

Одлуком Научно-наставног вијећа Електротехничког факултета, Универзитета у Источном Сарајеву, број 03-720/22 од 18.05.2022. године, именована је Комисија за оцјену и одбрану урађене докторске дисертације кандидата мр Наде Цинцар под називом:

„Техно-економска анализа дијагностичких метода регулационе склопке енергетског трансформатора“ (у даљем тексту: Комисија) у сљедећем саставу:

1. Редовни проф. др Јован Микуловић, (Електротехнички факултет Универзитета у Београду, ужа научна област *Електроенергетски системи*) – предсједник;
2. Редовни проф. др Златан Стојковић, (Електротехнички факултет Универзитета у Београду, ужа научна област *Електроенергетски системи*) – ментор и члан;
3. Ванредни проф. др Александар Симовић, (Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, ужа научна област *Електроенергетика*) – члан;
4. Ванредни проф. др Данијел Мијидић, (Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, ужа научна област *Рачунарске науке*) – члан;
5. Доц. др Наташа Поповић, (Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, ужа научна област *Аутоматика и роботика*) – члан.

УНИВЕРЗИТЕТ У ИСТОЧНОМ САРАЈЕВУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Протокол
Број: 03-364/22
Датум: 09.06.2022. год

ИЗВЈЕШТАЈ
о оцјени урађене докторске дисертације

1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Процјена стања регулационе склопке захтијева извођење више одговарајућих дијагностичких метода које ће омогућити правилно доношење закључка и предложити, уколико је то потребно, одговарајуће, правовремене, превентивне кораке.

Дијагностичке методе као што су Анализа гасова растворених у уљу, Виброакустична анализа, Мјерење температурне разлике, Мјерење снаге мотора, Мјерење статичког и динамичког отпора и Мјерење струје комутације најбоље дијагностикују стања одређеног дијела регулационе склопке. Ни за једну методу није могуће рећи да је свеобухватна и да може описати стање комплетне регулационе склопке. Осим тога, потребно је и велико претходно знање и искуство испитивача, како би се могла донијети одлука о врсти квара.

Дијагностичка испитивања, понекад захтијевају и прекид рада трансформатора и планске периоде испода постројења, што због прекида испоруке електричне енергије, повећава цијену одржавања трансформатора.

Тренутна цијена електричне енергије на тржишту игра веома важну улогу у доношењу одлуке везане за тренутак када одрадити ремонт регулационе склопке. Значајан фактор у анализи стања је пронаћи хитну ситуацију за интервенцију, с обзиром на цијену електричне енергије, која на индиректан начин утиче на доношење коначне одлуке о могућој интервенцији. Уколико се тренутна цијена електричне енергије доведе у везу са стањем регулационе склопке, може се процијенити значај извођења одређене сервисне акције на регулационој склопци.

Старост регулационе склопке, поред осталих дијагностичких метода, битан је фактор у формирању коначне оцјене о стању склопке. Старост на директан начин зависи од броја операција у току њеног животног вијека. У току свог рада, склопка

може бити изложена утицају различитих деградационих фактора, а и старост директно утиче на њено стање.

Формирање фази експертских система за дијагностику стања регулационе склопке енергетског трансформатора, као и примјена тих резултата код прорачуна поузданости, процјене животног вијeka и одређивања тренутка када се регулациона склопка треба сервисирати или замијенити новом представља предност и убрзава комплетан процес доношења одлуке.

Сврха примјене експертских система и метода јесте правовремено и правилно доношење одлука везаних за одржавање и сервисирање регулационе склопке енергетског трансформатора. Направљени експертски систем ће у великој мјери убрзати и олакшати доношење једне такве одлуке.

Предност формираних база фази логичких правила је и у томе што су они доступни и за све будуће анализе стања регулационе склопе и у великој мјери убрзавају процес доношења одлуке о некој интервенцији, сервисној акцији или планском ремонту регулационе склопке, с обзиром на цијену електричне енергије.

2. Оцјена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Урађена докторска дисертација представља оригинално научно дјело. Оригинални дио истраживања анализира могућности примјене вјештачке интелигенције у процјени стања регулационе склопке енергетског трансформатора, на основу резултата више дијагностичких метода. Предложен је оригинални приступ анализе дијагностичких метода за процјену стања регулационе склопке енергетског трансформатора, узимајући у обзир и старост самог трансформатора уз тренутну цијену електричне енергије на тржишту. Вриједности карактеристичних резултата мјерења дијагностичких метода, старост и цијена су анализирани примјеном технике фази логичких правила, уз формирање одговарајућих функција припадности.

Предложени систем процјене је заснован на доступним подацима ранијих мјерења, који потичу из формиране базе података. Поред експертског знања важну улогу у процјени стања регулационе склопке и одређивању тренутка када се склопка треба сервисирати или замијенити другом игра и старост саме склопке, као и цијена тренутне електричне енергије на тржишту. Предложени систем на оригиналан начин одређује стање регулационе склопке и даје смјернице ка некој сервисној акцији или интервенцији над њом. Примјене експертских система и метода значи да се може правовремено и правилно донијети одлука везана за одржавање и сервисирање регулационе склопке енергетског трансформатора. Експертски систем може у великој мјери убрзати и олакшати доношење једне такве одлуке.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

У току стручног напредовања, кандидаткиња је као аутор или коаутор објавила више радова у научним часописима и симпозијумима од међународног значаја. Остварен је низ резултата, насталих током периода ранијег истраживања или током саме израде дисертације из актуелне области процјене стања регулационе склопке или енергетских трансформатора у цјелини.

Радови објављени у зборницима са националних или међународних научних скупова:

1. Cincar N, Mijić D, Cincar A, **Analiza stanja regulacione preklopke pod opterećenjem (OLTC) energetskeg transformatora**, Infoteh Jahorina, Vol. 7, Ref. D-13, strane 359-363, mart 2008.
2. Cincar N, Mitrić R, Novaković B, Simović A, **Neki aspekti primjene programa AutoCAD i Excel-a pri projektovanju električnih instalacija**, Infoteh Jahorina, Vol. 7, Ref. D-14, strane 364-367, mart 2008.
3. Cincar N, Stojković Z, Simović A, Jokić S, **Primjena gasne hromatografije u analizi ulja energetskeg transformatora sa regulacionom sklopkom**, Infoteh Jahorina, Vol. 10, Ref. D-8, strane 312-316, mart 2011.
4. Simović A, Dutina M, Cincar N, **Primjena računarskog programa PONDV za analizu ponašanja visokonaponskih nadzemnih vodova**, Infoteh Jahorina, Vol. 10, Ref. D-10, strane 321-325, mart 2011.
5. Jokić S, Cincar N, Stojković Z, Simović A, **Dijagnostika stanja regulacione sklopke energetskeg transformatora metodom mjerena struje komutacije**, Infoteh Jahorina, Vol. 11, Ref. ENS-1-3, mart 2012.
6. Simović A, Cincar N, Dutina M, **Rangiranje visokonaponskih nadzemnih vodova za revitalizaciju ili rekonstrukciju**, Infoteh Jahorina, Vol. 11, strane 144-149, Mart 2012.
7. Mitrić R, Cincar N, Simović A, **Mehanički proračun nadzemnih distributivnih vodova sa primjerom primjene**, Infoteh Jahorina, Vol. 11, strane 150-155, Mart 2012.
8. Maksimović M, Cincar N, **Projektovanje i modelovanje sistema protivpožarne zaštite u server sali**, Infoteh Jahorina, Vol. 12, strane 80-85, Mart 2013.
9. Jokić S, Cincar N, Matić P, **Značaj određivanja temperature najtoplije tačke transformatora**, Infoteh Jahorina, Vol. 14, Ref. ENS-2-13, strane 217-222, mart 2015.
10. Mitrić R, Cincar N, Šilj M, **Proračun vertikalnih sila, razmaka u sredini raspona i crtanje lančаницe provodnika kod nadzemnih distributivnih vodova**, Infoteh Jahorina, Vol. 14, strane 142-147, Mart 2015.
11. Vujović V, Jokić S, Maksimović M., **Power Efficiency Analysis in Internet of Things Sensor Nodes**, 2nd International Electronic Conference on Sensors and Applications, page 1-6, 15-30 November 2015.
12. Jokić S, Cincar N, Matić P, **Procjena stanja kontakata regulacione preklopke energetskeg transformatora**, Infoteh Jahorina, Vol. 16, Ref. P-1-5, strane 285-290, mart 2017.
13. Simović A, Cincar N, Stojković Z, **Parametri za utvrđivanje stvarnog stanja provodnika**, Infoteh Jahorina, Vol. 16, strane 279-284, Mart 2017.
14. Motika D, Cincar N, Popović B, **Osvjetljenje sportskih dvorana**, Infoteh Jahorina, Vol. 16, strane 291-295, Mart 2017.
15. Jokić S, Cincar N, Novaković B, **The analysis of vibration measurement and current signature in motor drive faults detection**, 17th International Symposium Infoteh-Jahorina, 21-23 March 2018

16. Milojević G, Cincar N, **On-Load Tap Changer Testing Methods**. Technical Journal, Asset Management Forum, Number 1, Summer 2013.
17. Cincar N, Jokić S, Simović A, Maletić I, **Testing of the insulation state between the stator sheets of generator**, 14. savjetovanje BH K/O CIGRE, R.A1.04, Neum, 20-23 oktobar 2019.
18. Perišić N, Simović A, Cincar N, **Ispitivanje energetskog transformatora vlastite potrošnje 35/0,4 kV/kV u hidroelektrani Trebinje 1**, Infoteh Jahorina, strane 34-39, mart 2021.

Радови објављени у часописима националног или међународног карактера

1. Cincar N, Stojković Z, Simović A, Jokić S., **Primjena gasne hromatografije u analizi ulja energetskog transformatora sa regulacionom sklopkom**, Energetičar, strane 1-18, Banja Luka, juni 2011.

4. Оцјена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему (по поглављима)

Кандидаткиња је у потпуности испоштовала план и програм рада на дисертацији, а у складу са пријавом теме докторске дисертације. Докторска дисертација кандидаткиње садржи укупно 174 страница, укључујући насловну страну, захвалницу, посвету, предговор, сажетак на српском и енглеском језику, садржај и кратку биографију аутора. Главни текст дисертације је обима 162 странице, а у оквиру којих су приказане 133 слике, 24 табела, 85 референци. Дисертација је организована кроз седам поглавља, укључујући уводно поглавље, допринос и закључак дисертације. На крају дисертације је наведен списак коришћене литературе, попис коришћених слика, табела и скраћеница, као и кратка биографија аутора.

У уводном поглављу рада су представљена уводна разматрања у области теме дисертације. Након тога је приказан конкретан предмет рада, циљеви, методе истраживања и преглед досадашњих истраживања у посматраној области.

У другом поглављу развијан је теоретски приступ дијагностици стања регулационе склопке енергетског трансформатора. Описано је понашање електросенергетског трансформатора у погону, његова поузданост, расположивост, ефикасност и одржавање.

Треће поглавље описује регулациону склопку, њене карактеристике, подјеле, принцип рада, као и дијагностичке методе за оцјену њеног стања.

Четврто поглавље почиње са уводом у фази теорију, на једноставан начин описује фази скуп и фази број. Предложен је алгоритам и описан експертски систем са шест улаза за оцјену стања регулационе склопке енергетског трансформатора на основу апликације програмског пакета Matlab. Пет улаза представља пет дијагностичких метода, а шести је старост, односно број операција регулационе склопке. Сваки од тих шест улаза је представљен посебним фази логичким компаратором. Улази у основни експертски систем су излаз из главног система и цијена тренутне електричне енергије на тржишту.

У петом поглављу је дато и пет примјера симулираних резултата, који су настали као комбинација од случајно изабрана постојећа два улаза главног фази логичког компаратора. Дата су и три конкретна примјера система за процјену стања

регулационе склопке електроенергетског трансформатора, узета са реалног објекта а представљена преко рачунарских симулација.

Кроз поглавље Допринос рада, тј. шесто поглавље су истакнуте остварене предности предложеног система за процјену стања у односу на постојеће резултате у области дијагностичких техника регулационе преклопке.

Закључак садржи сумиране резултате дисертације, са смјерницама за будући рад у истраживаној области и могућностима надоградње предложеног система. Докторска дисертација је и по обиму и по квалитету у потпуности испунила циљеве и задатке постављене у пријави дисертације.

5. Научни резултати докторске дисертације

Истраживања спроведена у оквиру докторске дисертације су у потпуности испунила очекиване циљеве и постављену хипотезу. Основни научни доприноси дисертације су:

- Анализиран је утицај појединих деградационих механизма на функционалност регулационе преклопке.
- Истакнута је техничка регулатива, тј. технички прописи, стандарди и интерна техничка регулатива која се бави проблематиком дијагностичких метода регулационе склопке.
- Анализирана је упоредна анализа свих дијагностичких метода и њихова подобност за проналажење грешака и деградације појединих дијелова регулационе склопке.
- Формиран је систем за процјену стања, примјеном фази логике, као технике вјештачке интелигенције, уз наглашене предности овог приступа процјене.
- Интегрисан је модел одлуке у процјени стања, који користи предности појединих дијагностичких техника у погонским условима.
- Формирана је експертска база података на основу доступних мјерења, која омогућава образовање одговарајућих функција припадности фази логичких правила за сваку од наведених дијагностичких метода.
- Формирани систем омогућава доношене закључка о хитности интервенције, тј. планирању сервисних акција у будућем одржавању, уз нагласак на економској анализи, односно цијени изгубљене електричне енергије у току испада компоненте или енергетског трансформатора.
- Истакнуте су могућности надоградње система уз накнадну обраду будућих резултата мјерења, што додатно повећава прецизност процјене одређених стања.

6. Примјењивост и корисност резултата у теорији и пракси

Дијагностика и дијагностичка испитивања у области електроенергетике представљају актуелну област у одржавању и повећању расположивости елемената електроенергетског система. У том погледу, предложени систем за дијагностику стања регулационе склопке енергетског трансформатора омогућава напредак у одржавању, уз смањење трошкова непланираних испада. Поједине дијагностичке методе на регулационој склопци се могу изводити у одређеним условима рада, зависно од доступности опреме, инструмената, људи који имају одређена предзнања и финансијских средстава. Ту долази до изражаја предност предложеног алгорита анализе стања, у коме се посебно третирају и анализирају поједине дијагностичке методе и утицај сваке од метода на коначну оцјену стања регулационе склопке.

Примјена експертског знања има широку примјену у пракси, с обзиром на комплексну анализу дијагностичких метода регулационе склопке. Излаз из главног система фази логичког компаратора даје тренутну оцјену стања регулационе склопке, на основу свих доступних података, мјерења појединих дијагностичких метода и њене старости. Формирање фази експертских система за дијагностику стања регулационе склопке енергетског трансформатора, као и примјена тих резултата код прорачуна поузданости, процјене животног вијека и одређивања тренутка када се регулациона склопка треба сервисирати или замијенити новом представља велики значај и корисност код примјене у теорији и пракси.

7. Начин презентовања резултата научној јавности

Теоријска и експериментална истраживања која представљају већи дио дисертације, мр Нада Цинцар је добрим дијелом објавила и резултати су верификовани од стране научне јавности кроз радове на научним конференцијама или часописима.

1. Jokić S, Cincar N, Stojković Z, Simović A, **Diagnostika stanja regulacione sklopke energetskog transformatora metodom mjerena struje komutacije**. Infotech Jahorina, Vol. 11, Ref. ENS-1-3, mart 2012.
2. Jokic S, Cincar N, Novakovic B, **The analysis of vibration measurement and current signature in motor drive faults detection**, 17th International Symposium Infotech Jahorina, 21-23 March 2018
3. Milojevic G, Cincar N, **On-Load Tap Changer Testing Methods**, Technical Journal, Asset Management Forum, Number 1, Summer 2013.
4. Jokić S, Cincar N, Matić P, **Procjena stanja kontakata regulacione preklompke energetskog transformatora**, Infotech Jahorina, Vol. 16, Ref. P-1-5, strane 285-290, mart 2017.

8. ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ

На основу увида у докторску дисертацију мр Наде Цинцар под називом “Техно-економска анализа дијагностичких метода регулационе склопке енергетског трансформатора”, Комисија је једногласно закључила да је кандидаткиња изабрала актуелну и оригиналну тему истраживања, коју је спровела поштујући све принципе научног рада и користећи савремене методе истраживања и анализе резултата. Дисертација садржи оригиналне теоријске и практичне резултате у области дијагностичких метода регулационе склопке енергетских трансформатора. Истраживања у оквиру ове дисертације би могла значајно да допринесу дијагностици стања енергетских трансформатора са регулационом склопком и будућим истраживањима у области расположивости елемената електроенергетског система. На

основу наведеног, Комисија предлаже Научно-наставном вијећу Електротехничког факултета Универзитета у Источном Сарајеву и Сенату Универзитета у Источном Сарајеву, да докторску дисертацију под насловом:

“Техно-економска анализа дијагностичких метода регулационе склопке енергетског трансформатора”

кандидата мр Наде Цинцар, дипл. инж. ел. прихвати и одобри њену јавну одбрану, којом ће стећи звање доктора техничких наука.

Мјесто: Источно Сарајево

Датум: 9.6.2022

Комисија:

1. **Јован Микуловић**, у звању редовни професор, *Електроенергетски системи*, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, предсједник Комисије;

Јован Микуловић

2. **Златан Стојковић**, у звању редовни професор, *Електроенергетски системи*, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, ментор и члан Комисије;

Златан Стојковић

3. **Александар Симовић**, у звању ванредни професор, *Електроенергетика*, Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, члан Комисије;

Симовић Александар

4. **Данијел Мијић**, у звању ванредни професор, *Рачунарске науке*, Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, члан Комисије;

Данијел Мијић

5. **Наташа Поповић**, у звању доцент, *Аутоматика и роботика*, Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, члан Комисије.

Наташа Поповић