

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Ђорђа Дуканца

Одлуком Наставно-научног већа на 880. седници одржаној дана 06.12.2022. (одлука број бр. 1822 од 16.12.2022. године), именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Ђорђа Дуканца под насловом

Примена *UHF* давача за надзирање и одређивање места парцијалних пражњења у енергетским трансформаторима

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

Кандидат Ђорђе Дуканац је 30.10.2016. године уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Кандидат је 31.01.2019. године пријавио тему за израду докторске дисертације под насловом „Примена *UHF* давача за надзирање и одређивање места парцијалних пражњења у енергетским трансформаторима“.

Комисија за студије трећег степена разматрала је 05.02.2019. године предлог теме за израду докторске дисертације и упутила предлог Комисије за оцену подобности теме и кандидата на усвајање Наставно-научном већу Електротехничког факултета.

Наставно-научно веће је именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5047/16-1 од 25.02.2019. године) у саставу:

1. др Зоран Радаковић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),
2. др Златан Стојковић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и
3. др Ненад Карталовић, научни сарадник (Универзитет у Београду – Електротехнички институт „Никола Тесла“).

Кандидат је 07.03.2019. године обавио јавну усмену одбрану теме докторске дисертације.

Наставно-научно веће је усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5047/16-2 од 14.05.2019. године). За ментора дисертације именован је др Зоран Лазаревић, редовни професор у пензији (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет). Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (број 61206-2270/2-19 од 03.06.2019. године).

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду – Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

Кандидат је 27.08.2020. предао докторску дисертацију на оцену.

Комисија за студије трећег степена је 01.09.2020. године потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за оцену докторске дисертације (број одлуке 5047/16-3 од 18.09.2020. године).

Комисија није поднела реферат о урађеној докторској дисертацији, већ је кандидату и ментору сугерисала допуне, са којима су се кандидат и ментор сагласили.

Студент је био у статусу мировања у школској 2021/2022. години.

Кандидат је 22.11.2022. године предао докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена потврдила је 29.11.2022. године испуњеност потребних услова за подношење предлога за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Наставно-научном већу Електротехничког факултета. Наставно-научно веће именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације под насловом „Примена *UHF* давача за надзирање и одређивање места парцијалних пражњења у енергетским трансформаторима“ (одлука бр. 1822 од 16.12.2022. године) у саставу:

1. др Зоран Радаковић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),
2. др Златан Стојковић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),
3. др Ненад Карталовић, научни сарадник (Универзитет у Београду – Електротехнички институт „Никола Тесла“),
4. др Милан Илић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и
5. др Миљко Ерић, ванредни професор у пензији (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Ђорђа Дуканца под насловом „Примена *UHF* давача за надзирање и одређивање места парцијалних пражњења у енергетским трансформаторима“ припада научној области електротехника и рачунарство, ужој научној области Енергетски претварачи и погони, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је др Зоран Лазаревић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Професор др Зоран Лазаревић се дуги низ година бави научноистраживачким радом у области енергетских претварача и погона (електричних машина), што је потврђено релевантним радовима који су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ђорђе Дуканац је рођен 31. маја 1974. године у Београду, после завршене природно-математичке гимназије и две године студија на Физичком факултету на одсеку примењене физике уписује Електротехнички факултет у Београду (одсек енергетика), 1995. године.

Електротехнички факултет завршава 12.10.2005. са просечном оценом 8,37, а дипломски рад са оценом 10, на тему „Уређај за мерење малих отпора“, у оквиру кога је израђен уређај за мерење малих отпорности за Електротехнички институт „Никола Тесла“.

После завршених дипломских студија на Електротехничком факултету, школске 2005/2006. године уписује магистарске студије на истом факултету, на смеру енергетски претварачи и погони, и 13.3.2006. се запошљава у Јавном предузећу „Електромрежа Србије“, у Погону подручја преносног система „Београд“, где се бавио одржавањем постојеће и уградњом нове електричне опреме и инсталација.

Положио је све испите предвиђене планом и програмом магистарских студија са највишом оценом (10): 1) Прорачун и испитивање електричних машина, 2) Загревање и заштита електричних машина, 3) Висконапонска опрема, 4) Надгледање стања електричних машина у погону, 5) Микропроцесорско управљање електромоторним погонима, 6) Микропроцесорско управљање енергетским претварачима, 7) Немачки језик (положио, за овај предмет се не даје квантитативна оцена). Магистарску тезу под називом: „Одржавање и процена стања изолационог система намотаја статора код великих синхроних турбогенератора“ одбранио је 14.4.2016.

Докторске студије је уписао у новембру 2016. године, директно на трећу годину студија, по правилима који су важили за студенте са дипломом магистра наука.

Тренутно је запослен као водећи инжењер Контролног тела у Акционарском друштву „Електромрежа Србије“ у организационој јединици Управљање и тржиште.

Има положен стручни испит за одговорног извођача радова електроенергетских инсталација високог и средњег напона – разводна постројења и пренос електричне енергије.

Говори енглески и служи се немачким језиком.

Аутор је 23 рада објављена у међународним и домаћим часописима, као и зборницима међународних и домаћих конференција у којима је једини аутор. Од тога 15 радова је непосредно из области докторске дисертације. Према подацима електронске базе података „Scopus“, издавача „Elsevier“ његов научни рад „Application of *UHF* Method for Partial Discharge Source Location in Power Transformers“ има 42 хетероцитата. Поред тога цитиран је у патенту *EP-3921659-A4* „A Sensor for Transformer Condition Assessment“.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом „Примена *UHF* давача за надзирање и одређивање места парцијалних пражњења у енергетским трансформаторима“ написана је на 433 стране (506 страна са прилозима), организована је у 9 поглавља, има 390 слика у основном тексту дисертације, 38 слика и 6 дијаграма токова у прилозима, 179 табела и листу од 213 референци на крају основног текста дисертације и укупно 91 референцу у прилозима. Наслови поглавља су:

1. Увод,
2. Оглед надзирања парцијалних пражњења *UHF* методом,
3. Одређивање места извора парцијалних пражњења помоћу два и три *UHF* давача,
4. Одређивање места извора парцијалних пражњења помоћу четири *UHF* давача применом граничних облика сигнала,
5. Одређивање места извора парцијалних пражњења помоћу четири *UHF* давача применом облика сигнала добијених из огледа у одељку 2.3.3,
6. Анализа утицаја стварне конструкције енергетског трансформатора на простирање *UHF* таласа парцијалних пражњења,
7. Поређење грешака локализације извора парцијалног пражњења у енергетском трансформатору за три модела у *Ansys HFSS*-у и упрошћени модел истих димензија суда у *MATLAB*-у,
8. Опис коначног модела уважавајући резултате анализа од 4. до 7. поглавља и
9. Закључак.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом (уводном) поглављу су дефинисани предмет и циљ истраживања, као и практични значај тематике која је обрађена у дисертацији. Трансформатори великих снага представљају скупе кључне елементе електроенергетског система, које карактеришу и дуги периоди производње и дуга времена од почетка уговарања до испоруке. У вези са тим, веома је значајно праћење стања трансформатора у погону и детекција погоршања његових карактеристика како би се правовремено предузеле мере за отклањање проблема или ремонт, на терену или у фабрици, или чак набавка новог трансформатора. У пракси енергетских трансформатора се све више користе системи за аутоматско праћење стања трансформатора, без потребе за његовим искључењем. Један од кључних параметара код високонапонских трансформатора је стање изолационог система (највиши напонски ниво код нас је 400 kV, а у мрежама у свету се користе и трансформатори за ултра високи напон од 1000 kV). Тема дисертације је праћење стања изолационог система енергетских ултних трансформатора базирано на праћењу парцијалних пражњења.

У другом поглављу су дате основе *UHF* методе и основне техничке карактеристике елемената у системима за њену реализацију. У овом поглављу су упоређене основне карактеристике *UHF* и других метода које се примењују за дијагностику парцијалних пражњења. Следи опис система који је коришћен за добијање експерименталних резултата током погона блок трансформатора у ТЕ „Никола Тесла“ Б у Обреновцу, назначене снаге 725 MVA, преносног односа 21/410 kV, спреге YNd5, типа хлађења ODAF, тежине око 450 t. На крају је приказан поступак мерења и резултати мерења и њихове обраде. Примењена обрада података представља оригиналан начин раздвајања корисног сигнала парцијалних пражњења од околног шума, при чему се задржавају најважније компоненте корисног сигнала најјачег парцијалног пражњења (преовладавају компоненте на веома високим учестаностима [129,7 – 134,1] MHz), при чему се тај сигнал не помера у времену.

У поглављима 3., 4. и 5. објашњена је метода и приказана њена програмска реализација, за утврђивање места извора парцијалних пражњења помоћу два, три и четири *UHF* давача.

У поглављу 3. се приказују геометријска места тачака (ГМТ) могућих положаја извора парцијалних пражњења. У случају примене два *UHF* давача, ГМТ представља једну површ тј. једно крило двокрилног хиперболоида у суду трансформатора. У случају примене три *UHF* давача, ГМТ представља лук кружнице у суду трансформатора.

У поглављу 4. се приказује начин лоцирања тачке унутар суда трансформатора у којој се јављају парцијална пражњења, полазећи од претпоставке да су у трансформатор постављена четири *UHF* давача. При томе су коришћени синтетички гранични облици сигнала (једноструко и двоструко експоненцијално опадајући осцилаторни *UHF* сигнали). У овом делу дисертације је развијен и примењен нови поступак за уклањање грешке откривања првог врха сигнала и сузбијање шума помоћу мултиваријантног сузбијања шума таласићима.

У поглављу 5. се понавља анализа из поглавља 4., при чему се користе стварни облици сигнала парцијалних пражњења, добијени из експеримента са једним *UHF* давачем, који су приказани у поглављу 2. Из резултата приказаних у поглављима 4. и 5. се види да су критичне тачке у којима се добијају највеће апсолутне грешке положаја извора парцијалних пражњења, за облике сигнала коришћене у одељку 4. и у одељку 5., сличне.

У поглављу 6. је анализиран утицај стварне конструкције енергетског трансформатора на простирање електромагнетских *UHF* таласа из извора парцијалних пражњења у електричној изолацији у суду енергетског трансформатора од места њиховог настајања до пријемних *UHF* антена. Анализа је вршена применом апликативног софтвера *Ansys HFSS* за пуноталасну електромагнетску анализу. Анализе спроведене у поглављима 3., 4. и 5. нису узимале у обзир присуство металних делова (суда, језгра и намотаја), односно њихов утицај на облик сигнала који стиже до *UHF* давача. У поглављу 6. су анализирани конструкције три различита нивоа комплексности: само метални трансформаторски суд, суд и тростубно језгро, суд, магнетно језгро и бакарни намотаји.

У поглављу 7. се пореде резултати локализације извора парцијалног пражњења засноване на упрошћеном моделу, који не узима у обзир реалну конструкцију (присуство металног суда, језгра и намотаја), као и коришћењем три различита модела у *Ansys HFSS*-у, објашњена у поглављу 6.

У поглављу 8. су дискутована ограничења доступних софтвера за симулацију простирања електромагнетских таласа парцијалних пражњења кроз стварну комплексну геометрију трансформатора и утицај појединих параметара модела.

Кроз поглавља 7. и 8., као и кроз поглавље 9. са закључцима дисертације дискутује се о могућностима унапређења поступка лоцирања места парцијалног пражњења у случају да се користе четири *UHF* давача, при чему се, помоћу *Ansys HFSS* софтвера, уважава утицај реалне конструкције. Потенцијал за унапређења се може сагледати на основу одступања локације парцијалних пражњења приказаних у поглављу 7.

Коначно, кандидат у поглављу 9. наводи правце даљих истраживања. Поред горе наведеног унапређења које би било базирано на примени симулационог *Ansys HFSS* или сличног софтвера за пуноталасну електромагнетску анализу, квалитет и примењивост истраживања би се подигла на виши ниво уколико би се остварила могућност експерименталних истраживања на стварном трансформатору или лабораторијској експерименталној поставци, при чему би у суд свакако требало поставити четири *UHF* давача.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Велики енергетски трансформатори у електранама и у преносној електроенергетској мрежи имају огромну важност за остварење основних функција електроенергетских система. Њихова цена је веома висока, што јесте веома важно, али је још важније да они буду расположиви и да се, у случају уочавања појава које могу да доведу до испада трансформатора, предузму адекватне и правовремене мере да се то спречи. Спречавање испада великих трансформатора добија на додатном значају у смислу актуелне светске енергетске кризе.

Са друге стране, општа експанзија *smart* технологија омогућава прикупљање и пренос огромне количине података, чија је потреба и смисао понекад упитна. Увођењем овог концепта у електроенергетици може се остварити више унапређења, попут енергетске ефикасности, повећања поузданости опреме, бољег планирања и одржавања итд. Област интензивног истраживања и развоја је позната као *smart grid* и представља широк спектар могућих дејстава која се заснивају на обради података из мреже и са уређаја у њој, и доношења одлука на основу њих. Генерално, овакав принцип се одувек примењивао у електро-енергетици, али је развој рачунарских и комуникационих технологија то олакшао.

Оно што је посао стручњака у области електро-енергетике је да искористе ове могућности тако што ће да развију добре дијагностичке методе и поставе граничне вредности чије прекорачивање иницира одређене акције.

Конкретан проблем којим се бави дисертација је дијагностика стања електричне изолације, која се код трансформатора великих снага по правилу остварује помоћу чврсте изолације (најчешће целулозни материјали) и расхладног флуида (најчешће минерално уље). Имајући у виду огромне напоне унутар трансформатора (код нас 400 kV, док се у свету користи и ултра високи напон од 1000 kV), јасан је ниво опасности од електричног пробоја, који може настати услед различитих неповољних догађаја током погона трансформатора. У пракси се користи низ појава које се прате како би се уочила погоршања стања изолационог система. Тема дисертације је праћење парцијалних пражњења, при чему је од значаја детекција сигнала оријентационе учестаности 130 MHz који стиже до *UHF* давача, а који индицира да постоје значајна парцијална пражњења у трансформатору. Додатно, од интереса је поступак за лоцирање места појаве парцијалних пражњења унутар трансформаторског суда значајне запремине. Тиме се олакшава посао дефектаже, односно лоцирање места квара, што је битно за оптимално планирање и реализацију интервенције (поправке) трансформатора.

Доприноси које је кандидат остварио у дисертацији су усмерени ка постизању наведених циљева – детекцији парцијалних пражњења, процени угрожености трансформатора на бази њиховог интензитета и лоцирању места на коме се парцијална пражњења јављају. Главни научни доприноси су верификовани и кроз публикавање рада у врхунском међународном научном часопису *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, из области на коју се односи дисертација, на коме је кандидат једини аутор и који је до сада цитиран више од 40 пута. Сматрамо да део дисертације који је израђен у финалној фази, а у коме је анализиран утицај детаља конструкције на лоцирање места парцијалних пражњења (применом симулација у *Ansys HFSS* софтверу), а који до сада нису објављени, садржи доприносе који по квалитету одговарају нивоу очекиваном у међународним часописима са импакт фактором.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у дисертацији садржи савремене научне радове релевантне за анализирану проблематику, али исто тако и референце старијег датума које су значајне за предметна истраживања. Велики број референци указује на студиозан приступ кандидата. Имајући у виду да се истраживања и доприноси кандидата базирају на системима за мерења и прикупљање података, сматрамо да је значајно и корисно што је кандидат референцирао и комерцијалну опрему предвиђену за монтажу на велике трансформаторе. Велики број радова новијег датума указује на актуелност обрађене тематике, као и то да је рад који је објавио кандидат пре око 4 године цитиран више од 40 пута.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру предложене докторске дисертације се може систематизовати на следећи начин:

- Преглед и анализа најновијих истраживања везаних за надзор и дијагностику изолационих система енергетских уљних трансформатора великих снага.
- Упознавање са карактеристикама сигнала који настају током парцијалних пражњења и дефинисање погодних синтетичких граничних облика сигнала.
- Упознавање са савременим технологијама и на тржишту присутним системима за *on-line* мониторинг парцијалних пражњења у енергетским трансформаторима.
- Развој модела за лоцирање потенцијалних места парцијалних пражњења (када се користе два *UHF* давача могуће је дефинисати површ, када се користе три *UHF* давача могуће је дефинисати криву, а када се користе четири *UHF* давача могуће је дефинисати тачку у којој се појављује парцијално пражњење). Ови модели су настали на основу дужине путање између места пражњења и *UHF* давача, без уважавања реално присутних металних материјала од којих се израђују суд, језгро и намотаји).
- Тестирање комплетног поступка на низу примера, са варирањем параметара свих поменутих релевантних елемената, као и варирањем изворишног места парцијалних пражњења.
- Реализација модела конструкције трансформатора различите комплексности у *Ansys HFSS* софтверу за пуноталасну електромагнетску анализу и сагледавање утицаја на промену сигнала који долазе до *UHF* давача.
- Сагледавање одступања примене предложене упрошћене методологије, уколико се узме у обзир ефекат утицаја металних делова стварне конструкције (симулацијом у *Ansys HFSS* софтверу).

3.4. Применљивост остварених резултата

Истраживања и развој које је остварио кандидат имају практичну примену. Алгоритми које је кандидат развио и у *MATLAB*-у софтверски реализовао се могу имплементирати као део система за мониторинг парцијалних пражњења, било да се он реализује као независан систем или као део система за комплетан мониторинг трансформатора. Ово је од интереса произвођачима такве опреме, а индиректно, можда чак и директно, кроз развој сопствене апликације на бази мерења која се могу експортирати из система за надзор, за кориснике трансформатора (електране или компаније за пренос енергије). Информација о локацији места парцијалног пражњења, која може да се добије коришћењем методе и реализоване програмске подршке, је од користи за компанију која треба да ремонтује трансформатор, као и за власника трансформатора, јер ће засигурно да смањи трошкове дефектаже, а тиме и целокупне интервенције на трансформатору како би се решио проблем због кога настају парцијална пражњења.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу прегледане дисертације Комисија процењује да је кандидат Ђорђе Дуканац показао способност за самостални научно-истраживачки рад почевши од систематичног прегледа референтне литературе, дефинисања проблема, развоја нових модела за решавање актуелних проблема, као и анализу резултата и верификацију развијених модела. Дисертација је конципирана и написана на начин који указује на зрелост кандидата за самостални научно-истраживачки рад. О научној зрелости кандидата и научној вредности резултата, које је постигао у својој дисертацији, говори и релативно велики број публикованих радова, где је на домаћим и међународним скуповима презентовао део својих резултата пред стручном јавношћу. Посебно треба истаћи да је кандидат Ђорђе Дуканац написао и публиковао рад у врхунском научном часопису са *SCI* листе.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Главни научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације су следећи:

- Развијени је и софтверски реализован оригинални алгоритам обраде сигнала са *UHF* давача у циљу детекције појаве парцијалних пражњења.
- Развијени су и софтверски реализовани математички модели за лоцирање места парцијалних пражњења, за случајеве да се користе два, три и четири *UHF* давача.
- Приказан је низ прорачуна из којих се може видети осетљивост процењене локације парцијалних пражњења на промену релевантних параметара.
- Верификована је могућност примене предложених алгоритама код којих су извршена занемаривања реално присутних металних делова трансформатора: суда, језгра и намотаја. За анализе су коришћени резултати симулација извршених применом *Ansys HFSS* софтвера за пуноталасну електромагнетску анализу.
- Квантификација грешке лоцирања места парцијалног пражњења до којих доводи примена упрошћене методе коју је развио кандидат. Ова квантификација указује на потенцијал побољшања лоцирања места парцијалних пражњења уколико би се у поступак укључиле и сложене симулације помоћу *Ansys HFSS* или сличног софтвера за пуноталасну електромагнетску анализу.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених циљева истраживања, полазних претпоставки и остварених резултата Комисија констатује да је кандидат Ђорђе Дуканац одговорио на низ битних питања из проблематике којом се бави дисертација.

Развијени су и софтверски реализовани оригинални алгоритми обраде сигнала са *UHF* давача у циљу детекције појаве парцијалних пражњења. Исто важи и за математичке моделе за лоцирање места парцијалних пражњења, за случајеве да се користе два, три и четири *UHF* давача. У делу дисертације у коме је анализиран ефекат примењених упрошћења, базиран на резултатима симулација у *Ansys HFSS* софтверу, извршена је доста добра верификација примењене поједностављене методе која не узима у обзир присуство металних елемената унутар металног суда трансформатора, као ни сам суд. Ово је веома важан део дисертације, имајући у виду да кандидат није имао на располагању експерименталне резултате у којима би се остварила парцијална пражњења у стварном трансформатору или на лабораторијском моделу, уз примену четири *UHF* давача. Намера да се спроведе експеримент је постојала још од пријаве теме, али Комисија разуме сложеност и трошкове коју би такво истраживање подразумевало. Због претходно наведеног, примена савремених *FEM* прорачуна је била опција коју је било неопходно применити.

Кандидат је јасно и транспарентно приказао развијене методе и реализовану програмску подршку.

Комисија констатује да су главни научни доприноси остварени у дисертацији објављени у научном часопису међународног значаја категорије M21, у раду на коме је кандидат једини потписани аутор.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Ђорђе Дуканац је публикувао следеће научне радове који су у вези са његовом дисертацијом:

Врхунски међународни часопис:

1. D. Dukanac, "Application of *UHF* Method for Partial Discharge Source Location in Power Transformers," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Volume: 25, Issue: 6, Pages: 2266–2278, December 2018, DOI: 10.1109/TDEI.2018.006996, (2018 *IF* = 2.135). (M21)

Домаћи часописи:

1. Ђ. Дуканац, „Анализа утицаја активних делова енергетског трансформатора на простирање сигнала од извора парцијалних пражњења ка *UHF* давачима“, Енергија, економија, екологија, Лист савеза енергетичара, број 1, година XXIV, стране 74–80, март 2022., ISSN 0354-8651, DOI: 10.46793/EEE22-1.74D. (M52)
2. Ђ. Дуканац, „Лоцирање парцијалних пражњења у енергетском трансформатору применом *UHF* технике“, Енергија, економија, екологија, Лист савеза енергетичара, број 2, година XXIII, стране 73–78, јун 2021., ISSN 0354-8651, DOI: 10.46793/EEE21-2.73D. (M52)
3. Ђ. Дуканац, „Откривање и анализа сигнала парцијалних пражњења у енергетском трансформатору *UHF* методом“, Енергија, економија, екологија, Лист савеза енергетичара, број 1–2, година XXII, стране 96–101, децембар 2020., ISSN 0354-8651, DOI: 10.46793/EEE20-1-2.096D. (M52)

Зборници међународних научних скупова:

1. Ђ. Дуканац, „Анализа утицаја активних делова енергетског трансформатора на простирање сигнала од извора парцијалних пражњења ка *UHF* давачима“, XXXVII међународно саветовање „ЕНЕРГЕТИКА 2022“, Златибор, 21–24. јун 2022., рад 10.1, стране 1–7, ISBN 978-86-86199-04-1. (M33)
2. D. Dukanac, "Analysis of partial discharge signal detected by a *UHF* sensor in the power transformer," *CIGRE SEERC Colloquium Vienna 2022: Green deal for the SEERC region*, Poster session, Vienna, Austria, 30 May – 2 June 2022. (M34)
3. D. Dukanac, "Analysis of partial discharge signal detected by a *UHF* sensor in the power transformer," 3rd *CIGRE SEERC Online-Conference Vienna 2021: Cooperation - Sustainability - Future*, paper no. 1189, pp. 1–9, Vienna, Austria, November 30, 2021, <https://e-cigre.org/publication/collaut2021-seerc-colloquium-2021> (M33)
4. Ђ. Дуканац, „Лоцирање парцијалних пражњења у енергетском трансформатору применом *UHF* технике“, XXXVI међународно саветовање „ЕНЕРГЕТИКА 2021“, Златибор, Србија, 22–25. јун 2021., стране 374–379, ISBN 978-86-86199-03-4. (M33)
5. Ђ. Дуканац, „Откривање и анализа сигнала парцијалних пражњења у енергетском трансформатору *UHF* методом“, XXXV међународно саветовање „ЕНЕРГЕТИКА 2020“, Златибор, Србија, 21–24. јун 2020., стране 256–261, ISBN 978-86-86199-02-7. (M33)
6. Ђ. Дуканац, „Ефекти побољшане *UHF* методе проналажења места парцијалних пражњења енергетског трансформатора“, VII регионална конференција „Industrial Energy and Environmental Protection in South Eastern European Countries“, Златибор, Србија, 19–22. јун 2019., стране 263–270, ISBN 978-86-7877-033-3. (M33)
7. Ђ. Дуканац, „Примена *UHF* давача за одређивање места парцијалних пражњења у енергетском трансформатору“, међународна конференција „Energy and Ecology Industry“, Београд, Србија, 10–13. октобар 2018., стране 214–221, ISBN 978-86-7466-751-4 (AM). (M33)

Зборници домаћих/регионалних научних скупова:

1. Ђ. Дуканац, „Дејства трофазног магнетног језгра и намотаја на време пристизања сигнала од извора парцијалног пражњења до *UHF* давача у енергетском трансформатору“, 13. саветовање о електродистрибутивним мрежама са регионалним учешћем (*CIREД* Србија 2022), Копаоник, Србија, 12–16.9.2022., *R-1.18*, *ISBN 978-86-83171-26-2 (M63)*
2. Ђ. Дуканац, „Одређивање разлика у временима пристизања сигнала до 4 *UHF* давача и места парцијалних пражњења у енергетском трансформатору“, 3. међународни симпозијум „Инвестиције и нове технологије у енергетици и рударству“, Врњачка Бања, Србија, 17–19. септембар 2018., стране 72–79, *ISBN 978-86-80464-13-8. (M63)*
3. Ђ. Дуканац, „Примена давача сигнала ултра високе учестаности за надзирање парцијалних пражњења и проналажење неисправног места у изолацији енергетског трансформатора“, 2. међународни симпозијум „Инвестиције и нове технологије у енергетици и рударству“, Борско језеро, Србија, 18–19. септембар 2017., стране 145–153, *ISBN 978-86-80464-07-7. (M63)*
4. Ђ. Дуканац, „Надгледање и одређивање места парцијалних пражњења у трансформаторима методом испитивања помоћу давача сигнала ултра високих учестаности“, 33. саветовање *CIGRE* Србија, Златибор, Србија, 5–8. јун 2017., *R A2-02*, стране 169–179, *ISBN 978-86-82317-81-4. (M63)*

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом „Примена *UHF* давача за надзирање и одређивање места парцијалних пражњења у енергетским трансформаторима“ коју је Комисија прегледала показује научну зрелост кандидата Ђорђа Дуканца. Дисертација је урађена у великој мери у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Од планираних циљева и доприноса докторске дисертације није остварена верификација резултата нових алгоритама и метода поређењем са резултатима експеримената на трансформатору у погону. Комисија разуме практичне тешкоће да се овакви експерименти остваре и уважава напор кандидата да поступак верификације преусмери на примену *Ansys HFSS* софтвера за пуноталасну електромагнетску анализу, за који се може сматрати да даје резултате чија је поузданост прихватљиво блиска експериментима на стварном трансформатору.

У дисертацији је решаван проблем детекције и локализације парцијалних пражњења у енергетским трансформаторима потопљеним у течност (уље). Критички су анализирани приступи и методе за детекцију парцијалних пражњења, а затим фокус стављен на примену *UHF* давача, као сензора детекције сигнала учестаности око 130 MHz који се генеришу на месту парцијалних пражњења које се налази у делу трансформатора који заузимају намотаји. У дисертацији је софтверски реализован оригинални алгоритам обраде сигнала са *UHF* давача у циљу детекције појаве парцијалних пражњења, као и за лоцирање места парцијалних пражњења, за случајеве да се користе два, три и четири *UHF* давача. У дисертацији је илустрована примена поступка на низу примера, са варирањем параметара од практичног значаја. Примена анализа заснованих на уважавању реалне конструкције трансформатора, коришћењем *Ansys HFSS* софтвера, омогућила је квантификацију грешке лоцирања места парцијалног пражњења до којих доводи примена упрошћене методе коју је развио кандидат. Ове анализе дају индикацију могућег степена побољшања лоцирања места парцијалних пражњења уколико би се у поступак укључили и сложени прорачуни коришћењем алата према методи коначних елемената. Са друге стране, резултати ових анализа представљају једини и прихватљив доказ да појаве до којих долази у стварном трансформатору, а које нису узете у упрошћеном моделу, неће довести до превеликих (практично неприхватљивих) грешака у предвиђању места парцијалних пражњења. У раду је детаљно изложена развијена методологија и дати су резултати њене примене. Предложени поступак је практично применљив у системима за мониторинг великих трансформатора током њиховог погона, и за доношење одлуке да ли и када треба вршити интервенције у теренским или фабричким условима. Што тачније лоцирање места парцијалних пражњења поједностављује и смањује трошкове дефектаже, а тиме и целокупног трошка отклањања парцијалних пражњења.

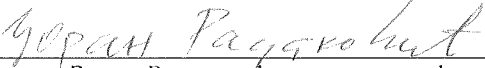
Резултате, проистекле из истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације, кандидат је објавио у врхунском међународном часопису (један рад) и домаћем часопису (три рада) и презентовао на неколико конференција. Рад који је кандидат објавио у врхунском часопису 2018.-е године је цитиран 42 пута, према подацима са *Scopus*-а, односно 43 пута према подацима са *Google Scholar*-а. Имајући у виду да се ради о уже стручној проблематици, резултат указује да је објављени допринос добро прихваћен у међународној стручној јавности. Наведени рад је цитиран и у патенту EP-3921659-A4 „A Sensor for Transformer Condition Assessment“ (од 13.4.2022.). На страници *IEEE Xplore* наведени рад је преузет 907 пута. Актуелност и значај истраживања потврђује и релативно велики број цитата публикованих радова. За похвалу су и радови које је кандидат представио на конференцијама пред стручњацима из области којом се бави дисертација. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидата, Комисија констатује да докторска дисертација садржи оригиналан и савремен научни допринос у области надзирања и одређивања места парцијалних пражњења у енергетским трансформаторима.


Кандидат Ђорђе Дуканац је показао способност за самостални научни рад, што потврђује број научних радова које је публикувао као једини аутор. Оцењујући докторску дисертацију и чињеницу да је анализирана проблематика актуелна и савремена и да садржи научне доприносе, Комисија констатује да је кандидат Ђорђе Дуканац, магистар електротехничких наука за област енергетских претварача и погона, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

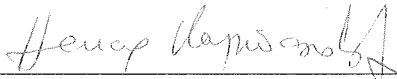
Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „**Примена UHF давача за надзирање и одређивање места парцијалних пражњења у енергетским трансформаторима**” кандидата **Ђорђа Дуканца** прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

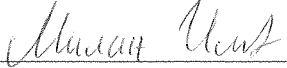
У Београду, 6.2.2023. године

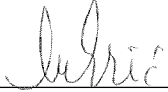
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Зоран Радаковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Златан Стојковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Ненад Карталовић, научни сарадник
Универзитет у Београду – Електротехнички институт
„Никола Тесла“


др Милан Илић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Миљко Ерић, ванредни професор у пензији
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет