

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ ДРУГОГ СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На својој седници од 10. новембра 2015. године, Научно наставно веће Електротехничког факултета у Београду нас је одредила за чланове Комисије за преглед и оцену магистарског рада кандидата **Ђорђа Дуканаца**, дипл. инж. електротехнике, под насловом „**Испитивање и процена стања изолационог система намотаја статора код великих синхроних турбогенератора**“. После прегледа достављеног материјала, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци

Ђорђе Дуканац је рођен 31. маја 1974. године у Београду, после завршене гимназије и две године студија на Физичком факултету на одсеку примењене физике уписује Електротехнички факултет (одсек енергетика). Електротехнички факултет завршава 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 завршеног Електротехничког факултета запошљава се у Јавном предузећу „Електромережа Србије“, у Погону подручја преносног система Београд.

Ради као самостални мастер инжењер на пословима одржавања опреме.

Говори енглески и служи се немачким језиком.

2. Предмет и циљ истраживања

Научна област којом се бави предметна теза обухвата област испитивања електричних машина и процене стања изолационих система код великих синхроних генератора.

Три главне компоненте статора турбогенератора су бакарни намотаји, статорско језгро и изолација. За разлику од бакарних проводника и магнетског челика, који представљају активне компоненте при раду турбогенератора, изолација је пасивни елемент. Изолација не помаже у стварању и провођењу магнетног поља нити електричне струје, као ни у настанку магнетопобудне силе и момента. Она повећава величину и цену машине и смањује њену ефикасност.

Главна сврха електричне изолације је спречавање кратких спојева између проводника и уземљеног статорског језгра чиме се угрожава правилан рад машине. Изненадни електрични пробој статорског намотаја турбогенератора током рада може да резултира значајним финансијским губицима предузећа услед непланираног времена испада, које може озбиљно да угрози поузданост електроенергетског система. Према томе, електрични изолациони систем намотаја статора високонапонских обртних турбогенератора је један од најважнијих делова с обзиром на трошкове производње као и аспекте одржавања и века трајања машине. Код индиректно хлађених машина потребно је да електрична изолација има добру топлотну проводност, тако да одводи топлоту са бакарних проводника како се не би прегревали.

Пошто је статорска изолација непрекидно изложена електричном напрезању, постепено погоршање квалитета изолације је неизбежно. Истраживања у индустрији су

показала да су невоље подстакнуте изолацијом намотаја статора један од примарних основних узрока кварова на електричним машинама. Изолација статора великих турбогенератора у погону је истовремено подвргнута електричним, топлотним и механичким напрезањима, као и утицајима средине. Вишеструка напрезања проузрокују постепено старење изолације, које доводи до квара изолације. Утицај ових напрезања мора да се узме у обзир током конструкције опреме. Процена стања изолације или, чак боље, преосталог века трајања статорских штапова после периода рада у погону је од значаја за поуздани рад турбогенератора.

Изолациони систем статорског намотаја садржи органске материјале као примарни састојак. Уопште, органски материјали се размекшавају на много нижој температури и имају много нижу механичку чврстоћу него бакар или челик. Отуда је век трајања статорског намотаја најчешће ограничен електричном изолацијом, пре него проводницима или челичним језгром. Осим тога, одржавање и испитивање статорског намотаја се скоро увек односи на испитивање и одржавање електричне изолације. Увођење дерегулације у производњу и пренос електричне енергије неизоставно потенцира проблем добијања одређених нивоа поузданости у напајања и квалитету испоручене електричне енергије. Поуздана информација о стању квалитета електричне енергије као и могућност ефикасног и правовременог реаговања су све важнији показатељи у пословању Електропривреде. На тржишту постоје бројни уређаји и системи за даљинско надгледање и управљање квалитетом напона у ЕЕС-у. С обзиром на широк спектар комуникационих и конфигурационих опција, од интереса је да се изврши правилан избор система и опреме за праћење квалитета. Правилан избор телекомуникационог система одређује у којој мери ће имплементација бити ефикасна и економична као и његову употребну вредност у будућности.

Предмет мастер рада дипл. инж. Ђорђа Дуканаца је, пре свега, проучавање изолационих система синхроних генератора великих снага, испитивање и процена стања изолационог система намотаја статора, анализа актуелног стања у овој области и систематизација одговарајућих стандарда.

3. Садржај и организација рада

Магистарски рад, под насловом „Испитивање и процена стања изолационог система намотаја статора код великих синхроних турбогенератора“, је изложен у пет поглавља, у оквиру којих је у првом поглављу Увод, Закључком и Литературом. Рад је представљен на 388 страна текста, међу којима се налази 380 слика и 12 табеле. Рад се позива на већи број стандарда и 100 референци.

У првом, уводном поглављу су описани најважнији детаљи који се односе на примену и правилан рад великих турбогенератора у погону. Такође је објашњен рад термоелектрана и нуклеарних електрана у којима се за производњу електричне енергије користи велики турбогенератор, уз мноштво примера електрана по свету у којима се он примењује. Прво је приказан развој у производњи турбогенератора током времена и објашњени су начини за њихову поделу. Затим су описани термоенергетски блокови у термоелектранама, њихов термодинамички циклус рада, уз осврт на мере за смањење загађења околине. Објашњени су реакторски блокови у нуклеарним електранама и мере безбедности од ширења радиоактивности. Затим су размотрени основни конструкциони делови великих турбогенератора и принцип њиховог рада. Расипни флуксеве су посебно

изражени на крајевима великог турбогенератора. Анализиране су вибрације статорског језгра код двополних турбогенератора. На крају поглавља су објашњени губици који настају при раду великог турбогенератора као и начини за хлађење његовог статора и ротора. Свеукупно хлађење је од кључног значаја за одвођење топлотне енергије настале у машини током рада у погону. Поменуте су и досадашње промене и изуми који су довели до повећања излазне снаге турбогенератора.

У другом поглављу је прво описана конструкција намотаја статора код турбогенератора укључујући тип конструкције (начин повезивања навоја), методе за уклањање виших хармоника услед индукованог напона и основни типови слагања навоја у жлебовима. Затим су дати основни и посебни начини израде Ребелових штапова за велике турбогенераторе, типови преплитања намотаја уз образложење разлога за преплитање. Даље су објашњени системи уземљења статорског намотаја, конструкција крајњих извода и прикључне кутије и изоловног трофазног вода којим се преноси створена електрична енергија до блок трансформатора.

У трећем поглављу су дате врсте и особине материјала за израду система изолације штапних намотаја статора великих турбогенератора. Објашњени су појмови: изолација подпроводника, изолација основног зида, контрола електричног пражњења и степеновање напонског напрезања, као и системи за заклињавање статорских жлебова и учвршћивање крајева намотаја. Затим су истакнути примери основних типова изолационих система намотаја великих турбогенератора најпознатијих светских произвођача. Дате су особине појединих изолационих материјала. На крају поглавља су дати: основни начини за побољшање квалитета изолације, развој изолације са високом топлотном проводношћу, побољшања у процесу вакумирања и импрегнација под притиском, као и развој изолације главног зида са смањеном дебљином траке од лискуна.

У четвртој поглављу су редом описани основни процеси старења изолације штапног намотаја статора у које спадају: топлотно, електрично и механичко старење, као и старење под утицајем чиниоца средине. Објашњени су начини деловања појединих процеса старења на изолацију и симптоми погоршања стања изолације који могу да настану. Топлотно старење настаје при стално високим температурама, услед диференцијалног ширења између навоја и потпорних материјала и током топлотног цикличног рада. Електрично старење се дешава због електричних пражњења, површинског провођења и упијањем влаге. Механички утицај на изолације изазивају вибрационе силе које делују на штапове унутар жлебова на двострукој погонској учестаности и услед електромагнетских сила на крајевима намотаја. Наведени су и начини за механичко обезбеђења намотаја статора унутар жлеба и на крајевима.

У петом поглављу су описане методе за одржавање и процену стања намотаја статора код великих турбогенератора. Прво су наведене врсте одржавања и начини за планирање контрола. Описане су затим редом најважније технике за електрично, механичко и визуелно испитивање. Од електричних техника се издвајају испитивања са једносмерном и наизменичном струјом. Механичка испитивања обухватају: испитивање притегнутости намотаја статора, проверу жлебног зазора намотаја и мерење вибрација краја намотаја статора. Визуелним техникама се утврђује стање: основног зида изолације, система за причвршћивање крајева намотаја и жлебних клинова статора. Објашњени су поступци за процену стања изолације намотаја статора код великог турбогенератора са Ребеловим штаповима.

У Закључку је сажето шта је све урађено у самом раду и јасно указано на правце даљег рада у овој области.

У поглављу *Литература* је дат компетентан преглед референтне литературе из области испитивања и процена стања изолационог система намотаја статора код великих синхроних турбогенератора.

На основу прегледа рада доносимо следећи


ЗАКЉУЧАК

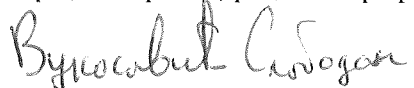
Имајући у виду садржај и квалитет рада, актуелност и сложеност изабране теме, резултате и закључке до којих је кандидат **Ђорђе Дуканац**, у свом самосталном раду дошао, чланови Комисије за преглед и оцену магистарског рада сматрају да рад кандидата испуњава све услове да буде прихваћен као магистарски рад и са задовољством предлажу Научно наставном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду, да магистарски рад **Ђорђа Дуканаца**, дипл. инж. електротехнике, под насловом „Испитивање и процена стања изолационог система намотаја статора код великих синхроних турбогенератора“, прихвати као магистарски рад и кандидату омогући усмену одбрану.


У Београду,

3. март 2016. године

Чланови Комисије:


Др Зоран Лазаревић, редовни професор


Др Слободан Вукосавић, редовни професор


Др Жарко Јанда, научни сарадник
Институт Никола Тесла