих параметара на досег дистантне заштите и на брзину детекције кvara.

У деветом поглављу је развијен стохастички модел електроенергетске мреже за тестирање алгоритама дистантних заштита. Основни циљ је да се поређење алгоритама врши у условима што сличнијим онима који владају у реалној мрежи, што у случају детерминистичког приступа није могуће због произвољног избора вредности параметара симулације. Модел мреже је базиран на функцијама густине расподеле свих значајних параметара симулације. За одређивање функција расподеле коришћени су записи кварова из дистантних заштита инсталираних у преносним мрежама БиХ, Србије и Хрватске, записи токова снага и ефективних вредности напона на водовима преносне мреже (SCADA систем) и подаци добијени симулацијама у софтверским пакетима *Power System Assistant* и *Power System Simulator*.

У десетом поглављу су дати резултати тестирања алгоритама на стохастичком моделу мреже. Алгоритми су тестирани при разним вредностима подешавања зоне реаговања, а поређени су по критеријумима поузданости, сигурности и брзине детекције квара.

У једанаестом поглављу су сумирани сви резултати анализа и тестирања. Изведени су закључци и наглашени доприноси остварени у дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Питања поузданости, брзине и сигурности заштита постаје све значајније како преносне мреже постају комплексније и са више интерконекција. У таквим мрежама погрешна или неблаговремена реаговања заштита могу да буду један од узрока каскадног испадања водова и распада система као у САД, Канади и Италији 2003. године и у Индији 2012. године. Такви догађаји су праћени енормно великим штетама, па се и пред алгоритме релејне заштите постављају све строжији захтеви. То је један од разлога због којих су радови на проблемима заштите преносних мрежа актуелни у научним публикацијама и представља мотивацију за истраживања презентована у овој докторској дисертацији.

Алгоритми развијени у дисертацији представљају оригиналан приступ у детекцији кварова не само на водовима него и на другим елементима електроенергетског система где се користе дистантне заштите. Представљена су и аутентична решења за реализацију произвољног облика карактеристике реаговања упркос непроменљивости граничних углова фазног компаратора у временском домену. Понуђено је и оригинално решење за поређење алгоритама по критеријумима поузданости, сигурности и брзине детекције квара у условима реалног електроенергетског система.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је детаљно претражио постојећу релевантну литературу и коректно навео референце које су у вези са темом. Наведено је укупно 50 библиографских референци. Литература је савремена, а извори референци су доминантно врхунски и истакнути међународни часописи, те престижне међународне конференције. Листа укључује и неколицину радова које су током истраживања на тему докторске дисертације заједно објавили кандидат и ментор.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру приложене докторске дисертације састоји се у следећем:

- Детаљно је проучена релевантна литература из области савремених алгоритама дистантних заштита. На основу систематизованог прегледа литературе одређен је простор који је отворен за даље истраживање у погледу развоја нових алгоритама и објективнијих критеријума за поређење алгоритама.
- Дефинисани су најзначајнији критеријуми поређења алгоритама, како би се добила што објективнија процена примењивости алгоритама у реалном систему.
- Развијени су нови алгоритми дистантне заштите базирани на фазној компарацији у временском домену. Међу могућим решењима изабрана су три по критеријуму минималног времена детекције квара.
- Предложени алгоритми су поређени са контролним алгоритмима по критеријуму захтеваног броја рачунских операција приликом извршавања алгоритма.
- Извршена је анализа фреквентних карактеристика нових алгоритама, односно предложен је начин за њихову процену и поређење са фреквентним карактеристикама постојећих алгоритама.
- Извршена је детаљна анализа свих параметара мреже који утичу на детекцију квара код дистантних релеја. На бази ове анализе спроведено је тестирање развијених алгоритама и поређење са референтним алгоритмима. Тестирање је вршено на моделу преносне мреже, варирањем појединих параметара симулације.
- Развијен је стохастички модел мреже базиран на функцијама густине расподеле најзначајнијих параметара везаних за преносну мрежу. Модел је заснован на подацима прикупљеним из преносних мрежа БиХ и Србије. Извршено је опсежно тестирање алгоритама на развијеном моделу мреже применом Монте Карло симулација, а критеријуми поређења су поузданост, сигурност и време детекције квара.
- Анализиране су предности и недостаци предложених алгоритама у односу на референтне.

3.4. Применљивост остварених резултата

За применљивост неког алгоритма релејне заштите у пракси, неопходно је да буде испуњено неколико услова. Први услов је висок ниво поузданости и сигурности, затим што мањи број рачунских операција, како би алгоритам било могуће извршавати у реалном времену, и на крају што краће време детекције квара. Бројна тестирања и детаљне анализе показали су да предложени алгоритми детекцију квара врше уз знатно мањи број рачунских операција (између 30% и 70% мање у односу на референтна

решења) што омогућава њихову директну применљивост у пракси. Осим тога показано је да је и брзина детекције квара већа код предложених алгоритама, уз приближно једнак ниво поузданости и сигурности. Додатна предност је што овај приступ, са свим поменутих добрим особинама, може бити примењен и на друге врсте заштита.

