

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ**

**Предмет:** Извештај комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата мр Зорана Стојановића, дипл. инж.

На 743. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду одржаној 7.2.2012. године, одређени смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације мр Зорана Стојановића, дипл. инж. електротехнике под насловом "Усмерени релеји базирани на дигиталном фазном компаратору". Након прегледа добијеног материјала Наставно-научном већу Електротехничког факултета подносимо следећи

### **ИЗВЕШТАЈ**

#### **1. Увод**

##### **1.1. Наслов и обим дисертације**

Докторска дисертација мр Зорана Стојановића, под називом "Усмерени релеји базирани на дигиталном фазном компаратору" изложена је на 119 страна и садржи насловне стране на српском и енглеском језику, страну са подацима о ментору и члановима комисије, стране са подацима о докторској дисертацији на српском и енглеском језику, садржај, пет поглавља, закључак, списак коришћене литературе и биографију аутора.

##### **1.2. Хронологија одобравања и израде дисертације**

Докторску дисертацију кандидат је пријавио 14.10.2010. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој 723. седници, одржаној 2.11.2010. године, именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: др Миленко Ђурић, ред. проф. (ментор), др Мирослав Нимрихтер, ванр. проф. (Факултет техничких наука, Нови Сад), др Зоран Радојевић, ванр. проф. и др Јован Микуловић, доц.

На својој 727. седници, одржаној 25.1.2011. године, Наставно-научно веће Електротехничког факултета усвојило је извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 7.3.2011. године, а на захтев Електротехничког факултета, дало сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата мр Зорана Стојановића под насловом "Усмерени релеји базирани на дигиталном фазном компаратору".

На основу предлога Комисије за студије трећег степена Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду именovalo је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Миленко Ђурић, ред. проф. (ментор), др Драган Тасић, ред. проф. (Електронски факултет, Ниш), др Зоран Радојевић, ред. проф., др Зоран Лазаревић, ред. проф. и др Јован Микуловић, доц.

##### **1.3 Место дисертације у одговарајућој научној области**

Докторска дисертација под називом "Усмерени релеји базирани на дигиталном фазном компаратору" припада техничким наукама, ужој научној области Електроенергетски системи за коју је матични факултет Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

## **1.4 Биографски подаци о кандидату**

Зоран Н. Стојановић рођен је 22.07.1979. године у Пожаревцу. Гимназију општег смера завршио је 1998. године у Свилајнцу. Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Енергетски одсек уписао је 1998. године. Дипломирао је 21.11.2003. године на смеру Електроенергетски системи, са просечном оценом 8,86. Последипломске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је 2003, смер Високонапонска опрема и постројења, где је је 27.04.2009. одбранио магистарску тезу под називом "Процена стања металоксидног одводника пренапона применом метода заснованих на анализи струје одвођења при радном напону мреже".

Годину дана радио је у пројектном бироу Енергопројект-Хидроинжењеринга. Од 2005. године запослен је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду као асистент-приправник. У звање асистента изабран је 13.10.2009. године. На основним студијама ангажован је у извођењу наставе из предмета: Електрична мерења 1, Електрична мерења 2, Практикум из софтверских алата у електроенергетици, Пројектовање помоћу рачунара у електроенергетици, Релејна заштита и Практикум-лабораторијске вежбе из електроенергетских система. На мастер студијама учествује у извођењу наставе из предмета: Мониторинг и дијагностика високонапонских постројења и Дигиталне релејне заштите.

Поседује лиценце Инжењерске коморе Србије за одговорног пројектанта електроенергетских инсталација високог и средњег напона, као и електроенергетских инсталација ниског и средњег напона. Учествовао је у изради више студија и научних пројеката, идејних и главних електро-пројеката, као и техничких контрола. Коаутор је једног уџбеника, једног рада публикованог у врхунском међународном часопису, три рада публикована у домаћим часописима, једног рада публикованог на међународној конференцији и три рада публикована на домаћим конференцијама.

## **2. Опис дисертације**

### **2.1. Структура и садржај дисертације**

Докторска дисертација подељена је у седам поглавља:

1. Увод
2. Дигитални фазни компаратор
3. Елиминисање зоне неосетљивости усмереног релеја
4. Трофазни усмерени релеј
5. Усмерени земљоспојни релеј без напонских улаза
6. Закључак
7. Литература

Дисертација садржи 99 слика и 12 табела.

### **2.2 Кратак приказ појединих поглавља**

У уводном поглављу описан је значај усмерене заштите у електроенергетском систему. У наставку је дат преглед постојећих метода у реализацији усмерене заштите: методе засноване на путујућим таласима, методе засноване на прираштајима тренутних вредности улазних величина и методе засноване на фазорима електричних величина. Посебан осврт направљен је на усмерене релеје који користе само струјне улазе. На основу предности и недостатака, које је дала компаративна анализа, формирани су основни захтеви и циљеви које нови алгоритам за усмерену заштиту треба да испуни.

У другом поглављу описан је оригинални дигитални фазни компаратор којим се може реализовати функција усмерености. Основна идеја огледа се у томе да се не рачуна фазни померај између струје и референтног напона, већ енергија односно интеграл тренутне снаге сигнала на интервалу дужине половине основне периоде напона или струје. Описано је неколико варијанти овог компаратора: алгоритам који користи тренутне вредности улазних сигнала, алгоритам који користи прираштаје тренутних вредности улазних сигнала и алгоритам који користи тренутне вредности ортогоналних компоненти *Fourier*-овог реда.

У наставку дисертације изложено је неколико специфичних примена овог поступка на решавање практичних проблема. Као прва примена приказан је алгоритам за усмерени релеј без зоне неосетљивости. Основни недостатак усмерених заштита представља постојање "мртве" зоне реаговања. Наиме, при блиским кратким спојевима напон на месту уградње релеја постаје толико мали да је практично неупотребљив за исправан рад релеја. Овај проблем решен је увођењем кашњења по напону који се доводи релеју. Посебна пажња посвећена је проблему синхронизације када стварна фреквенција система одступа од назначене.

У четвртном поглављу приказана је трофазна варијанта усмереног релеја базираног на дигиталном фазном компаратору. Функција усмерености тестирана је за све врсте кратких спојева у мрежи: једнофазни кратак спој, двофазни кратак спој, двофазни кратак спој са земљом и трофазни кратак спој.

Последње поглавље описује алгоритам за усмерени релеј без напонских улаза намењен раду у изолованим мрежама. Овај релеј, уместо напона као референтне величине, користи радне струје будући да се исте практично не мењају при појави једноструког земљоспоја. На тај начин обезбеђује се усмереност прекострујних релеја без коришћења напонских трансформатора. Овај алгоритам верификован је и на физичком моделу изоловане мреже са два извода.

### **3. Оцена дисертације**

#### **3.1 Савременост, оригиналност и значај**

Досадашњи развој заштитних релеја у технолошком смислу прошао је кроз три генерације: електромеханички, статички и дигитални релеји. Савременост докторске дисертације "Усмерени релеји базирани на дигиталном фазном компаратору" огледа се у коришћењу микропроцесорске технологије за реализацију ове заштитне функције.

У дисертацији је изложен оригинални алгоритам за естимацију смера наизменичних величина који се заснива на дигиталној фазној компарацији. Применом овог поступка отклоњена је и зона неосетљивости усмерене заштите при блиским кваровима и одступању фреквенције система од назначене. Такође, употребом поменутог компаратора у изолованој мрежи реализован је усмерени земљоспојни релеј коришћењем само струјних улаза.

Значај проблема који је анализиран у овој дисертацији огледа се у томе да се применом предложене технике повећава поузданост електроенергетског система. За довољно поуздан рад електроенергетског система неопходно је брзо детектовати и изоловати елемент са кваром. Задаци релејне заштите јесу спречавање појаве квара због ненормалних радних стања, односно минимизација штете уколико до квара ипак дође. Да би релејна заштита, па самим тим и усмерена заштита, извршила своје задатке мора бити:

- селективна или способна да изолује само елемент погођен кваром,

- брза, јер кварове у електроенергетском систему треба елиминисати што брже да би се спречиле или минимизирале штетене последице које при њиховој појави настају,
- осетљива, јер мора детектовати све кварове унутар своје подешене зоне деловања,
- поуздана, јер од њеног рада зависи поузданост електроенергетског система.

### **3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу**

Коришћена литература у дисертацији у потпуности задовољава све критеријуме доброг покривања области истраживања, адекватности и савремености анализе најновијих резултата и трендова развоја у области истраживања. Као литература коришћени су фундаментални радови из области релејне заштите и обраде сигнала, али и већи број новијих истраживања из области дигиталних релејних заштита чиме је јасно указано на место доприноса учињених у овој дисертацији. Кандидат је у дисертацији навео 34 цитата, а већина коришћених радова је из часописа са *SCI* листе.

### **3.3 Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање**

Методологија примењена приликом израде ове докторске дисертације може се сумирати кроз следећи низ активности:

- Компаративна анализа постојећих алгоритама за естимацију смера струје квара.
- Формирање основних захтева и циљева које нови алгоритам треба да испуни на основу уочених недостатака постојећих решења.
- Тестирање предложеног алгоритма рачунарским симулација.
- Верификација предложеног алгоритма лабораторијским експериментима.

### **3.4 Оцена примењивости и верификације остварених резултата**

Сваки од предложених алгоритама верификован је серијом рачунарски генерисаних улазних сигнала и симулација. При томе, варијације параметара улазних сигнала који се доводе релеју су знатно израженије у односу на опсеге који се у реалном електроенергетском систему могу јавити. Овде се пре свега мисли на варијације фреквенције система, садржај вишехармонијских компоненти како у напонском тако и у струјном сигналу, величину једносмерне компоненте струје квара и висину случајног шума и сметњи у улазним сигнаlima. На крају, поступак је верификован и са реалним сигнаlima снимљеним у лабораторији на физичком моделу изоловане мреже. Ефикасност и употребљивост предложеног метода на реалном систему у потпуности потврђује примењивост предложене методе.

### **3.5 Оцена способности кандидата за самостални научни рад**

Резултати досадашњег научноистраживачког рада мр Зорана Стојановића указују на његову упорност, креативност, иницијативност, самосталност, одговорност и зрелост, па тиме задовољавају све критеријуме Закона о високом образовању и јасно показују да кандидат поседује све услове за самосталан научни рад.

#### **4. Остварени научни допринос**

##### **4.1 Приказ остварених научних доприноса**

Рад на овој дисертацији је резултовао следећим доприносима: дат је нови приступ у одређивању смера наизменичних величина у електроенергетском систему. Овај поступак карактеришу мало заузеће процесорског времена и велика брзина одзива. Поред монофазних, могуће је реализовати и трофазне варијанте овог релеја. Применом поменутог алгоритма могу се решити практични проблеми класичних заштита као што су: подешавање осетљивости усмереног релеја без увођења импедансе модела вода, подешавање прага раговања усмерене заштите различитог од нуле, елиминисање зоне неосетљивости усмереног релеја при блиским кратким спојевима и увођење функције усмерености прекострујне заштите без коришћења напона у изолованим мрежама.

##### **4.2 Критичка анализа резултата истраживања**

На основу анализе резултата приказаних у овој докторској дисертацији може се закључити да је реализовани усмерени релеј базиран на дигиталној фазној компарацији једноставан за имплементацију услед коришћења једноставних математичких операција. Интегрални принцип рада омогућава сигурну детекцију квара без могућности лажног реаговања. Будући да се пре прорачуна улазни сигнали филтрирају, реаговање релеја је поуздано и у условима присуства виших хармоника и једносмерне компоненте у улазним сигнаlima. За разлику од других решења, алгоритам показује поуздан рад при блиским кратким спојевима и омогућава лако подешавање прага реаговања или блокирања. Осетљивост релеја једноставно се подешава и то без увођења импедансе модела вода. Овај алгоритам карактеришу мало заузеће процесорског времена и велика брзина одзива.

##### **4.3 Очекивана примена резултата у пракси**

Усмерени релеји на бази дигиталног фазног компаратора могу наћи примену у мрежама свих напонских нивоа где се функција усмерености захтева. Будући да су засновани на једноставним операцијама, могу се имплементирати у уређајима скромних перформанси. Поред монофазних, могуће је реализовати и трофазне варијанте овог релеја.

##### **4.4. Верификовани научни допринос**

Допринос докторске дисертације је верификован кроз рад објављен у врхунском међународном часопису са SCI листе (категорија M21) који је кандидат мр Зоран Стојановић објавио у својству аутора:

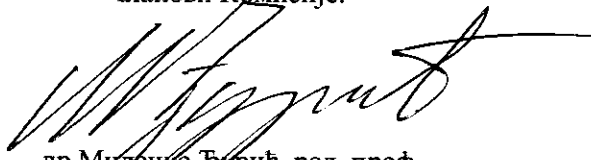
Z. Stojanović, M. Djurić, "The algorithm for directional element without dead tripping zone based on digital phase comparator", Electric Power Systems Research, DOI: 10.1016/j.epsr.2010.09.013, volume 81, issue2, pages: 377-383, February 2011, ISSN 0378-7796, IF: 1.562

## 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 Зорана Стојановића, под насловом **"Усмерени релеји базирани на дигиталном фазном компаратору"**, 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.

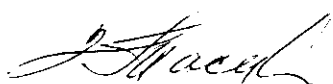
У Београду 30.03.2012. године

Чланови Комисије:



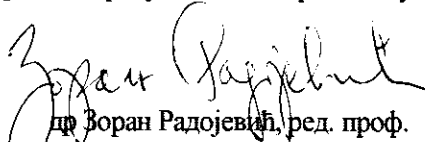
др Миленко Бурић, ред. проф.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду



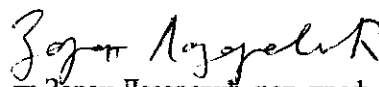
др Драган Тасић, ред. проф.

Електронски факултет Универзитета у Нишу



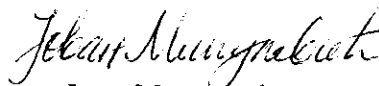
др Зоран Радојевић, ред. проф.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду



др Зоран Лазаревић, ред. проф.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду



др Јован Микуловић, доц.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду