

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА

Комисија за студије другог степена академских студија Електротехничког факултета у Београду на седници одржаној 16. септембра 2014. године именовала нас је за чланове Комисије за преглед и оцену мастер рада кандидата Уроша Радомана, под насловом „*Моделовање прелазних термичких процеса код енергетских уљних трансформатора са регулатором напона*“. Пошто смо прегледали овај мастер рад, подносимо Наставно - научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Урош Радоман рођен 17. јуна 1987. године у Београду. „Земунску гимназију“ у Београду завршио 2006. године. Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао 2006/2007. школске године. Дипломирао на основним студијама 2012. године на Смеру за Енергетске претвараче и погоне са просеком 8,74 и оценом 10 за завршни дипломски рад „Пројектовање машина за обновљиве изворе енергије“. Исте године уписује мастер студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Електроенергетски претварачи и погони, на којима је положио 5 испита, са просечном оценом 9,80.

Од 1. Фебруара 2013. године ради на Електротехничком факултету у Београду као сарадник на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја бр. ТР33024.

2. Анализа рада са кључним резултатима

Мастер рад кандидата Уроша Радомана садржи 11 поглавља, списак литературе и 2 додатка са графицима на којима су приказани резултати прорачуна.

Рад се бави одређивањем карактеристичних критичних температура намотаја (hot-spot) и уља (горње уље) током рада енергетских уљних трансформатора са регулатором напона под оптерећењем, у условима рада са променљивим оптерећењем и температуром амбијента. Термички модел је развијен у Excel / VBA програмском алату, а за одређивање параметара модела су коришћена два приступа: 1) када су познати детаљни конструкциони подаци, вршени су прорачуни помоћу Maxwell FEM алата за процену расподеле поља и губитака у намотајима и софтвера за термичке прорачуне који је базиран на детаљном термо-хидрауличком моделу (ТХМ), 2) резултати типског огледа загревања трансформатора, у случају када нису познати детаљни конструкциони подаци; у овом случају су коришћене типичне вредности параметара који се не могу одредити из типског огледа загревања.

Кандидат је у раду дао преглед термичких модела намењених прорачуну температура током рада трансформатора, који морају бити једноставни, јер се израчунавања врше "on line" током рада трансформатора. Последица поједностављивања модела је смањивање њихове тачности. У стандардима постоје различити упрошћени модели, којима се добро математички описују поједини релевантни детаљи, док се поједини детаљи занемарују или третирају упрошћено. Кандидат је приказао и дискутовао моделе из међународних стандарда, као и један референтни модел објављен у литератури, у часопису IEEE Transactions on Power Delivery. Поред тога, кандидат је дискутовао и важно питање одређивања параметара модела.

Кандидат је затим описао савремене технике за одређивање параметара термичких модела који описују стационарна топлотна стања: FEM методу за процену расподеле губитака у намотајима и софтвера за термичке прорачуне који је базиран на детаљном ТХМ. Оне су примењене у раду на трансформатор за који су били познати детаљни подаци о конструкцији: трофазни тронамотајни трансформатор (високонапонски, нисконапонски и терцијерни намотај) спреге YNyn0+d1, номинални напони су 132 / 13.8 / 11 kV, номинална учестаност је 60 Hz, номиналне снага у ONAF режиму хлађења 40 / 40 / 13.33 MVA, регулација напона помоћу регулатора напона у опсегу 12 x 1.43 % to +7 x 1.43 % = -15.73 % to + 10 %.

За други трансформатор нису било познати детаљни подаци о конструкцији и у раду је примењен другачији начин одређивања параметара динамичког топлотног модела трансформатора који се користи за прорачун температура током прелазних топлотних процеса. Карактеристике тог трансформатора су: трофазни двонамотајни трансформатор номиналне снаге у ONAF / ONAN режиму 40 / 24 MVA, преносни однос 110 / 10.5 kV, опсег регулације напона 110(±11x1.5%) kV, спрега YNd5, номинална учестаност 50 Hz.

За први од специфицираних података је била позната детаљна конструкција и резултати фабричког огледа загревања, а за други резултати фабричких испитивања и дијаграми оптерећења и температуре горњег уља током рада трансформатора.

Кандидат је применио описане методе и максимално искористио доступне податке за проверу метода: за први трансформатор је упоредио податке резултате прорачуна са резултатима типског огледа загревања, док је промена температура током рада трансформатора одређена само за претпостављени профил промене оптерећења, температуре амбијента и положаја регулатора напона. При томе су претпостављене типске динамичке карактеристике трансформатора (топлотни капацитети, односно временске константе загревања). За други трансформатор одређени су параметри модела које је било могуће одредити, док су за остале карактеристичне вредности које дефинишу стационарна топлотна стања усвојене типске вредности из стандарда. Поређени су резултати израчунавања температуре горњег уља добијене мерењима током рада трансформатора на мрежи, при чему је коришћена естимација параметара који карактеришу прелазне топлотне процесе. Анализиран је утицај поједностављивања поступка на тачност прорачуна, односно примене јединственог скупа параметара (варијанте: један скуп параметара за зимску и један скуп параметара за летњу сезону, односно јединствен скупа параметара за целу годину).

3. Закључак и предлог

Тему и Комисију за преглед и оцену мастер рада је прихватила Комисија за студије II степена 16. 09. 2014. године, чиме су испуњени сви формални услови за преглед и оцену предатог мастер рада.

У раду су приказани и примењени динамички термички модели за израчунавање карактеристичних критичних (максималних) температура чврсте изолације и уља енергетских уљних трансформатора током реалне експлоатације у условима променљивог оптерећења, температуре амбијента и положаја регулатора напона. Одређивање параметара модела и израчунавања (симулације) су извршени на два тест трансформатора снаге 40 MVA.

Кандидат је показао знање и зрелост да се суочи са комплексним инжењерским задацима, као и способност за примену савремених FEM алата и Excel / VBA програмског алата за симулације динамичких топлотних процеса и естимацију параметара нелинеарног динамичког термичког модела из резултата добијених мерењима на трансформатору у нормалном раду у електродистрибутивној мрежи (коришћењем Solver-a). Поред наведеног, кандидат је показао способност анализе и истрајност у обради великог скупа података (за читаву 2013.-у годину), који нису увек били комплетни или валидни.

Рад садржи и научне и стручне доприносе у елементима одређивања губитака током рада трансформатора (променљиво оптерећење, позиција регулатора напона, температура амбијента, а последично и губитака), као и параметара термичког модела. Дискутована су и анализирана упрошћења која се уобичајено чине и продубљена физичка основа и побољшана тачност одређивања појединих елемената. Рад такође значајно доприноси разумевању могућности одређивања параметара стационарних и динамичких параметара модела на основу различитих доступних података, као што је ситуација у реалној пракси.

Комисија сматра да поднети рад кандидата Уроша Радомана под називом „Моделовање прелазних термичких процеса код енергетских уљних трансформатора са регулатором напона“ обрађује значајан инжењерски проблем одређивања критичних температура током експлоатације трансформатора. Кандидат је кроз свој рад показао следећа знања и способности, и дошао до следећих резултата:

- Разумевање основа и проблема постојећих динамичких термичких модела
- Разумевање детаљног термо-хидрауличног модела
- Коришћење Maxwell FEM алата за прорачун расподеле поља и губитака
- Примену Excel / VBA, уз Solver, програмског алата за одређивање параметара модела
- Примену модела и поређење са резултатима мерења
- Допринос у моделовању утицаја регулатора напона на губитке и температуре

На основу изложеног, Комисија сматра да рад кандидата Уроша Радомана испуњава све услове да буде прихваћен за мастер рад. Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да рад прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 22. септембар 2014.

Комисија
Зоран Радаковић
др Зоран Радаковић, редовни професор
Зоран Лазаревић
др Зоран Лазаревић, редовни професор