Прикупљени подаци из преносних мрежа Босне и Херцеговине и Србије омогућили су формирање стохастичког модела мреже за процену поузданости, сигурности и просечног времена реаговања алгоритама, што пружа могућност објективнијег поређења алгоритама. Представљени модели могу бити корисни и другим ауторима приликом тестирања неких других типова заштита преносних водова.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је у својој дисертацији показао систематичност, свеобухватност и зрелост. Посебно треба истаћи да је област којом се кандидат бави веома актуелна, а да сви добијени резултати значајно унапређују постојећа решења, тако да су доприноси у овој дисертацији оригинални и потврђују способност кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У дисертацији под насловом „Алгоритми за дистантне заштите на бази дигиталне фазне компарације“ остварени су следећи научни доприноси:

- Развијени су нови алгоритми дистантних заштита базирани на фазној компарацији у временском домену са полигоналном карактеристиком реаговања. Показано је да је овим приступом могуће реализовати произвољан облик карактеристике реаговања, зависно од примене дистантне заштите.
- Детаљно су анализиране све специфичности решавања проблема у временском домену и предложен је критеријум за процену фреквентне карактеристике ове врсте алгоритама. Тиме је потврђена могућност примене ових алгоритама за разне врсте заштита уз висок ниво сигурности и робусности.
- Дефинисани су најзначајнији критеријуми за објективно поређене алгоритама, пошто се у доступној литератури спроводе углавном парцијална тестирања без анализе свих значајних показатеља перформанси алгоритама.
- Развијен је стохастички модел мреже за тестирање алгоритама базиран на подацима из реалног електроенергетског система. Овим приступом могуће је на објективнији начин поредити алгоритме, прије свега поузданост, сигурност и време детектовања квара. Развијени модел може се користити за тестирање свих врста заштита енергетских водова.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем полазних претпоставки, циљева истраживања и остварених резултата констатујемо да је кандидат успешно одговорио на постављене захтеве. Развијени алгоритми дају значајно унапређење у погледу једноставности имплементације и брзине детекције квара, док је истовремено потврђен висок ниво поузданости и сигурности алгоритама. Фреквентне карактеристике предложених алгоритама гарантују добре перформансе и у присуству виших хармоника и једносмерне компоненте у улазним сигнаlima. Развијени стохастички модел мреже пружа могућност објективнијег поређења свих значајних особина алгоритама код било које врсте заштите енергетских водова.

4.3. Верификација научних доприноса

У току свог истраживачког рада, у ужој области теме докторске дисертације, кандидат мр Синиша Зубић објавио је следеће радове:

Истакнути међународни часописи (категорија M22):

- [1] **Siniša J. Zubić**, Milenko B. Djurić „*A distance relay algorithm based on the phase comparison principle*“, Electric Power Systems Research, 92 (2012) pp 20-28 (dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2012.05.017), (IF 1.478), (ISSN 0378-7796)

Часописи националног значаја (категорија M56):

- [2] **Синиша Зубић**, Миленко Ђурић, Чедомир Зељковић, „*Алгоритам за дистантни релеј без мртве зоне, на бази фазне компарације*“, Електродистрибуција, бр. 1 од августа 2010. године, п. 42-50.

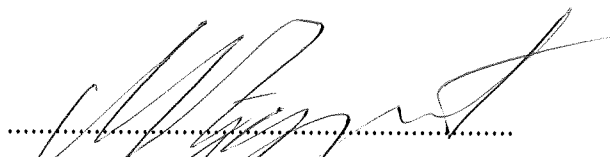
Саопштења са домаћих скупова штампана у целини (категорија M63):

- [3] **Синиша Зубић**, Миленко Ђурић, Чедомир Зељковић, „*Алгоритми дистантне заштите базирани на различитим фазним компараторима*“, Инфотех, научно-стручни симпозијум, Јахорина, март 2011.
- [4] **Синиша Зубић**, Миленко Ђурић, Чедомир Зељковић, „*Побољшање алгоритма дистантне заштите на бази интеграла тренутне снаге*“, VIII симпозијум индустријска електроника ИНДЕЛ научно-стручни симпозијум, Електротехнички факултет Бања Лука, 5.-7. новембар 2010.
- [5] **Синиша Зубић**, Миленко Ђурић, Чедомир Зељковић, „*Алгоритам за дистантни релеј базиран на интегралу тренутне снаге*“, Инфотех, научно-стручни симпозијум, Јахорина, март 2010.
- [6] **Синиша Зубић**, Миленко Ђурић, Чедомир Зељковић, „*Алгоритам за усмјерени релеј без мртве зоне базиран на интегралу тренутне снаге*“, Инфотех, научно-стручни симпозијум, Јахорина, март 2008.
- [7] **Алексеј Аврамовић**, **Синиша Зубић** „*Филтарско повећање робустности алгоритма релејне заштите на бази фазне компарације*“, ЕТРАН, Бања Врућица, 6-9. јуна 2011.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изложеног, Комисија констатује да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду. Комисија сматра да докторска дисертација мр Синише Зубића, под насловом " **Алгоритми за дистантне заштите на бази дигиталне фазне компарације**", садржи оригиналне научне доприносе, па има задовољство и част да предложи Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да ову дисертацију прихвати и одобри њену усмену јавну одбрану.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



Др Миленко Ђурић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



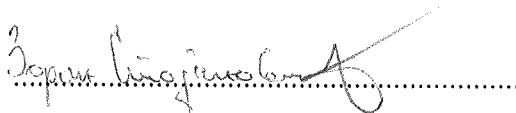
Др Иван Шкоклев, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



Др Драган Тасић, редовни професор
Универзитет у Нишу - Електронски факултет



Др Никола Рајаковић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



Др Зоран Стојановић, доцент
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет