

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Миодрага Форцана

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета на седници бр. 843 одржаној 17.9.2019. године (бр. одлуке 5006/14-3 од 30.9.2019. године), именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Миодрага Форцана, мастер инжењера електротехнике и рачунарства под насловом

### **„Попречна диференцијална заштита двоструких надземних водова”**

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

- 23.10.2014. године кандидат Миодраг Форцан је уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду;
- 22.06.2017. године кандидат Миодраг Форцан је пријавио тему за израду докторске дисертације;
- 28.06.2017. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање;
- 04.07.2017. године Наставно-научно веће на седници бр. 816 (бр. одлуке 5006/14-1 од 13.07.2017. године) именовало је Комисију за оцену услова и прихватања теме докторске дисертације у саставу: др Жељко Ђуришић, доцент (Електротехнички факултет); др Драгутин Саламон, ванредни професор (професор у пензији); др Милка Потребих, ванредни професор (Електротехнички факултет);
- 28.8.2017. године кандидат је полагао јавну усмену одбрану теме;
- 10.10.2017. године Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватања теме докторске дисертације (бр. одлуке 5006/14-2 од 10.10.2017. године);
- 30.10.2017. године Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације под називом: „Попречна диференцијална заштита двоструких надземних водова” (бр. одлуке 61206-4293/2-17 од 30.10.2017. године);

- 05.09.2019. године кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену;
- 10.09.2019. године Комисија за студије тећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације и
- Наставно-научно веће Електротехничког факултета на седници бр. 843 одржаној 17.9.2019. године (бр. одлуке 5006/14-3 од 30.9.2019. године) именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у следећем саставу:

Др Зоран Стојановић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду  
 Др Томислав Шекара, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду  
 Др Жарко Јанда, виши научни сарадник, Електротехнички институт „Никола Тесла”  
 Др Жељко Ђуришић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду  
 Др Јелисавета Крстивојевић, доцент, Електротехнички факултет у Београду

## 1.2. Научна област дисертације

Дисертација кандидата Миодрага Форцана припада научној области Техничке науке – Електротехника, ужа научна област Електроенергетски системи. За ментора дисертације одређен је др Зоран Стојановић, ванредни професор на Универзитету у Београду – Електротехнички факултет, због истакнутих доприноса у ужој научној области Електроенергетски системи, а посебно у подобласти Релејне заштите, којом се бави предметна дисертација.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Миодраг Ж. Форцан рођен је 31.12.1990. године у Зворнику. Основну школу завршио је 2005. године на Палама, као носилац дипломе „Вук Стефановић Караџић“. Учествовао је на бројним такмичењима из математике, физике и српског језика, а од награда посебно се издваја трећа награда на регионалном такмичењу из физике. Средњу школу, смер Општа гимназија, успешно је завршио 2009. године, такође на Палама, као најбољи ученик генерације. У току средњошколског образовања учествовао је на бројним такмичењима из информатике, а од награда посебно се издваја трећа награда на регионалном такмичењу.

Основне академске студије уписао је на Електротехничком факултету Универзитета у Источном Сарајеву, смер Електроенергетика, где је дипломирао 2013. године, као најбољи студент у генерацији са просечном оценом 9.96. За остварени успех добио је и посебну плакету Универзитета у Источном Сарајеву. У току три студијске године био је стипендиста Фонда „Др Милан Јелић“. Током треће године студија одрадио је троседмичну стручну праксу у Јавном предузећу „Електродистрибуција а.д. Пале“. Мастер студије уписао је 2013. године, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, смер Електроенергетски системи. У току мастер студија остварио је просечну оцену 10. Мастер студије завршио је 16.9.2014. одбраном мастер рада „Симулација рада попречне диференцијалне заштите водова” са оценом 10. Ментор на изради мастер рада био је проф. др Зоран Стојановић.

Докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду уписао је школске 2014/15. године. У току студија положио је све испите предвиђене студијским планом и програмом Модула за електроенергетске мреже и системе, са просечном оценом 10. На јавној усменој одбрани, пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета, успешно је положио докторски испит, одржан 28.8.2017.

Од октобра 2014. године запослен је на Електротехничком факултету Универзитета у Источном Сарајеву у звању асистента. У фебруару 2015. године изабран је у звање вишег

асистента на истој високошколској установи. Током свог рада био је ангажован на извођењу аудиторних и лабораторијских вежби из предмета: Системи заштите у електроенергетском систему, Електромоторни погони, Електрична мерења, Основе телекомуникација, Основе електротехнике 2, Увод у менаџмент и Менаџмент у инжењерској пракси.

Аутор је 5 научних чланка у међународним часописима, од којих су 4 са „SCI” листе, 2 научна чланка на конференцијама међународног значаја, као и 13 научних чланака на конференцијама националног значаја.

Активно се служи енглеским језиком.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Попречна диференцијална заштита двоструких надземних водова” написана је на српском језику, на 235 страни и садржи 102 слику и 15 табела. Подељена је на 7 поглавља: 1. Увод; 2. Моделовање двоструког надземног вода и интерактивни симулатор рада релејне заштите; 3. Традиционалне релејне заштите двоструког надземног вода; 4. Алгоритми за попречну диференцијалну заштиту засновани на сигнаlima струја; 5. Попречна диференцијална заштита са једнофазним аутоматским поновним укључењем; 6. Експериментално испитивање предложеног алгоритма за усмјерену попречну диференцијалну заштиту; 7. Закључак. Литература садржи 93 референци које детаљно приказују најважније резултате претходног истраживања и тренутног стања у области релејне заштите двоструког вода. У прилозима су дати параметри коришћеног модела двоструког вода и програмски код предложеног алгоритма за релеј на почетку вода.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом, уводном, поглављу најпре су описане предности примене двоструких водова у електроенергетском систему, а потом су дати и одабрани примери примене у пракси. Затим је дат и кратак преглед најчешће примењиваних концепата релејне заштите двоструког вода. Хронолошки су представљени постојећи алгоритми за дигиталну неусмерену и усмерену попречну диференцијалну заштиту. Истакнуто је да су алгоритми за усмерену попречну диференцијалну заштиту, који користе сигнале струја као референтне величине за одређивање смера струје квара, основни предмет истраживања ове докторске дисертације. Укратко су описани отворени проблеми у вези са осетљивошћу заштите у случају радијалног двоструког вода, примењивошћу заштите са системом једнофазног аутоматског поновног укључења и селективношћу заштите у случају када је само један од паралелних водова у погону. Наведени су основни и споредни циљеви истраживања. На крају уводног поглавља дат је кратак преглед дисертације по поглављима.

Друго поглавље обухвата комплетну методологију моделовања двоструког вода, почевши од прорачуна електричних параметара, па до софтверске имплементације одабраног модела. На почетку поглавља дата је упоредна анализа предности и недостатака примене двоструког вода у односу на једноструки вод. Посебно је објашњен утицај транспозиције проводника на матрице подужних електричних параметара двоструког вода. Истакнут је значај уважавања међусобне индуктивности паралелних водова за реализацију прецизнијег модела. У целости је образложен коришћени модел вода са расподељеним параметрима, уграђен у софтверски пакет MATLAB, који у прорачуну сигнала у временском домену користи нумерички имплементирану Бержеронову методу путујућих таласа. Ово поглавље садржи и симулациону анализу утицаја транспозиције проводника у асиметричним радним режимима. У завршном делу поглавља описана је реализација интерактивног симулатора

рада релејне заштите, који је коришћен у свим симулационим анализама у наставку дисертације.

У трећем поглављу анализирани су традиционални концепти дистантне и попречне диференцијалне заштите двоструког вода. На почетку анализе дати су кратки прегледи постојећег истраживања у овој области, а потом су објашњени и принципи рада ових заштита. Код дистантне заштите објашњени су основни проблеми у раду када се класична верзија овог концепта заштите за једноструки вод, без претходних прилагођења, примени у случају двоструког вода. Рад дистантне заштите двоструког вода је испитан у оквиру симулационе анализе применом раније развијеног интерактивног симулатора рада релејне заштите. Код попречне диференцијалне заштите основни део анализе посвећен је усмереном концепту заштите. Детаљно је представљен и описан модел електроенергетског система коришћен при симулационом испитивању рада алгоритама попречне диференцијалне заштите. У посебном делу поглавља предложена је методологија за одређивање прагова реаговања попречне диференцијалне заштите. Рад усмерене попречне диференцијалне заштите је детаљно испитан кроз симулациону анализу за случајеве двострано нападаног и радијалног двоструког вода. На крају поглавља описани су проблеми мртве зоне попречне диференцијалне заштите и каскадног реаговања прекидача.

Четврто поглавље даје анализу постојећих алгоритама за попречну диференцијалну заштиту заснованих на сигнаlima струја и предлог новог алгорита са побољшаном осетљивошћу у одређеним условима рада двоструког вода. На почетку поглавља су описани принципи рада алгоритама заснованих на прираштајима сигнала струја, а потом су представљени резултати симулационих испитивања рада ових алгоритама у случају двострано нападаног двоструког вода. У наставку поглавља дат је предлог новог алгорита, заснованог на промени фазних углова сигнала струја, за усмерену попречну диференцијалну заштиту радијалног двоструког вода. Описане су теоријске основе алгорита и дат је конкретан пример рада у сврху њиховог разумевања. Предложени алгоритам и познати алгоритам заснован на прираштајима тренутних вредности струја су испитивани у оквиру упоредне симулационе анализе за случај радијалног двоструког вода. Дато испитивање обухвата: одређивање прагова реаговања, анализу реаговања за различите локације, врсте и тренутке настанка квара, анализу осетљивости за случај пролазних кварова са великом отпорношћу, анализу селективности за случај узастопних кварова на оба паралелна вода која чине двоструки вод, анализу брзине реаговања, утврђивање дужина мртве зоне реаговања, и утицај промене потрошње на осетљивост заштите. У завршном делу поглавља предложен је и испитиван концепт закључавања меморијских регистара сигнала струја, као решење проблема неосетљивости алгоритама у случају кварова којима претходи рад двоструког вода у празном ходу.

У петом поглављу анализиран је рад попречне диференцијалне заштите са једнофазним аутоматским поновним укључењем. Описан је проблем у раду алгоритама заштите засноване на сигнаlima струја приликом примене једнофазног аутоматског поновног укључења. Потом је предложен нови, прилагођени алгоритам, који као референтну величину за одређивање смера струје квара користи струју другог паралелног вода, након искључења паралелног вода са кваром. У наставку анализе дефинисани су показатељи успешности једнофазног аутоматског поновног укључења који служе за детекцију разлике између пролазног и трајног квара. Дате су две варијанте предложеног алгорита за примену на случајеве двоструко нападаног и радијалног двоструког вода. У сврху провере селективности предложеног алгорита вршена су детаљна симулациона испитивања. Кроз посебан део поглавља анализиран је рад попречне диференцијалне заштите у случају двоструког вода са само једним од паралелних водова у погону. Дефинисан је посебан усмерени елемент, заснован на раније дефинисаном показатељу промене фазних углова струја, за случај двострано нападаног двоструког вода. Кроз одговарајућа симулациона испитивања проверавана је селективност предложеног усмереног елемента.

Шесто поглавље обухвата развој експерименталне шеме са циљем лабораторијског испитивања рада алгоритма заснованог на промени фазних углова сигнала струја за усмерену попречну диференцијалну заштиту. На почетку поглавља описана је реализација физичког модела двоструког вода, који се може примењивати у симетричним и асиметричним режимима рада. Потом је детаљно описана експериментална шема са свим својим елементима. Завршни део поглавља приказује резултате лабораторијских испитивања предложеног алгоритма за случајеве различитих локација и врста кварова.

У седмом, закључном поглављу дат је преглед и опис најважнијих научних доприноса докторске дисертације. Одговорено је на полазне хипотезе и сумирана су предложена решења анализираних проблема. Изведени су закључци да предложени алгоритми побољшавају осетљивост усмерене попречне диференцијалне заштите, која користи само сигнале струја, у случају радијалног двоструког вода, решавају проблеме неселективности приликом примене једнофазног аутоматског поновног укључења и случаја када је само један од паралелних водова у погону.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Разматрана докторска дисертација представља оригинални научно-истраживачки рад у области релејне заштите. У склопу предмета истраживања развијени су нови алгоритми који осавременују и надограђују концепт усмерене попречне диференцијалне заштите двоструког надземног вода. Како се у будућности очекује повећана примена двоструких водова и у радијалним мрежама, употреба заштите која користи само сигнале струја може бити од великог значаја у смислу економичности. Оригиналност дисертације огледа се у решавању проблема осетљивости заштите у случајевима слабо оптерећеног и вода у празном ходу. Предложено је и проширење опсега примене анализираних класа алгоритама на системе са једнофазним аутоматским поновним укључењем, што раније није било анализирано у широко доступној научно-истраживачкој литератури. Посебно је анализиран проблем у раду попречне диференцијалне заштите када је само један од паралелних водова у погону и предложено је оригинално решење. У оквиру дисертације предложена је и оригинална једноставна методологија за одређивање прагова реаговања алгоритама заштите. У току научно-истраживачког рада развијен је и софтверски имплементиран интерактивни симулатор рада релејне заштите који спада у савремене методе рачунарских испитивања. Оригинално је предложена и експериментална шема са физичким моделом двоструког вода и реалним уређајима дигиталне релејне заштите за лабораторијска испитивања развијеног алгоритма заштите.

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

У току израде докторске дисертације кандидат је истражио постојећу релевантну литературу и коректно навео 93 референци које су од значаја за тему дисертације. Литература обухвата широк опсег доступних публикација, доминантно везаних за области релејне заштите и моделовања надземних водова. Литература укључује и 6 публикација на којима је кандидат аутор (по један чланак у научним часописима међународног значаја категорије M21 и M22 и 4 чланка у зборницима националних конференција категорије M63), а који су директно проистекли из научно-истраживачког рада на дисертацији.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Са циљем анализе и провере постављених хипотеза, истраживање примењеног циља је спроведено помоћу квантитативне методе доминантно засноване на рачунарским симулацијама и делимично засноване на експерименталним лабораторијским испитивањима. Истраживачки процес је спроведен у следећим корацима:

- Преглед постојеће и издвајање релевантне литературе у вези теме дисертације.
- Процена тренутног стања истраживања, идентификација отворених проблема и постављање хипотеза.
- Научна метода моделовања је примењена при формирању математичког модела двоструког надземног вода, као апстракције реалног елемента у електроенергетском систему, који даје задовољавајућу прецизност математичког прорачуна електричних сигнала у симетричним и асиметричним режимима рада. Примена исте методе је омогућила формирање модела релејне заштите, као апстракције софтверског дела реалних уређаја. Сви модели су обједињени у јединствени интерактивни симулатор рада релејне заштите, реализован применом софтверског пакета MATLAB.
- Као основна метода прикупљања података за истраживање у оквиру дисертације коришћен је експеримент. Релевантни подаци за истраживање су највећим делом добијени као резултат рачунарских симулација (симулирани сигнали струја добијени применом софтверског пакета), а мањим делом као резултат контролисаног лабораторијског експеримента (меморисани снимци сигнала струја добијени у току лабораторијског испитивања).
- Научна метода анализе је доминантно коришћена током истраживачког процеса, где је рад предложених алгоритама заштите углавном анализиран и вреднован кроз особине осетљивости и селективности (функционални делови). Заступљеност компаративне научне методе у дисертацији је видљива кроз велики број упоредних симулационих испитивања, углавном по два алгоритама. Дато је и поређење концепата дистантне и попречне диференцијалне заштите двоструког вода кроз које се такође огледа компаративна научна метода.
- У дисертацији доминира индуктивни процес сазнања, где се на основу испитивања алгоритама за појединачне и посебне случајеве долази до општијих сазнања о њиховој осетљивости и селективности. Последишно, као основна научна метода при доношењу најважнијих закључака коришћена је синтеза. Вредновање особина предложених алгоритама вршено је синтезом закључака који су проистекли на основу резултата испитивања њиховог рада у појединачним случајевима.

Примењена методологија одговара добро познатим светским стандардима научно-истраживачког рада. Све постављене хипотезе су адекватно проверене.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Алгоритми усмерене попречне диференцијалне заштите, развијени у оквиру ове докторске дисертације, могу се уз мања прилагођења уградити у реалне уређаје дигиталне релејне заштите и користити у пракси за заштиту двоструких водова. Помоћу предложених решења могуће је надоградити постојеће алгоритме усмерене попречне диференцијалне заштите, засноване на сигнаlima струја, да буду селективни приликом примене система једнофазног аутоматског поновног укључења и у случају када је само један од два паралелна

вода у погону. Представљена методологија одређивања прагова реаговања може бити примењена за произвољан алгоритам попречне диференцијалне заштите. Развијени интерактивни симулатор рада релејне заштите и експериментална шема за лабораторијска испитивања могу бити примењивани и при развоју неких других алгоритама заштите надземних вода.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Миодраг Форцан је на Електротехничком факултету Универзитета у Источном Сарајеву завршио четворогодишње редовне студије са просечном оценом 9,96. Потом је завршио мастер студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду са просечном оценом 10,00, где је, након успешно одбрањеног мастер рада, 2014. године уписао и докторске студије. Полагањем свих испита предвиђених наставним планом и програмом докторских студија на Модулу електроенергетске мреже и системи, као и полагањем докторског испита, кандидат је стекао право на израду докторске дисертације у складу са Законом и правилима Универзитета и Факултета. Током докторских студија кандидат је показао интерес, вештине и велику самоиницијативност у вези научно-истраживачког рада. Јасно је видљива способност кандидата да методолошки решава проблеме, побољшава постојеће и развија нове методе, софтверски моделује сложене системе и програмира рачунарске симулације, развија експерименталне шеме за лабораторијска испитивања и стручно описује резултате истраживања. Истраживачки ниво и зрелост кандидата су видљиви кроз научне доприносе публиковане у два научна часописа међународног значаја и представљене на неколико конференција. Начин на који је ова дисертација написана додатно указује на истраживачку зрелост кандидата.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси предложене дисертације представљају помак у области попречне диференцијалне заштите двоструког надземног вода. Могуће је издвојити неколико најважнијих:

- Предложеним алгоритмом унапређена је осетљивост усмерене попречне диференцијалне заштите, засноване на сигналимa струја, у случају радијалног двоструког надземног вода и дато је решење за проблем неосетљивости заштите при кваровима из режима празног хода.
- Развијен је посебан алгоритам који омогућава селективан рад усмерене попречне диференцијалне заштите, засноване на сигналимa струја, у случајевима примене једнофазног аутоматског поновног укључења. Предложено решење је примењиво у случајевима двострано напајаног и радијалног двоструког вода.
- Понуђено је и решење за селективан рад усмерене попречне диференцијалне заштите, засноване на сигналимa струја, када је само један од два паралелна вода у погону. Као посебан допринос може се издвојити предлог методологије за одређивање прагова реаговања попречне диференцијалне заштите.
- Дат је користан преглед алгоритама релејне заштите двоструког надземног вода и јасно су представљена њихова ограничења у раду, чиме је отворена могућност за развој нових, бољих решења.
- Реализовани су интерактивни симулатор рада релејне заштите и прилагодљива експериментална шема за лабораторијска испитивања, чиме су створени услови

за напредна испитивања постојећих и нових алгоритама релејне заштите надземних водова.

- На иновативан начин је представљен поступак моделовања двоструког надземног вода, почевши од електричног прорачуна, па до електричне шеме примењиве у симетричним и асиметричним режимима рада. Дата је и корисна анализа утицаја различитих транспозиција двоструког вода на симулиране електричне сигнале у асиметричним режимима рада.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Дисертација даје јединствен преглед релевантних алгоритама релејне заштите двоструког надземног вода са јасно истакнутим ограничењима у њиховом раду. У широј научној литератури не постоји сличан преглед у коме је рад различитих алгоритама упоредно испитиван применом рачунарских симулација.

Развијени алгоритми унапређују рад концепта усмерене попречне диференцијалне заштите двоструког вода конкретним решавањем постојећих ограничења у раду. Дато је оригинално решење за повећање осетљивости усмерене попречне диференцијалне заштите, засноване на сигнаlima струја, у случајевима слабо оптерећеног и неоптерећеног радијалног двоструког вода. Поменута заштита је унапређена додатним оригиналним решењем које омогућава селективност приликом примене једнофазног аутоматског поновног укључења у случајевима двострано напајаног и радијалног двоструког вода. Посебно решење дато је за проблем неселективног рада заштите у случају када је само један од два паралелна вода у погону. Сва претходно наведена решења су проверена и потврђена јасно дефинисаним и добро осмишљеним рачунарским симулацијама. Селективност рада најважнијег предложеног алгоритма је додатно експериментално проверена и потврђена на основу резултата лабораторијских испитивања. Предложена методологија одређивања прагова реаговања попречне диференцијалне заштите може бити од велике користи приликом испитивања постојећих и нових алгоритама.

Развој и софтверска имплементација интерактивног симулатора рада релејне заштите и реализација експерименталне шеме за лабораторијска испитивања представљају посебан научно-истраживачки допринос у оквиру ове дисертације. На овај начин створени су услови за напредна испитивања будућих алгоритамаких решења за релејну заштиту надземних водова, који су веома ретки у региону.

Комисија са задовољством констатује да су научни доприноси остварени у дисертацији објављени у два научна часописа међународног значаја, од којих је један категорије M21, и зборницима националних конференција.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је аутор 4 научне публикације у међународним часописима са SCI листе, од којих је по један научни чланак у часописима категорије M21 и M22 из области дисертације, 1 чланак у зборницима међународних конференција, 1 чланак у часопису међународног значаја и 9 чланака у зборницима конференција од националног значаја. Све публикације које су у вези са темом дисертације су обележене подебљаним фонтом.



**Чланци објављени у научним часописима међународног значаја M20**

1. **Forcan M., Stojanović Z.** : “Transverse differential protection scheme for double-circuit lines with single-pole tripping and reclosing,” **International Transactions on Electrical Energy Systems**, July 2019, e12152, DOI: 10.1002/2050-7038.12152, Online ISSN: 2050-7038, IF 1,31, (M22).
2. **Forcan M., Banjanin M., Vuković G.** : “Advanced teaching method for balanced operations of overhead transmission lines based on simulations and experiment,” **International Journal of Electrical Engineering & Education**, vol. 55, no. 1, p. 14–30, January 2018, DOI: 10.1177/0020720917750955, ISSN: 0020-7209, IF 0,94, (M23).
3. **Forcan M., Stojanović Z.** : “An algorithm for sensitive directional transverse differential protection with no voltage inputs,” **Electric Power Systems Research**, vol. 137, p. 86–95, August 2016, DOI: 10.1016/j.epsr.2016.03.052, ISSN: 0378-7796, IF 3,02, (M21).
4. **Forcan M., Đurišić Ž., Mikulović J.** : “An algorithm for elimination of partial shading effect based on a Theory of Reference PV String,” **Solar Energy**, vol. 132, p. 51-63, July 2016, DOI: 10.1016/j.solener.2016.03.003, ISSN: 0038-092X, IF 4,67, (M21).
5. **Forcan M.**, “Prediction of annual energy production from pv string under mismatch condition due to long-term degradation,” **Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics**, vol. 31, no. 1, p. 63-74, 2018, DOI: 10.2298/FUEE1801063F, ISSN: 0353-3670, (M24).

**Зборници међународних научних скупова M30**

1. **Forcan M., Đurišić Ž.**, “The analysis of PV string efficiency under mismatch conditions,” 4th International Symposium on Environment Friendly Energies and Applications (EFEA), 2016, IEEE, Belgrade, Serbia, September 2016, p. 1-6, DOI: 10.1109/EFEA.2016.7748817 (M33).

**Зборници скупова националног значаја M60**

1. **Forcan M., Stojanović Z.** : „Mrtva zona poprečne diferencijalne zaštite dvostrukih nadzemnih vodova,” XVII međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2018, Ref. ENS-1-6, mart 2018, p. 66-71. ISBN: 978-99976-710-1-1, (M63).
2. **Forcan M., Stojanović Z.** : „Distantna zaštita dvostrukih nadzemnih vodova,” XVI međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2017, Ref. ENS-1-6, mart 2017, p. 67-72. ISBN: 978-99976-710-0-4, (M63).
3. **Forcan M.** : “Prediction of Energy Production from String PV System under Mismatch Condition,” 2nd Virtual International Conference on Science, Technology and Management in Energy (eNergetics), September 2016, Niš, Serbia, p. 3-8, ISBN: 978-86-80616-01-8, (M63).
4. **Forcan M., Banjanin M.** : „Primjena fizičkog modela nadzemnog voda u edukaciji studenata elektroenergetike,” 60. konferencija za elektroniku, telekomunikacije, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN, jun 2016, Zlatibor, Srbija, p. EE1.7.1-6, ISBN: 978-86-7466-618-0 (M63).
5. **Forcan M., Banjanin M., Vuković G.** : „Analiza simetričnih procesa na nadzemnim vodovima u praznom hodu”, XV međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2016, Ref. ENS-1-5, mart 2016, p. 73-77, ISBN: 978-99955-763-9-4, (M63).

6. **Forcan M., Đurišić Ž.** : „Analiza efikasnosti sistema apu-a u distributivnim mrežama sa distribuiranim izvorima energije”, III Međunarodna konferencija o obnovljivim izvorima električne energije MKOIEE, oktobar 2015, Beograd, Srbija, p. 193-200, ISBN: 978-86-81505-78-6, (M63).
7. **Forcan M., Đurišić Ž., Mikulović J.** : „Eliminacija efekta djelimičnog osunčanja u string-invertor fotonaponskim sistemima“, III Međunarodna konferencija o obnovljivim izvorima električne energije MKOIEE, oktobar 2015, Beograd, Srbija, p. 111-118, ISBN: 978-86-81505-78-6, (M63).
8. **Forcan M., Z. Stojanović,** „Osjetljiva usmjerena poprečna diferencijalna zaštita vodova bez naponskih ulaza“, 32. Savetovanje CIGRE Srbija, Ref. B5-03, Zlatibor, 17-21. Maj 2015. ISBN 978-86-82317-77-7, (M63).
9. **Forcan M., Stojanović Z.,** „Testiranje algoritama poprečne diferencijalne zaštite bez naponskih ulaza na trofaznom modelu EES-a”, XIV međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2015, Ref. ENS-2-9, mart 2015, p. 192-197, ISBN: 978-99955-763-6-3, (M63).

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

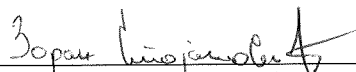
Комисија са задовољством констатује да на основу претходног школовања и публикованих резултата кандидат **Миодраг Форцан** испуњава све суштинске и формалне услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У дисертацији су развијена оригинална алгоритамска решења за побољшавање рада усмерене попречне диференцијалне заштите двоструког надземног вода. Сви представљени резултати истраживања су адекватно проверени и потврђени применом рачунарских симулација и лабораторијских испитивања. Дисертација јасно осликава способност кандидата у погледу коришћења савремених истраживачких метода уз поштовање свих захтеваних етичких норми. Кандидат је адекватно пратио светске стандарде у области која је анализирана у дисертацији. Комисија посебно истиче да развијени алгоритми у дисертацији, поред научних доприноса, имају и практичну примену у области релејне заштите надземних водова.

У складу са претходно изнетим, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом „**Попречна диференцијална заштита двоструких надземних водова**” кандидата **Миодрага Форцана** прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да се после њеног усвајања одобри јавна усмена одбрана дисертације.

Београд, 21.11.2019. године

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Зоран Стојановић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



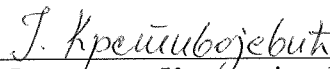
др Томислав Шекара, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жарко Јанда, виши научни сарадник  
Универзитет у Београду – Електротехнички институт „Никола Тесла”



др Жељко Ђурић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јелисавета Крстивојевић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет