

Одлуком Научно-наставног вијећа Електротехничког факултета, Универзитета у Источном Сарајеву, број 03-187/22 од 16.02.2022. године, именована је Комисија за оцјену и одбрану урађене докторске дисертације кандидата мр Срђана Јокића под називом:

„Процјена стања регулационе склопке енергетског трансформатора методом мјерења динамичке отпорности“ (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 Петар Матић**, (Електротехнички факултет Универзитета у Бањој Луци, ужа научна област *Електроенергетика*) – члан;
4. **Ванредни проф. др Александар Симовић**, (Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, ужа научна област *Електроенергетика*) – члан;
5. **Ванредни проф. др Мирјана Максимовић**, (Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, ужа научна област *Телекомуникације*) – члан.

ИЗВЈЕШТАЈ

о оцјени урађене докторске дисертације

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

Процјена стања регулационе преклопке захтијева извођења одговарајућих тестова који ће омогућити правилно доношење закључка и предложити, уколико је то неопходно, одговарајуће, правовремене, превентивне кораке. Један од ефикасних начина неинвазивне процјене, какав је приказани метод мјерења динамичке отпорности преклопке, омогућава дијагностиковање промјена које настају на контактним површинама, али и осталих појава које на посредан или непосредан начин доводе до промјене вриједности у контактним отпорностима. Такве промјене обухватају и прилике које утичу не само на вриједности отпорности у одређеном тренутку, него и на дужине трајања одређених стања, појаве пропада или наглог пораста у сигналу, које су карактеристичне за настанак појединих дефеката покретних механизма, осцилације и сличне ефекте.

Издвајање корисних дијелова сигнала је у одржавању трансформатора неријетко један од основних предуслова ефикасне процјене стања. Наиме, појава одговарајућих елемената сигнала, њихове вриједности, мјесто појављивања и слични параметри често имају специфичну тежину и утицај на процјену стања. У томе долази до изражаја предност предложеног алгоритма анализе сигнала, у којем се посебно третирају поједини карактеристични елементи описани у представљеном рјешењу проблема, а да се при томе не посматра директно сличност мјереног сигнала са референтним.

Издвојени елемент сигнала се у даљој анализи често не може посматрати индивидуално, нарочито из разлога да тежина процјене стања елемента самог по себи у доста прилика зависи и од стања неког другог елемента па је примјена фази логике, као једног од модела анализе вјештачке интелигенције, у оваквим случајевима пожељна. У том погледу, предложени модел процјене у фази логичким правилима узима у обзир однос вриједности појединих елемената, а неодређености у процјени вриједности се посматрају у корелацији и са елементима синхронизације са погонским

системом, односно анализом рада струје мотора, као и синхронизационим тачкама у посматраним сигнаlima. Значајан сегмент анализе је проналажење хитности интервенције, која се заснива прије свега на типу стања са грешком. Грешке које су последице краткорочних и дугорочних ефеката деградације, настале прије свега као резултат одговарајућих препознатљивих механизма током експлоатације трансформатора, се у фази логичким оцјенама модела посматрају на другачији начин у односу на грешке које су последице изненадног испада система, какво је, на примјер, ломљење појединих дијелова механичког склопа преклопке. У овом смислу, корисно је временско праћење промјене у сигналу, које се добија континуираним снимањем сигнала струје комутације или струје мотора, тако да се у предложеном моделу могу добити трендови појединих промјена, типа контактне отпорности. Оваквим приступом је могуће процијенити и тренутак када регулациона преклопка улази у временски период у којем је препоручена замјена појединих дијелова. Тиме се може на ефикасан начин извести планско одржавање опреме, како би се повећала расположивост регулационе преклопке и енергетског трансформатора у цјелини.

Адаптиван приступ у предложеној анализи стања преклопке и прилагођавање појединих фази логичких правила би у оваквом систем омогућавало не само прецизније одређивање тренутка отказа, тј. планског ремонта опреме, него и прилагођавање постојећих правила, насталих на основу доступне базе података ранијих мјерења, конкретним условима експлоатације у којима се детаљније описују поједина стања са грешком. Тиме се употпуњује експертски систем, на начин да се накнадно дефинише и утицај појединих параметара или стања опреме на систем закључивања. Сервисни интервали се у таквим приликама прилагођавају евентуалним, измијењеним условима рада опреме, насталим, на примјер, промјеном улоге трансформатора у електроенергетском систему, промјеном оптерећења потрошача и сличним параметрима.

С обзиром на то да на промјену струје комутације преклопке или динамичке отпорности утиче низ фактора, од којих и одабрани тестни параметри, прецизно одређивање стања у једној поставци тестирања често није поуздано па и из тог разлога употреба фази логичког одлучивања има предности.

Анализа података динамичке отпорности и струје мотора, на основу фази логичких правила, захтијева често и примјену експертског знања па формирање базе података, која садржи издвојене елементе, на основу низа доступних мјерења, какво је реализовано током израде предложеног алгоритма у раду, такође представља предност у процјени стања опреме. Адаптивном анализом, на основу надзираног учења неуралне мреже, долази се до значајних података у праћењу тренда развоја деградационих механизма унутар регулационе преклопке и формирању стратегије одржавања трансформатора. Генерално посматрано, процјена тренда промјене стања је при томе разматрана на основу експертских и регресионих модела одлуке, обрађених у тексту тезе чиме се остварује додатни допринос у погледу интегралне расположивости преклопке.

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 преклопке енергетског трансформатора, на основу снимљених сигнала динамичке отпорности преклопке, тј. струје комутације и струје статора погонског мотора. Предложен је оригинални приступ анализе мјерених сигнала, који се заснива на издвајању појединих, карактеристичних

елемената у статичким и динамичким позицијама преклопке, а ефикасност у прецизној процјени стања је додатно повећана издвајањем елемената сигнала струје статора мотора. Вриједности карактеристичних елемената 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 границе функција припадности су одређене и на основу дозвољених вриједности промјена отпорности. Предложени систем на оригиналан начин одређује стање контактнег система уз могућност предикције резултата, праћењем тренда промјене функција које описују отпорност. Распољивост регулационе преклопке се у предложеном систему посматра уз уважавање стања битних функционалних дијелова, какав је, поред контактнег система, опружни систем и преносни систем заједно са погонским мотором. Предложени алгоритам анализе омогућава ширу употребу у процјени стања у случају регулационе преклопке са оптерећењем, засноване на принципу рада резистивних елемената.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

У току стручног напредовања, кандидат је као аутор или коаутор објавио 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 преклопке или енергетских трансформатора у цјелини.

Радови објављени у зборницима са националних или међународних научних скупова

1. Vuković G, Ajkalo S, Jokić S, Matić P, **Mjerno-akvizicioni sistem za snimanje statičkih momentnih karakteristika električnih mašina**, Infoteh Jahorina, Vol. 8, Ref. E-I-18, strane 429-433, mart 2009.
2. Novaković B., Jokić S., Vuković G., Matić P., **Kompenzacija reaktivne snage srednjenaponskih industrijskih postrojenja u prisustvu viših harmonika**, Infoteh Jahorina, Vol. 9, Ref. D-3, strane 366-370, mart 2010.
3. Novaković B, Jokić S, Vuković G, Matić P, **Mjere za eliminisanje uticaja kompenzacije reaktivne snage na kvalitet električne energije u industrijskim postrojenjima sa prisutnim višim harmonicima**, Infoteh Jahorina, Vol. 9, Ref. D-4, strane 371-375, mart 2010.
4. Mihić D, Popov N, Vukosavić N. S, Vuković G, Jokić S, **Određivanje optimalnog broja navojaka sinhronog vučnog motora**, INDEL 2010., TO-04, Sekcija Električne mašine i pogoni
5. Popov N, Mihić D, Vukosavić N. S, Jokić S, Vuković G., **Merenje impedanse asinhronne mašine i indirektno određivanje temperature**, INDEL 2010., TO-04, Električne mašine i pogoni
6. Cincar N, Stojković Z, Simović A, Jokić S, **Primjena gasne hromatografije u analizi ulja energetskog transformatora sa regulacionom sklopkom**, Infoteh Jahorina, Vol. 10, Ref. D-8, strane 312-316, mart 2011.
7. Jokić S, Cincar N, Stojković Z, Simović A, **Dijagnostika stanja regulacione sklopke energetskog transformatora metodom mjerena struje komutacije**. Infoteh Jahorina, Vol. 11, Ref. ENS-1-3, mart 2012.

8. Simić M, Šekara B. T, Jokić S, **Model jednofaznog transformatora zasnovan na strujno-naponskoj karakteristici praznog hoda**, Infoteh Jahorina, Vol. 12, strane 277-282, 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. Vujovic V, Jokic S, Maksimovic 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.
11. Новаковић Б, Јокић С, **Примјена једне модификације Фуријеовог алгоритма за мјерење показатеља квалитета електричне енергије**, Infoteh Jahorina, Vol. 15, Ref. ENS-2-13, strane 187-192, mart 2016.
12. Jokić S, Cincar N, Matić P, **Procjena stanja kontakata regulacione preklopke energetskog transformatora**, Infoteh Jahorina, Vol. 16, Ref. P-1-5, strane 285-290, mart 2017.
13. Jokic S, Cincar N, Novakovic B, **The analysis of vibration measurement and current signature in motor drive faults detection**, 17th International Symposium Infoteh-Jahorina, 21-23 March 2018
14. Milojevic G, Jokic S, **Complementary Analysis of DVtest and Vibroacoustic Method for OLTC**, Industrial Conference TechCon Aus-NZ 2018, pages 1-15, Sydney Australia, 16-18 April 2018
15. Banjanin M, Ikić M, Vuković G, Jokić S, **Analiza problema neravnomjerne raspodjele struje kroz kratke paralelne provodnike i smjernice ka njegovom rješavanju**, 14. Savjetovanje BH K/O CIGRE, Neum, oktobar, 2019.
16. 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.
17. Forcan M, Maksimović M, Forcan J and Jokić S, **5G and Cloudification to Enhance Real-Time Electricity Consumption Measuring in Smart Grid**, "2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/TELFOR51502.2020.9306518.
18. Forcan M, Jokić S, Maksimović M, **Cloud-based communication approach for monitoring of power quality in smart grid**, 12. Savjetovanje o elektrodistributivnim mrežama – CIRED, Vrnjačka Banja, Srbija, septembar 2021.
19. Krljaš A, Jokić S, **Analiza kvaliteta električne energije u neutralnom provodniku transformatorske stanice Elektrotehničkog fakulteta**, 15. savjetovanje BH K/O CIGRE, Neum, oktobar, 2021.

Радови објављени у часописима националног или међународног карактера

1. Novaković B, Jokić S, Ikić M., Vuković G, Đurišić Ž., **Pregled metodologija kontrole harmonijskih izobličenja u industrijskim mrežama sa kompenzacijom reaktivne snage**, Energetičar, Banja Luka 2010. strane 27-48.
2. Vuković G, Ajkalo S, Jokić S, Matić P, **Acquisition system for static torque characteristics measuring**, Electronics, Volume 13, Number 2, December 2009., 14-20.
3. 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. Simić M, Šekara B. T, Jokić S, **Model of Three-Limb Three- Phase Transformer Based on Nonlinear Open Circuit Characteristic with Experimenta Verification**, Telfor Journal, Vol. 6, No.1, 2014
5. Jokić S, Mijic D, Matic P, **An algorithm for transformer hot spot temperature determining**, Przegląd Electrotechniczny, R 93, Vol. 6, pages 141 – 145, 2017
6. Jokić S, Ikić S, **Condition Assessment of the induction motor based on vibration and current signature analyses**, International Electrical Testing Association Journal, NETAworld, spring 2018. Page 66-70

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

Кандидат је у потпуности испоштовао план и програм рада на дисертацији, а у складу са пријавом теме докторске дисертације. Докторска дисертација кандидата садржи укупно 167 страница, укључујући насловну страну, захвалницу, посвету, предговор, сажетак на српском и енглеском језику, садржај и кратку биографију аутора. Главн текст дисертације је обима 154 странице, а у оквиру којих су приказане 83 слике, 14 табела, 116 референци. Дисертација је организована кроз десет поглавља, укључујући уводно поглавље, допринос и закључак дисертације. На крају дисертације је наведен списак кориштене 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.

Друго поглавље ближе представља технике одржавања добара у електроенергетском систему и постојеће приступе процјене расположивости енергетског трансформатора.

Треће поглавље је детаљније посвећено регулационој преклопци, типовима који су у примјени, конструктивним елементима, функционалним принципима и деградационим механизмима који могу бити присутни у њеној експлоатацији.

Преглед постојећих метода тестирања, са тежиштем на техникама тестирања у безнапонском стању је наведен у четвртном поглављу. Описано је више техника које, интегрално посматрано, дају прецизнију слику у процјени постојећег стања преклопке. Посебно је истакнута динамика одржавања њених појединих склопова.

Пето поглавље представља практичну анализу промјене контактне отпорности, зависно од деградационих ефеката и контактнoг притиска. Анализа је изведена у лабораторијским условима, са нагласком на утицај промјена на контактним површинама и ефектима којима су контакти изложени.

Предложени систем за процјену стања преклопке, развијен примјеном фази логике, на основу мјерења струје комутације и издвајања корисних елемената, је представљен у шестом поглављу. Поголавље детаљније разматра формирање фази логичких контролера и њихову међусобну везу за поједине од издвојених елемената.

Осмо поглавље садржи анализу расположивости преклопке, на основу нивоа отказа појединих функционалних дијелова. Већа пажња је посвећена процјени тренда промјене контактне отпорности до тренутка појаве стања које се сматра грешком у контактном систему преклопке.

Кроз поглавље *Допринос рада* 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.
- Изведена је практична анализа могућих промјена на контактном систему, са нагласком на резистивном типу преклопке.
- Истакнути су битни елементи у анализи сигнала струје комутације или динамичке отпорности регулационе преклопке.
- Анализирани сигнал струје напајања статора погонског мотора је разматран у смислу функционалности преклопке. При томе су истакнути фактори у анализи који доприносе поузданој оцјени стања преклопке.
- Формиран је систем за процјену стања, примјеном фази логике, као технике вјештачке интелигенције, уз наглашене предности овог приступа процјене.
- Формирана је експертска база података на основу доступних мјерења, која омогућава образовање одговарајућих функција припадности фази логичких правила за сваки од наведених елемената у предложеном систему.
- Формирани систем омогућава доношене закључка о хитности интервенције, тј. планирању сервисних акција у будућем одржавању.
- Истакнуте су могућности надоградње система уз накнадну обраду будућих резултата мјерења, што додатно повећава прецизност процјене одређених стања и тренда промјене процеса деградације.
- Постављене су предиктивне могућности у анализи сигнала струје комутације и струје погонског мотора регулационе преклопке.

6. Примјењивост и корисност резултата у теорији и пракси

Управљање добрима у области електроенергетике представља актуелну област, која садржи различите методе приступа у одржавању како би се повећала расположивост разматраних елемената. У том погледу, предложени систем омогућава предиктивне могућности у одржавању, уз смањење трошкова непланираних испада или ширег обима извођења дијагностичких мјерења. Анализа стања омогућава процјену тренда развоја деградационих механизма преклопке у погону, узимајући у обзир улогу трансформатора у електроенергетском систему, могућности промјене оптерећења и напонских прилика. Примјена експертског знања има широку примјену у пракси, с обзиром на комплексну анализу мјерених сигнала струје комутације или струје напајања статора погонског мотора. Вјештачка интелигенција примјењена у докторској дисертацији омогућава адекватну процјену стања у експлоатационим условима рада трансформатора. Предложени концепт адаптивне анализе додатно повећава могућности прецизније оцјене стања регулационе преклопке.

7. Начин презентовања резултата научној јавности

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

1. Jokić S, Cincar N, Stojković Z, Simović A, **Dijagnostika stanja regulacione sklopke energetskog transformatora metodom mjerenja 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, Jokic S, **Complementary Analysis of DVtest and Vibroacoustic Method for OLTC**, Industrial Conference TechCon Aus-NZ 2018, pages 1-15, Sydney Australia, 16-18 April 2018
4. Jokić S, Cincar N, Matić P, **Procjena stanja kontakata regulacione preklapke energetskog transformatora**, Infotech Jahorina, Vol. 16, Ref. P-1-5, strane 285-290, mart 2017.
5. Jokic S, Ikić S, **Condition Assessment of the induction motor based on vibration and current signature analyses**, International Electrical Testing Association Journal, NETAworld, spring 2018. Page 66-70

8. ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ

На основу увида у докторску дисертацију мр Срђана Јокића под називом “Процјена стања регулационе склопке енергетског трансформатора методом мјерења динамичке отпорности”, Комисија је једногласно закључила да је кандидат изабрао актуелну и оригиналну тему истраживања, коју је спровео поштујући све принципе научног рада и користећи савремене методе истраживања и анализе резултата. Дисертација садржи оригиналне теоријске и практичне резултате у области процјене стања регулационе преклопке енергетских трансформатора. Истраживања у оквиру ове дисертације би могла значајно да допринесу дијагностици стања енергетских трансформатора 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

“Процјена стања регулационе склопке енергетског трансформатора методом мјерења динамичке отпорности”

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

Мјесто: Источно Сарајево

Датум: 08.03.2022.

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. **Петар Матић**, у звању ванредни професор, *Електроенергетика*, Електротехнички факултет Универзитета у Бањој Луци, члан Комисије;

Петар Матић

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

Симовић Александар

5. **Мирјана Максимовић**, у звању ванредни професор, *Телекомуникације*, Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, члан Комисије.

Мирјана
