

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата SAFAA IBRAHIM ISMAEL AL-MUSAWI за израду докторске дисертације

Одлуком Научно-наставног већа са седнице бр. 811 одржане 14.3.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Safaa Ibrahim Ismael Al-Musawi** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **"Евалуација преосталог радног века енергетског трансформатора високог напона у радним условима"**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Safaa Ibrahim Ismael Al-Musawi је рођен 12. новембра 1962. године у BABILON-у, Ирак. Основну и средњу техничку школу је завршио у BABILON-у, 1974- и 1981. године.

На Војној академији у Рајловцу дипломирао је 1985. године - смер електронска опрема и инструменти. Додатне двогодишње студије за признавање дипломе петогодишњих студија на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је 1985. године. Дипломирао је 14. јануара 1988. године

По еквивалентирању петогодишњих студија са звањем мастер инжењера електротехнике и рачунарства, уписао је докторске студије 2012. године, на смеру енергетски претварачи и погони, на Енергетском одсеку Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Све испите на докторским студијама је положио до 2014. године, од када ради на изради докторске дисертације.

У току своје професионалне каријере од 2008. године до поновног доласка у Србију 2012. године, радио је на AL-RAFIDAIN University College, Багдад, као истраживач.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је докторске студије уписао 2012/2013. године и положио све испите који су предвиђени планом докторских академских студија на модулу Енергетски претварачи и погони на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Кандидат мр Safaa Ibrahim Ismael Al-Musawi, дипл. инж. електротехнике, полагао је 3. маја 2017. године докторски испит на Електротехничком факултету Универзитета у Београду при чему је комисија у саставу:

1. др Миомир Костић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
2. др Ђорђе Јанаћковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Технолошко-металуршки факултет
3. др Бранко Колунџија, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду

Комисија сматра да је кандидат на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену **задовољно**.

Преглед положених испита

	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1	Енергетски претварачи	8	9
2	Снаге у присуству виших хармоника и методе за поправку фактора снаге у електроенергетским системима	8	9
3	Стабилност електрениергетских система	8	9
4	Вишемоторни електрични погони	10	9
5	Ветроенергетика и соларна енергетика	7	9
6	Енглески језик	10	9
7	Одабрана поглавља из електромоторних погона	10	9
8	Мерне методе у нуклеарној, медицинској и еколошкој техници	9	9
9	Надгледање стања електричних машина у погону	8	9
10	Прелазне појаве у електричним машинама	10	9
11	Асинхроне машине	10	5
12	Синхроне машине	10	5

Списак одрађених обавеза

	Назив предмета	ЕСПБ
1	Научно-стручни рад	3
2	Студијски истраживачки рад I	15
3	Студијски истраживачки рад II	15

Списак објављених радова

1. Safaa Ismael Al-Musawi, Zoran Lazarević, Radovan Radosavljević, Zijad Bajramović, "Procena pouzdanosti uljno-papirne izolacije 420kV-nog transformatora u uslovima korišćenja", 32. Savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor, 17-21. Maj 2015.
2. Safaa Ismael Al-Musawi, Zoran M. Lazarević, Radovan R. Radosavljević, Zijad M. Bajramović, Predrag V. Osmokrović, "The Oil - Paper Insulation Reliability Estimation Of 420 kV Transformer Concerning Thermal Stresses During Exploitation Conditions", Thermal Science 2016, volume 20, issue 5, pages 1713-1723

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Safaa Ibrahim Ismael Al-Musawi је кроз положене испите на докторским студијама стекао потребна знања за бављење темом предложене дисертације. Ово је потврђено и на докторском испиту, одржаном пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета, на јавној усменој одбрани, када је кандидат **успешно положио докторски испит, одржан 3. маја 2017. године**. На основу претходно наведеног, наша је процена да је кандидат Safaa Ibrahim Ismael Al-Musawi у стању да успешно реализује и заврши израду предметне докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове докторске дисертације је проблем процене преосталог радног века енергетског трансформатора највиших напона и снага који се експлоатишу у реалним радним условима. Циљ истраживања је да се на основу претходне историје оптерећења конкретног трансформатора у складу са ИЕС стандардним алгоритмом прорачуна достигнути степен старења. Ови резултати би се упоредили са мерењима степена полимеризације на папирним узорцима који се узимају са крајева намотаја нижег напона и веза на сабирнице испитиваног трансформатора.

Добра процена преосталог радног века трансформатора јако зависи од његове дефиниције. Иако Радна група CIGRE 12.09 препознаје: технички, стратешки и економски крај радног века, трансформатори се ретко замењују због разлога који нису технички, чак и у високо развијеним земљама. Углавном се замена врши у случају када су изолационе особине његовог уљно – папирног система значајно ослабиле. Процес старења се развија у три истовремена режима, узрокованих температуром и присуством следећих агенаса: пиролизе, хидролизе и оксидације. Пиролиза преовлађује на температурама изнад 110 – 120°C, због њене потребе за енергијом активације, која је 1,2 до 1,4 пута већа од оне за хидролизу, која преовлађује на нижим температурама. Реакција са водом се дешава углавном дејством киселина, које се добијају преко оксидације уља, која садржи потребан атом водоника. Унутар овог сложеног система интеракције, дешава се раздвајање ланца влакана целулозе молекула глукозе, које има за последицу издвајање CO, CO₂, воде, и стварање поларизованих група нестабилног анхидрида. Фуранске киселине су слабо растворљиве у минералним уљима, што обично има за последицу њихово сакупљање на спољашњој површини папира. Главни део деривата фурана се концентрише на папиру, али део њих продире у уље, што је посебно случај са фурфур-алдехидима. Хидроксилне групе, присутне у целулози, оксидишу, стварајући воду, CO и CO₂. Присуство раствореног кисеоника и високи садржај воде такође значајно утиче на стварање оксида угљеника и деривате фурана.

За трансформаторе у раду је од највећег значаја да се зна стање његовог система изолације, што је непосредно повезано са његовим преосталим радним веком. За надзор стања трансформатора, развијене су следеће методе: гасна – DGA и течна - HPLC хроматографија уља; што се тиче чврсте изолације, мерење индекса полимеризације DP је најважније испитивање, али су од недавно јављају још неке нове методе, као што је: мерење струја поларизације и деполаризације PDC, фото - електронска спектроскопија у домену X - зрачења XPS или суб - инфрацрвеном домену NIR, FTIR, мерење супротног напона RVM.

DP метод, заснован на налажењу просечног броја молекула глукозе у ланцу целулозе, је најпоузданија. DP вредност нове изолације је у опсегу 1000 до 1400, а DP од деградиране изолације варира око 200. Прилично добро решење овог проблема је делимично одливање уља и узимање узорка са прикључака ниженапонског намотаја (NN) када се предузимају регуларни периодични преглед и одржавање. DP мерење узорка се врши најчешће коришћењем стандардног вискозиметријског метода, мерењем просечне полимолекуларне масе. Недавно се појавио нови метод, односно хроматографија пермеабилности желатина (GPC), додавајући расподелу молекулској маси. На овај начин се може наћи разлика деградације целулозних и полицелулозних влакана.

Потребно је узети велики број узорка изолације са различитих места. Разлог је чињеница да се пораст температуре, степен излагања електричним, хемијским и механичким утицајима, укључујући и ток уља, доста разликују у разним деловима трансформатора. За трансформатор у експлоатацији, узимање узорка је најбоље урадити заједно да другим радовима на одржавању када се звонасти поклопац резервоара скине и уље делимично одлије. Нажалост, ово се дешава врло ретко у пракси и подложно је временским условима, пошто изолација може да се овлажи. Пре отварања се саветује да се трансформатор начини топлијим у односу на околни ваздух, да би се избегла кондензација влаге. У таквим случајевима уље се делимично одлива, изводи и њихови поклопци се скидају, и узорци се узимају са горњих делова намотаја, односно са приступачне сабирничке везе на улазу у намотај.

Мора се имати на уму да резултати DP мерења на овим местима могу да дају погрешну процену о општој старости изолације у односу на стварно стање. Могућа су одступања и на једну и на другу страну, услед тога што сабирничка веза може да буде топлија или хладнија од проводника у самом намотају. Уобичајено је да се старења изолације посматра на месту најтоплије тачке унутар намотаја јер је то место најчешће критично. Ипак, може се десити и да сабирничке везе буду подложне прегревању било због енормног расипног флукса, или слабог протока уља, или лабавих сабирничких веза. Ово је аспект који ће се такође размотрити у раду. Реализоваће се термички модел, полазећи од познате конструкције трансформатора. Прорачунима на бази овог термичког модела се долази до односа температуре сабирничких веза и температуре најтоплије тачке намотаја.

Гранична тачка према намотају ће бити крај намотаја, за који ће се сматрати да има задату температуру (усвојиће се њена вредност при којој се има јединично старење). Друга гранична тачка термичког стационарног дводимензионалног модела ће се поставити на спољашњем прикључку проводног изолатора. Модел ће се успоставити претпостављајући бесконачно дуг прикључни ваздушни вод. Део између ове две тачке ће бити моделован на

основу стандардне конструкције проводника за везу намотаја и проводних изолатора, као и самих проводних изолатора.

Следећи резултат који ће проистећи из модела је корелација интензитета старења на месту узорковања папира (сабирничке везе) и на месту најтоплије тачке намотаја.

Релевантни библиографски извори

- [1] T. Leibfried, M. Suriyah, D. Geißler, M. Stach (2016): Post-Mortem-Analyse des Isolierpapiers an Maschinentransformatoren – Zusammenhang zwischen DP und Furanagehalt im Öl, VDE-Hochspannungstechnik 2016 · 14.-16.11.2016 in Berlin, 20- 25.
- [2] P. Kung, H.-C. V.-Durand, R. Idsinga, M. I. Comanici: " Fibre optics sensor monitoring moisture transport in oil in an operating transformer", 4th International Colloquium "Transformer Research and Asset Management", Pula, Croatia, May 10 – 12, 2017
- [3] Radakovic, Z., Cardillo, E., Schaefer, M., Feser, K. (2006): Design of the winding–bushing interconnections in large power transformers, Electrical Engineering (Archiv fur Elektrotechnik); Vol. 88, No. 3, 183-190.
- [4] Radakovic, Z., Sorgic, M. (2010): Basics of Detailed Thermal-Hydraulic Model for Thermal Design of Oil Power Transformers, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 25, No. 2, 790-802.
- [5] Radakovic, Z., Feser, K. (2003): A new method for the calculation of the hot-spot temperature in power transformers with ONAN cooling. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 18, No. 4, 1284-1292.

3. Полазне хипотезе

Степен полимеризације папира на месту његове максималне деградације представља директну меру стања папирне изолације. Од стања изолације зависи и преостали радни век енергетског уљног трансформатора. Проблем код примене утврђивања стања изолације на бази индекса деполимеризације је што је метода инвазивна, односно морају се узимати узорци папира из унутрашњости трансформатора. Посебну тешкоћу представља то што је старење по правилу највеће на локацији најтоплије тачке, која се најчешће налази унутар намотаја, па нити је приступачна нити је практично могуће скинути без да се угрози изолација намотаја. Због тога се евентуално узорковање врши на приступачним местима (са сабирница), али се мора успоставити веза старења на локацији најтоплије тачке намотаја и на месту узорковања на шинама.

Стандардна метода, садржана и у ИЕС стандардима, за процену старења и преосталог животног века трансформатора је на основу претходне историје оптерећења (струје и температуре спољашњег расхладног флуида) конкретног трансформатора.

Хипотезе:

X1: Степен полимеризације папира на месту његове максималне деградације представља директну меру стања папирне изолације.

X2: Процену старења и преосталог животног века трансформатора је могуће приближно одредити на основу претходне историје оптерећења конкретног трансформатора, користећи методу која је садржана и у ИЕС стандардима.

X3: Могуће је успоставити везу између температуре најтоплије тачке намотаја и на месту узорковања папирне изолације са шина.

X4: Последица хипотезе X3 и релације из стандарда која повезује старење и температуру најтоплије тачки, могуће је кориговати вредност старења и процењеног животног века на

основу мерења степена полимеризације одређеног анализом узорка папирне изолације са шинских веза.

X5: На интензитет старења утиче и садржај влаге и киселина у уљу, што треба узети као додатни параметар у корелацији за интензитет старења (у односу на хипотезу X2)

X6: Могуће је успоставити везу између временске промене параметара који се прати кроз остале дијагностичке методе хемијске анализе са вредносћу степена полимеризације.

4. Научне методе истраживања

За успешну реализацију циљева истраживања и обраду и доказивање хипотеза постављених у докторској дисертацији, користиће се основне и посебне научне методе.

Од основних метода научног истраживања користиће се следеће методе:

- Експерименталне методе
- Методе анализе
- Методе синтезе

Осим наведених основних метода научног истраживања, користиће се и следеће посебне методе:

- Метода симулације и математичког моделовања
- Метода компаративне анализе

5. Очекивани научни допринос

- Побољшање формуле из стандарда за процену интензитета старења изолације, коришћењем података добијених мерењем на блок трансформатору велике снаге, као и података из литературе.
- Успостављање везе између степена деполимеризације и временске промене параметара који се прати кроз остале дијагностичке методе хемијске анализе.
- Развој термичког модела који омогућава одређивање односа температуре најтоплије тачке намотаја и температуре шинских веза, на којима је изводљиво узорковање папирне изолације.

6. План истраживања и структура рада

- Систематизација периодичних мерења и хемијских анализа на блок трансформатору велике снаге
- Прикупљање података о оптерећењу блок трансформатора у току његовог експлоатационог периода
- Прикупљање података о степену полимеризације
- Прикупљање података о конструкцији трансформатора
- Израда термичког модела за одређивање везе температуре најтоплије тачке намотаја и температуре места на коме се узоркује изолација на шинама
- Преглед и систематизација мерења и корелација до којих су дошли други истраживачи
- Покушај прикупљања додатних мерења на великим енергетским трансформаторима у експлоатацији
- Успостављање корелација између индекса полимеризације и података прикупљених током експлоатационог периода трансформатора

7. Закључак и предлог

На основу свега наведеног, Комисија констатује да је предложени садржај теме докторске дисертације под насловом „Евалуација преосталог радног века енергетског трансформатора високог напона у радним условима“ актуелан у светлу даљег развоја проблематике анализе старења изолације енергетских трансформатора у току експлоатације. Стога би резултати до којих би требало да се дође у току израде ове докторске дисертације имали значајан научни и практични допринос у области енергетских трансформатора.

Кандидат мр **Safaa Ibrahim Ismael Al-Musawi** се током свог вишегодишњег стручног ангажовања у оквирима редовних активности на свом радном месту веома често сусретао са овом проблематиком и показао је велики интерес за реализацију једног научноистраживачког приступа овој проблематици у свом даљем раду. Комисија сматра да кандидат **Safaa Ibrahim Ismael Al-Musawi** испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме и приступање изради докторске дисертације под насловом „Евалуација преосталог радног века енергетског трансформатора високог напона у радним условима“.

Ужа научна област дисертације су енергетски претварачи и погони, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан. Узимајући у обзир све поменуте чињенице, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату **Safaa Ibrahim Ismael Al-Musawi** одобри израду докторске дисертације под горе наведеним насловом. За менторе израде докторске дисертације предлажу се др Зоран Лазаревић, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет и др Зоран Радаковић, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет. Уз овај извештај се прилаже и списак радова предложених ментора на одговарајућем формулару Универзитета.

У Београду, 31. август 2017. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:


др Зоран Лазаревић, редовни професор,

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Зоран Радаковић, редовни професор,

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Миомир Костић, редовни професор,

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Ђорђе Јанаковић, редовни професор,

Универзитет у Београду – Технолошко-металуршки факултет


др Бранко Колунџија, редовни професор,

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет