



УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУНУМ

ДЕПАРТМАН ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

ВЕЋУ ДЕПАРТМАНА ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

Предмет: Извештај Комисије за оцену докторске дисертације кандидата мр Зорице Богићевић.

На основу члана 24. ст. 1. Правилника о начину и поступку пријаве и одбране завршних радова на другом и трећем степену студија на Универзитету "Сингидунум", Веће Департамана за последипломске студије, на седници одржаној 15.07.2014. године, донело је одлуку, број: 1- 1979/2014, којом смо именовани за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације мр Зорице Богићевић, дипл.инж. електротехнике предложене теме докторске дисертације под насловом:

"Развој алгоритма и симулација транзиентних процеса у намотајима трансформатора уз подршку рачунара".

На основу увида у писану електронску/папирну верзију докторске дисертације и документацију кандидата, Комисија подноси Већу Департамана за последипломске студије следећи:

ИЗВЕШТАЈ

Биографски подаци кандидата

Зорица Богићевић је рођена 14.04.1973. године у Косовској Митровици, Република Србија. Основну школу је завршила у Звечану, средњу школу Гимназију "Силвира Томазини", завршила је у Косовској Митровици 15.06.1991. године и стекла диплому занимања, природно математички програмер. Стицањем услова за студирање уписује Електротехнички факултет у Приштини на смеру Енергетика где је дипломирала 20.06.2004. године и стекла звање, дипломирани инжењер електротехнике 2005. године уписала је последипломске студије на Катедри за општу електротехнику на Техничком факултету у Чачку, Универзитета у Крагујевцу. Положила је све испите предвиђене Наставним планом и програмом, са просечном оценом у току студија 10,00 (одличан), 04.07.2007. и стекла услов за одбрану Магистарског рада. Одбранила је Магистарски рад на тему: *"Статистичка анализа неовлашћеног коришћења електричне енергије са циљем спречавања ове појаве"*, дана 28.12.2010 и стекла звање Магистар техничких наука, на смеру Електричне инсталације и нисконапонске мреже.

Од 2008-2011 године Зорица Богићевић је радила на Високој техничкој школи струковних студија у Звечану, као сарадник у настави на предметима Електричне машине, Електромоторни погони и Одржавање електроенергетских уређаја.

У звање предавача на истој институцији изабрана је 30.03.2011.

Од 14.04.2011 године је у радном односу на одређено време на предметима:

1. Електричне машине 1, 2 (Основне струковне студије)
2. Електромоторни погони (Основне струковне студије)
3. Основи електроенергетике (Основне струковне студије)
4. Технички системи управљања ЕЕС и ДЕЕС (Специјалистичке студије)

Зорица Богићевић је удата, има сина и ћерку и живи у Косовској Митровици.

Предмет истраживања дисертације

Осврт на актуелност: Сложени електромагнетни, транзијентни процеси у енергетским трансформаторима догађају се и поред претпоставке о симетричној структури и линеарном карактеру параметара трансформатора и уређаја за регулацију напона. Примена уређаја за регулацију напона врло често погоршава параметре квалитета електричне енергије а укључење кондензаторских батерија у чворовима мрежа или инсталација има за последицу смањење адмитансе у чвору. На посредан начин тако се повећање напона инверзног редоследа основног хармоника и стварају услови за резонантне режиме на фреквенцији која одговара вишим хармоницима. Разликују се краткотрајни процеси, изазвани кратким спојевима или прекидима фаза и дуготрајни настали услед различитих вредности параметара на уређају или у електричној мрежи, непотпуних фазних режима и укључења несиметричних оптерећења.

Досадашња истраживања и анализе утицаја параметара на прелазни процес трансформатора показују да су несиметрије и изобличења напона на крајевима намотаја чиниоци који смањују ефикасност рада трансформатора. Минимално присуство несиметрија у напонима, због малих вредности импеданси инверзног редоследа знатно повећавају активне губитке. За решавање транзијентног процеса било је потребно усавршавање метода за дијагностику у реалном времену.

Теоријска истраживања и симулације су предвиђена и остварена на моделу енергетског трансформатора са пасивним R, L, C параметрима намотаја и уз помоћ метода матричних трансформација за произвољни облик улазног напона на крајевима намотаја. Резултати добијени из модела и одговарајући тестови симулације треба да доведу до верификације предвиђеног модела и алгоритма.

Осврт на научни циљ истраживања и хипотезе у докторској дисертацији

Научни циљ дисертације односио се на испитивање транзиентних процеса уз примену софтверске подршке са функцијом аутоматске дијагностике и корекције режима рада трансформатора у реалном времену.

Модел рада трансформатора у условима када карактер напона и струја одређује максималан број параметара намотаја и магнетног кола може дати више одговора у односу на познате моделе у литератури. За верификацију модела коришћени су подаци на улазу (облик напона и фреквенција) и излазу трансформатора који су у другом кораку, упоређивани са подацима дефинисаним у алгоритму, који је био подвргнут симулацији. Карактеристике поступака моделовања и добијања алгоритма биле су следеће:

- Модел и његова структура се могу претпоставити и унапред јер је дефинисан на бази познатих законитости.
- Параметри модела повезани са реалним параметрима оригинала кроз бројне вредности које не морају бити неки физички параметри или параметри реалног процеса.
- Добијени модел и алгоритми важи за сличне процесе на полифазним трансформаторима.

Решења се могу применити за добијање модела различитих процеса. Параметри имитанси парцијалних елемената које ће модел обухватити могу се изабрати према следећим критеријумима тј. да вредности параметра имитанси:

1. одговарају парцијалним имитансама које су функционалне зависности од параметара укупне отпорности, индуктивност и капацитивности трансформатора и параметара напона система напајања,
2. зависе само од параметара напона система напајања а параметри парцијалних имитанси су константне вредности.

Зато је циљ истраживања у овој дисертацији развој бољих и једноставнијих метода за анализу транзиентних процеса у намотајима трансформатора и добијање алгоритама који ће на бржи и савременији начин понудити одговарајућа решења.

Публиковани радови из ауторових истраживања

Докторска дисертација се ослања на радове 2, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17 у којима су приказани одређени резултати истраживања везани за наговештену тему а остале публикације квалификују кандидата као истраживача одређеног нивоа вредности :

M23 Радови у међународном часопису реферисан у Web of Science

1. Н. Марковић, С. Бјелић, У. Јакшић, **З.Богвићевић**, *Graphical zero-sequence cut-offs method of determining of fault to earth in electrical lines*, IEEE, 9th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering, NEUREL-2008, ISBN: 978-1-4244-2903-5, Бр.каталога: CFP08481-PRT, Универзитет у Београду, стр. 73-76, Србија, Септембар 25-27, 2008.
2. **З. Богвићевић**, С. Бјелић, П. Спалевић и М. Мишић, *Graph-Analytical Method of Determining Impedance in Electrical Transformers*, Mathematical Problems in Engineering, ISSN: 1024-123X , Vol. 2015, Article ID 745629, pp. 11, 2015.

M33 Саопштење са међународног скупа, штампано у целини

3. С. Бјелић, Н. Кречковић, **З.Богвићевић**, Н. Марковић, *Estimation flow current, loss of power and voltage fall down are showing us the usage of PDM Kmp,q applicative program in electrical engineering*, 19.International Conference on Electrical Distribution CIRED 2007, ISSN 1790-5060, Paper 0907, Session 5. Block 4. 2. стр.17-19, Vienna, 21-24 May, 2007, m.delville@cired2007.be.
4. С. Бјелић, **З.Богвићевић**, Н. Марковић, М. Вујичић, *Magnetic Dissipation of Preconnecting Devices of Artificial Sources of Light*, 8th International conference on applied electromagnetics, Faculty of Electronic Engineering of Nis, Универзитет у Нишу, Србија, ПЕС 3-5, Септембар 2007, pes2007@elfak.ni.ac.yu.
5. М. Вујичић, **З.Богвићевић**, В.Лазаревић, *Сагласност статистичке хипотезе са Гаусовом расподелом код неовлашћеног коришћења електричне енергије*, ICDQM-

- 2009, 12-та Међународна конференција, Управљање квалитетом и поузданошћу (International Conference Dependability and Quality Management), ISSN 1451-4966, УДК 658.56, стр.874-882, Београд, Србија, Јун 25-26. 2009, <http://www.dqmcenter.com/>
6. М. Вујичић, З. Богићевић, Н. Марковић, *Analysis of arbitrary replacement of the main fuses with higher rated fuses than the agreed-power*, ICDQM-2011 (International Conference Dependability and Quality Management), 2nd International Conference, Life cycle engineering and management, ISBN 978-86-86355-06-5, стр. 263-268, Београд, Србија, Јун 29-30. 2011. <http://www.dqmcenter.com/>
7. М. Вујичић, Д. Марјановић, З. Богићевић, *Operational strategic mapping in the process of production and distribution of electricity*, ICDQM-2011 (International Conference Dependability and Quality Management), 2nd International Conference, Life cycle engineering and management, ISBN 978-86-86355-06-5, стр. 94-100, Београд, Србија, Јун 29-30. 2011. <http://www.dqmcenter.com/>
8. М. Вујичић, Д. Марјановић, З. Богићевић, *Application of balanced scorecard method to improve the processes in the sector of energetics*, ICDQM-2012 (International Conference Dependability and Quality Management), 3rd International Conference, Life cycle engineering and management, ISBN 978-86-86355-06-5, стр.117-121, Београд, Србија, Јун 28-29. 2012. <http://www.dqmcenter.com/>
9. М. Вујичић, Д. Марјановић, З. Богићевић, *Energy production and distribution process improvement using the 5S methodology*, ICDQM-2013 (International Conference Dependability and Quality Management), 4th International Conference, Life cycle engineering and management, ISBN 978-86-86355-06-5, стр. 245-250, Београд, Србија, Јун 27-28, 2013, www.dqmcenter.com/
10. З. Богићевић, Н. Марковић, П. Спалевић, М. Вујичић, *Development of the algorithm for calculation of transformer magnetic circuit*, Proceedings of International Conference Dependability and Quality Management ICDQM-2015, ISBN: 978-86-86355-19-5, pp. 270-277, Belgrade, Serbia, June 25-26, 2015.
11. З. Богићевић, П. Спалевић, С. Бјелић, М. Мишић, *Application of computer simulation in elementary theory of transformers*, Proceedings of International Conference Dependability and Quality Management ICDQM-2015, ISBN: 978-86-86355-19-5, pp. 278-283, Belgrade, Serbia, June 25-26. 2015.
12. Слободан Бјелић, Зорица Богићевић, *Computer Simulation of Theoretical Model of Electromagnetic Transient Processes in Power Transformers*, International Journal of Information Technology and Computer Science-IJITCS, DOI: 10.5815/ijites, ISSN: 2074-9015, Vol 6, Nr.1, pp:1-12, Pub, date: 2013-12-1, December 2013, <http://www.mecs-press.org/ijites/v6n1.html>, <http://www.mecs-press.org/ijites>.
13. Слободан Бјелић, Зорица Богићевић, *Calculation of Overvoltage and Estimation of Power Transformer's Behavior when Activating the Reactors*, International Journal of Information Technology and Computer Science-IJITCS, DOI: 10.5815/ijites, ISSN: 2074-9015, vol.6, nr.12, PP.67-73, Pub. Date: 2014.1.09., <http://www.mecs-press.org/ijites/v6n1.html>, <http://www.mecs-press.org/ijites>
14. Ненад Марковић, Слободан Бјелић, Јерослав Живанић, Зорица Богићевић, *Analysis and Estimation of Values of Currents and Voltages at the Disturbances in Induction Machine Using Tested Matlab Simulation*, International Journal Intelligent Systems and Applications-IJISA, ISSN: 2074-904X (Print), ISSN: 2074-9058 (Online), DOI: 10.5815/ijisa, Vol.7, No.1, PP.1-8, Date:08.12.2014, <http://www.mecs-press.org/ijisa/>, 2014.

15. Слободан Бјелић, Зорица Богићевић, An investigation of the ability of Combined zero – sequence *cutoff protection in line high voltage*, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), ISSN: 2248-9622/ijera, volume4, issue6(version1), paper11, pp:62-66, date: june 2014, www.ijera.com
16. Зорица Богићевић, Слободан Бјелић, Петар Спалевић, Бојан Прлинчевић, *Generating Control Signals In The Electro-Energy Networks Using Passive Elements*-Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology-JMEST, ISSN: 3159-0040 , Vol.1, Iss.4 , pp.248-253, Paper ID: JMESTN42350161, 2014.
17. Милан Мишић, Зорица Богићевић и Слободан Бјелић, *Electrodynamic Forces between Electrical Conductors and Cylindrical Magnetic Shields*, BJME, ISSN: 2231-0843, British Journal of Applied Science and Technology, Volume 11, Issue 4, pp1-11, 2015, DOI: <http://dx.doi.org/10.9734/bjast> (Link)

М52 Радови у водећем часопису националног значаја

18. З.Богићевић, М. Вујичић, Н. Марковић, *Статистичка анализа неовлашћеног коришћења електричне енергије*, Иновације и развој, Институт за рударство и металургију, YU ISSN 0353-2631, УДК 351.824.11:621.317(045)=861, Број 2, IR-2/2009, стр. 121-130, Бор, година 2009.

М51 Радови у водећем часопису националног значаја

19. М. Вујичић, З.Богићевић, Н. Марковић, Д. Радосављевић, *Примена статистичке методе на проблем неовлашћеног коришћења електричне енергије мимо мерног уређаја*, Енергија економија екологија, Лист Савеза енергетичара, ISSN бр. 0354-8651, УДК: 620.9, бр. 4, стр. 35-38, Београд, Децембар 2010.

М63 Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини

20. М. Вујичић, Н. Марковић, З.Богићевић, *Цртање шема електричних инсталација помоћу програма Mechanical Desktop Power Pack 6*, Техничко образовање у Србији, ТОС 2006, УДК: 004.42МЕCHANICAL DESKTOP, ISBN 86-776-024-5, COBISS.SR-ID 130164236, стр. 531-536, 13.-16. Април, Чачак2006.
21. С. Бјелић, З.Богићевић, Н. Марковић, *Одређивање оптималне вредности напона на излазу стабилизатора у електричним мрежама јавне расвете*, 15. Телекомуникациони форум, ТЕЛФОР 2007, ISBN 978-86-7466-301-1, стр. 467-469, Београд, Србија, Новембар 2007, www.ini.co.yu/telfor2007.
22. З.Богићевић, С.Бјелић: *Виши хармоници као последица нелинеарности предстојних пригушница код светлосних извора*, 15th Међународни Телекомуникациони Форум 2007. ТЕЛФОР 2007, Лоз.100902,Секц.7 (А-ЕЕ) IEEE Work 7.10.Proceedings, ISBN 978-86-7466-301-1, стр.470-472,Сава Центар,Београд, Србија, Новембар 2007, www.ini.co.yu/telfor2007.
23. З.Богићевић, Н. Марковић, М. Вујичић, С. Бјелић, *Мултимедијална презентација вештачких извора светлости помоћу програма Microsoft Office Powerpoint*, Техничко информатичко образовање, ТИО 2008, УДК: 004:371.355, ISBN 978-86-7776-062-5, COBISS.SR-ID 148397068, стр. 532-536, 09-11.Мај, Чачак, 2008, tio@tfc.kg.ac.rs.

24. Н. Марковић, З. Богићевић, М. Вујичић, *Основе web дизајна-web домен*, ТИО, Техничко информатичко образовање, ISBN 978-86-7776-062-5, COBISS.SR-ID 148397068, УДК: 004:371.3, стр. 566-571, 09-11. Мај, Чачак, 2008, tio@tfc.kg.ac.rs.
25. С. Бјелић, З. Богићевић, Н. Марковић, *Утицај зонских фактора међусобне рефлексије код пројектовања осветљености ентеријера*, ВТШ Урошевац, ISSN 1542-8029, COBISS.SR-ID 138409484, стр. 49-55, Звечан, 2006, vts.uros@sezampro.rs.
26. Н. Марковић, С. Бјелић, М. Вујичић, З. Богићевић, *Рачунање коефицијената конфигурације и облика помоћу методе зонских простора*, ВТШ Урошевац, ISSN 1542-8029, COBISS.SR-ID 138409484, стр. 161-166, Звечан, 2006, vts.uros@sezampro.rs.
27. М. Вујичић, З. Богићевић, Н. Марковић, Д. Радосављевић, *Користићење електричне енергије самовласним прикључењем објекта, инсталације или уређаја на електроенергетски систем*, ВТШСС Урошевац, ISSN 2217-4362, COBISS.SR-ID 180514828, стр. 66-75, Звечан, 2010, vts.uros@sezampro.rs.
28. С.Бјелић, З.Богићевић, *114. година Електроенергетике Србије, 84.година оснивања ЦИГРЕ и 54.године оснивања Националног комитета ЦИГРЕ*, ФТН Косовска Митровица, ISBN 978-86-80839-13-6, COBISS.SR-ID 138409484, стр. 223-231, 19-20. Април 2007, office@ftnkm.info.
29. З.Богићевић, Н. Марковић, С. Бјелић, М. Вујичић, *Одсјај светлосних извора у окружењу екрана као вредност која угрожава животну средину*, ФТН Косовска Митровица, I округли сто са међународ ним учешћем-Заштита животне средине у индустријским подручјима, ISBN 978-86-80839-13-6, COBISS.SR-ID 139391756, стр. 330-335, 19-20. Април 2007, office@ftnkm.info.
30. З. Богићевић, Н. Марковић, М. Вујичић, *Симулација математичког модела прелазних процеса код мотора једносмерне струје*, 17th DQM (Dependability and Quality Management) International Conference, Upravljanje kvalitetom i pouzdanoscu-ICDQM-2014, ISBN 978-86-86355-16-4, str.573-580, Београд, Србија, Јун 27-28. 2014. www.dqmcenter.com/
31. Слободан Бјелић, Ненад Марковић, Зорица Богићевић, Урош Јакшић, *Метод за решавање прелазних процеса при прекиду две фазе у електричним мрежама*, ISSN: 2217-4362, Nr. 3, pp. 135-144, COBISS.SR-ID 216426252, 2015.

Примењене методе и апликација резултата

Методи који су наговештени за примену и били примењени у истраживању су:

- методи класичне примењене математике за решавање диференцијалних једначина у временском и комплексном домену,
- методи теоријске електротехнике - претежно матрични метод за решавање парцијалних електричних кола са дефинисаним параметрима,
- методи статистичке обраде резултата мерења. На основу добијених резултата, методама математичке статистике, приступиће се оцењивању и
- анализе корелација две случајне променљиве. Појаве су повезане ако раст прве прати раст друге и обрнуто. По распореду тачака у дијаграму потврђује се
 - постојање и одређена стохастичка зависност променљивих (корелација);
 - постојање и одређена корелација за линеарну или нелинеарну зависност;
 - постојање и интензитет корелација.

У односу на добијене алгоритме и програме подршке најављен је и састављен у софтверски пакет MATLAB симулације са детаљним описом поступка испитивања утицаја параметара на транзиентни процес у намотајима трансформатора.

Метод уређеног моделовања (*organise modeling) односи се на планиране математичке, графичке, рачунарске и друге операције за анализу и оцену различитих варијанти оригинала који је у овом случају енергетски трансформатор. Од уређених модела у теорији техничких система били су на располагању и примењени су :

- Математичко информатички модел хијерархијске структуре у коме се међусобне везе описане системом математичких једначина,
- Графо-аналитички модели представљени графицима и дијаграмима, матрицама и табелама. Презентације воде ка анализи, разлозима за оцену и оцену, симулацију процеса и поређење са процесима на оригиналу.
- Физички и комбиновани модели у које су укључени параметри физичких модела,
- Модели симулације експеримената који су иначе планирани за реализацију у лабораторијама а могу се проиграти у неком софтверу за симулацију. Припреме софтвера у методу организованог пројектовања је позната као предпроцесирање.

Научна област очекивани резултате докторске дисертације

Докторска дисертације: "Развој алгоритма и симулација транзиентних процеса у намотајима трансформатора уз подршку рачунара", припада области Електроинжињеринга, ужа научна област Теоријска и општа електротехника.

Најављена истраживања и симулације обухватила су следеће резултате:

1. Истражени утицаји значајних параметара трансформатора на вредности напона и струја у транзиентном процесу.
2. Добијени довољно тачни алгоритми који су примењени у решавању матричних модела транзиентног процеса.
3. Оцењени примењени методи помоћу успостављених критеријума.
4. Анализирана ограничења и грешке у примени развијеног метода, алгоритма, добијених програма и симулације транзиентних процеса.

Структура и обим докторске дисертације

Докторска дисертација "Развој алгоритма и симулација транзиентних процеса у намотајима трансформатора уз подршку рачунара" је писана српским ћириличним писмом и садржи 188 страница, 100 слика, 12 табела 40 графикона и фрагмената у виду шема и фотографија. Писани део садржи списак слика, списак табела, списак симбола, увод, пет поглавља, закључак, и списак од 73 референце.

Поглавља носе наслове:

1. Осврт на узроке и последице транзиентних напона и параметре који теоријски дефинишу карактер напона на крајевима намотаја трансформатора.
2. Расподела напона дуж намотаја у нормалним и транзијентним процесима.

3. Алгоритми нормалног и транзијентног стања енергетског трансформатора.
4. Верификовање добијених алгоритама методама вештачке интелигенције - проверене симулације и приказ добијених резултата.
5. Прилози уз рад (6 прилога).

У уводу је образложена актуелност теме истраживања, формулисани су циљ и задаци дате опште карактеристике реализације задатака, основне претпоставке које се односе на предмет истраживања у дисертацији од којих и она да прелазни процеси настају и онда када је трансформатор напајан из спољног извора симетричних фазних напона и има симетричну структуру и линеарне параметре у колу.

Оцењено је да досадашња истраживања и анализе утицаја параметара на прелазни процес трансформатора показују да су несиметрије и изобличења напона на намотајима, значајни чиниоци који смањују ефикасност рада трансформатора. Образложено је зашто је један од важнијих задатака у моделовању енергетских трансформатора, оцена транзијентних електромагнетних процеса. За успешно решавање задатка било је потребно остварити сличност процеса у електромагнетном пољу између модела и оригинала трансформатора као и усавршавање и постојећих и развој нових метода за дијагностику транзијентних процеса електромагнетног поља у оригиналу и моделу у реалном времену уз поштовање критеријума сличности оригинала и математичког модела. Присуство несиметрија због малих вредности импеданси инверзног редоследа повећавају активне губитке.

Наглашено је да не постоји универзални математички модел решавања транзијентних стања на намотајима и у магнетном колу због различитих поремећаја или атмосферских пражњења али приближни начин решавања се може успоставити по аналогији са транзијентним процесима на водовима

Моделу процеса у електричним уређајима са сложене геометријом спољних и унутрашњих граница, због присуства већег броја суб-области које имају различите електричне, магнетне и електростатичке карактеристике се решавају помоћу мрежних метода чија је модификација метод коначних елемената. Суштина методе је тестирање апроксимација решења диференцијалних једначина са коначним бројем линеарних комбинација пробних облика функција. Задатак је да се одреди приближно решење у коначном простору кроз континуирано решавање у бесконачном n -димензионом функционалном простору. Оцењено је да непосредна анализа у комбинованим колима са расподељеним параметрима и гломазном математичком моделу није увек могућа јер тражене вредности зависе од многих фактора и услова из претходног стања у коме се налазио анализирани елемент.

По критеријуму физичке сличности процеси, појаве и утицаји на моделу имају исту физичку природу као на оригиналу. По критеријуму математичке сличности, процеси на моделу и оригиналу имају различиту физичку природу али их описују, по облику, једнаке једначине (математичке: алгебарске, диференцијалне и друге).

Због утицаја нелинеарности и хетерогности средине, у физичком или математичком моделовању транзијентних процеса у трансформаторима користе се допунски услови. По овим условима и критеријуму сличности морају се поклонити одговарајуће релевантне карактеристике нелинеарних елемената присутних у конструкцији трансформатора а постоји и допунски услов који омогућава да се повећа број независних променљивих.

Аутор наводи два основна метода заснована на критеријуму сличности су: метод интегралне аналогије и метод заснован на димензионој анализи.

Први поступак изведен је из Furie-ових правила које је засновано на хипотези да сви чланови једначине која описује процес имају исту димензију.

Према другом, заснованом на димензионој анализи критеријуми сличности дефинисани су ако се узму у обзир параметри који карактеришу појаву и установи њихов број (m). Затим се састави n - димензиона матрица параметара и утврди број независних (k) параметара.

При анализи процеса у трансформаторима се углавном моделују електрична и магнетна поља у домену простора, који својим геометријским димензијама заузима трансформатор или његова електрична шема.

Алгоритам за прорачун и оцену претставља изабрани математички поступак помоћу кога се решавају стања на трансформатору у нормалном раду или поремећајима. Hevisajd-овим или неким другогим развојем и одговарајућим једначинама може се формирати алгоритам функционалне зависности транзиентних струја и напона у намотајима. Формирани алгоритам се користи за одређивање потребних величина и параметара у временском домену. Анализе се допуњују резултатима из прорачуна помоћу изабраног софтверског пакета (у овој дисертацији то је пакет MATLAB и за њега изабрани параметри).

Карактер прелазних процеса у трансформаторима у првом реду одређује магнетно коло. Правилни приступ у решавању процеса у магнетним колима који води ка тачним резултатима исправно постављене једначине електромагнетног поља и тачно познавање параметара које се односе на физичке особине материјала.

Решавање прелазних процеса у магнетним колима трансформатора отежавају утицаји магнетне инерције - хистерезе и нелинеарне зависности величина односно нелинеарни параметри материјала. Зависно од услова у којима се одвија магнећење материјала најчешће се користе функције кривих магнећења облика правоуганика дефинисаног са два пара изломљених линије или облика елипсе или у коначном у опсегу линеарног дела криве магнећења. Методи за решавање транзијентних процеса су аналитичко апроксимативни и нумерички.

Затим аутор наводи да, су у општем случају, диференцијалне једначине нелинеарних електричних и магнетних кола аналитички нису решиве. Само за мањи број примера, када се могу користити простије апроксимативни изрази постоји адекватно аналитичко решење. Због тога је у математици развијен низ посебних приближних аналитичких и графичких метода који се користе за решавање нелинеарних диференцијалних једначина првог и другог реда у електричним и магнетним колима трансформатора. У развијеним рачунарским пакетима најчешћи примењивани нумерички методи су: метод Euler – Коша и метод Runge – Kutta. А

Наведен је преглед примењених аналитичких функција у транзијентном процесу чије решавање се своди на решавање диференцијалних једначина првог реда за електрична кола које садрже изванредан број активних отпорности и реактивних елемената: графички, аналитички и графо – аналитички методи.

Испитана је могућност примене ове три методе а истраживања су остварена на моделима трансформатора са пасивним R , L , C параметрима и нових параметара намотаја и магнетног кола у односу на произвољни облик улазног напона који садржи синусне облике основног и виших хармоника и утицај нелинеарности. Теоријски

результати добијени из модела и одговарајући тестови симулације довели су до верификације новог алгоритма транзијентног процеса. Посебна пажња поклоњена је примени графо-аналитичких метода.

Поред систематизације узрока појаве тразијентних напона да би се објасниле последице тразијентних процеса на које утичу и параметри намотаја и магнетног кола, размотрена је расподела напона дуж намотаја, дефинисан алгоритам који садржи недостајуће параметре у односу на досадашње математичке моделе. Сви поступци у претходна три и у последњем поглављу добијени алгоритам су верификовани методом проверене симулације и дат је графички и табеларни приказ свих добијених резултата.

Детаљне карактеристика наведене листе метода су описане у посебним поглављима дисертације, у анализи транзијентних процеса електричних и магнетних кола трансформатора која садрже неллинеарне елементе. За анализу су коришћени аналитички, графо-аналитички и графички и нумерички методи и метод проверене симулације. Могућност примене аналитичких и графоаналитичких метода наговештена је у раду [1], када су презентовани и одређени резултату. У међународним часописима стручној и научној јавности кроз прегледне радове презентовани су резултати истраживања из дисертације у облику табела и дијаграма.

У **првом делу** првог поглавља анализиран је преглед досадашњих истраживања која су везана за прелазне процесе код енергетских трансформатора. Проводници у трансформатору, са дефинисаним проводним и магнетним параметрима, изложени су деловању електродинамичких сила и треба да буду тако димензионисани да ове силе не могу да изазову деформације и трајна оштећења.

У **другом делу** истог поглавља размотрени су утицаји несиметричних компоненти и хармоника и начини да се они спрече. Показано је да због таквог ефекта електродинамичке силе у структурама са омотачима који обухватају проводнике само једне фазе уопште не делују на проводнике него само на омотач.

Истраживања у поглављу 2 имају за резултат решења транзијентних процеса у еквивалентним магнетним и електричним колима трансформатора.

Анализа решења омогућила је да се оцени утицај параметра на транзијентне процесе у еквивалентним колима. Подаци који су служили за решавање су коефицијенти параметара и почетни и гранични услови. У овом поглављу је представљен и теоријски модел и примењена аналитичка метода за прорачун нормалног и прелазног процеса у електричним и магнетним колима а трансформатор еквивалентиран расподељеним параметрима. Прорачуном су обухваћени утицаји параметара на транзијентни процес у трансформатору. Промена било ког параметра у колу захтева нови прорачун стања кола од почетка. Међутим, за стварање било ког модела прорачуна потребан је основни модел који је увек аналитички који произилази из теорије али се у њему најбоље стичу предзнања. Такав модел је и развијен у овом поглављу уз критеријум прилагођавања новим тенденцијама у теорији и знањима, а крајњи резултат је стварање модела кола који презентује реалне прелазне процесе.

У **трећем делу** овог поглавља теоријски је разматран и потврђен утицај вртложних струја насталих у омотачу проводника. Потврђено је да вртложне струје знатно смањују интензитете магнетних поља које стварају струје у фазним проводницима.

У физичком смислу, простор трансформатора описују утицаји величина магнетног поља. Те величине су коришћене за израчунавање расипних енергија из које је одређена расипна реактанса потребна за одређивање струја односно сила које настају у екстремном транзијентном стању. Добијене вредности сила су веома важан податак за проверу механичке отпорности намотаја.

Аналитичким поступком, у овом поглављу су кроз даља разматрања са довољном тачношћу, одређени важни параметри несиметрије за транзијентна стања са изобличеним синусним обликом основних хармоника напона и струја који утичу на стварање допунских губитака у енергетском трансформатору.

Трећи део дисертације обухвата рачунарску симулацију теоријског модела електромагнетних прелазних процеса код енергетског трансформатора и анализу и оцену понашања изабраног модела трансформатора у прелазном процесу. Теоријски модел односи се на енергетски трансформатор са концентрисаним параметрима уз уважавање параметра међусобне индуктивности.

Симулација је изведена помоћу програмског пакета MATLAB. Применом рачунарске симулације, динамичког понашања енергетског трансформатора, при прелазним процесима, потврђена је веродостојност постављеног теоријског модела у различитим режимима рада. Посматран је симетричан систем оптерећења, а промене величина и параметара су уврштене у матрични систем диференцијалних једначина.

У овом поглављу су описане функције и математички поступци, који су верификовани добијањем оригиналног алгоритма који може да прихвати већи број променљивих параметара. У програму Matlab било је потребно направити алгоритам за прорачун према успостављеној методи.

Основа за одређивање алгоритма је класична анализа транзијентног процеса оптерећеног и неоптерећеног трофазног трансформатора Yd11. Симулација замењује типска испитивања на свим трансформаторима са квазисиметрично постављеним намотајима, а у овом моделу је уврштен и утицај нулте компоненте флукса.

У четвртном поглављу је приказан оригинални графоаналитички метод за одређивање импедансе извора мерењем струја и напона на два, по карактеру, различита оптерећења. Метод је применљив за одређивање импеданси извора или трансформатора малих снага и струјних трансформатора.

За разлику од класичних огледа кратког споја и празног хода који су дефинисани за два екстремна режима у овом поглављу је описан метод заснован на мерењима блиским нормалном режиму: пасивни параметри трансформатора се одреде из струја и напона изабраног активног и реактивног оптерећења (капацитивног/индуктивног). Експеримент је симулиран у изабраном софтверском пакету Matlab-у.

Графоаналитички метод је примењен за одређивање импедансе трансформатора тј. за одређивање активних и индуктивних параметара. На овај начин се могу одредити и његове импедансе када спољни извор генерише високе фреквенције, односно у условима транзијентних процеса. На крају овог поглавља описана су запажања која произилазе из добијених резултата.

У петом делу дисертације кроз прилоге чији је кратак садржај приказан у наставку, аутор је приложио досадашње чињенице, тврдње као темељ за добијање предложеног модела.

Адекватан модел трофазног трансформатора је један од важних елемената у програмима за анализу прелазних процеса код електроенергетског система. У првом и

другом делу дисертације кроз аналитичке методе потврђено је да транзијенти процес у трансформатору описују електричне величине у временском домену: напони -- v , струје -- i и снаге -- p , и магнетне: флуks у магнетном колу Φ и расу ти флуksеви Φ_T . Те величина садржане су моделу и у алгоритму 2 анализирана процеса за:

П.1.1. процес у трансформатору са линеарном и

П.1.2. процес у трансформатору са нелинеарном карактеристиком магнетноћа.

П2. Развој алгоритма магнетног кола трансформатора

Разматран је модел прелазног процеса при укључењу трансформатора а добијени алгоритам је примењен у симулацији процеса у изабраном софтверском пакету Матлаб. Магнетно језгро трансформатора образују квалитетни лимови са високом вредношћу пермеабилитета, мале вредности фактора хистерезе, јединичних губитака и струја магнетноћа.

П3. Алгоритми помоћу којих су верификована истраживања (општи поступци решавања једног проблема/класе проблема) који после коначног броја једнозначних корака даје решење проблема (или показује да је проблем нерешив). Приказана су два начина израчунавања важних перформанси трансформатора у П3.1.Први начин: и у П3.2.Други начин

Изведена је и статичка анализа сигурности која се састоји у оцени ефеката посебних поремећаја у магнетном колу у стационарном режиму трансформатора:

Другим речима, врши се провера да ли после промене режима рада трансформатора долази до одступања губитака у гвожђу. Та систематска анализа назива се "*анализа поремећаја*", или просто "*анализа сигурности*".

П.4.Развијен и приказан алгоритма електричног кола трансформатора.

П.5. Развијен је алгоритма термичких напрезања трансформатора уз примену критеријум дозвољених термичких напрезања).

П.6. Предложени критеријуми за поуздан рад трансформатора

Сигурност трансформатора је примарни циљ у свим могућим стањима, а економичност је од интереса само у нормалном радном режиму.

Познато је да се при пројектовању трансформатора издваја се његов нормални рад, нормално стање, и прелазни процес – транзијентно стање – поремећаји у раду. У нормалном режиму честа су и потенцијално опасна стања која прелазе у поремећаје. Ако се догоди да су ограничења код магнетног кола задовољена, а у електричном колу нису, трансформатор се би се нашао у хаваријском стању.

Главни услови за нормалан рад трансформатора су: добар прорачун магнетног кола и електричног и добар топлотни прорачун трансформатора. Управљање у нормалном режиму има превентивни карактер и основни циљ да се спречи појава нежељених догађаја који би нарушили тај нормални режим рада.

На крају рада су закључак и списак коришћене литературе.

ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ И АУТОРОВИ ДОПРИНОСИ

Комисија закључује да докторска дисертација мр Зорице Богићевић, дипл. инж. има све квалитете истраживачког рада, да садржи оригиналне научне резултате и доприносе у анализи прелазних процеса у енергетским трансформаторима који су у предњем делу извештаја образложени. Основни резултати теоријских, практичних и симулираних експерименталних истраживања у дисертацији своде се на :

- верификацију нових поступака за анализу транзијентних процеса у енергетским трансформаторима.
- формулисан нови приступ за смањења мерних несигурности у математичком моделу који ће омогућити корекције аналитичких поступака.
- показано је да несиметрије у дистрибутивној мрежи могу имати знатне утицаје на транзијентне процесе.
- уведене су нове мерне методе које су засноване на дигиталном процесирању.
- добијени сви задати алгоритми прелазних процеса који одређују све значајне електричне величине.
- У истраживачком поступку развијени су математички и симулациони модели засновани на матричним трансформацијама а добијени резултати су публиковани и претстављени научној и стручној јавности.

Већи део изложених резултата дисертације је публикован у часописима и конференцијама међународног значаја [2, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17].

Осам радова: 2, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17 настали су после прихватања теме докторске дисертације, у којима су приказани важни накнадни резултати истраживања, од којих је рад 2 (M22) објављен у часопису на Thomson-Reuters SCI листи, радови 13, 14 и 17 на DOI листи а радови 10, 11, 15 и 16 у зборницима међународних часописа и скупова (M33).

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Кандидат мр Зорица Богићевић, дипл. инг. електротехнике, испуњава све потребне услове који се захтевају Законом о високом образовању и Статутом Универзитета Сингидунум у Београду, за одбрану докторске дисертације. Урађена докторска дисертација испуњава све потребне формалне и суштинске услове који се захтевају Законом о високом образовању и Статутом Универзитета Сингидунум у Београду.

Добијени и публиковани резултати истраживања су од значаја са научног становишта јер представљају нови приступ решавању проблема електромагнетних прелазних процеса у намотајима енергетских трансформатора. Део резултата је верификован кроз симулације изведене са сопствено развијеном софтверском подршком. Резултати су публиковани у међународним часописима и научним скуповима у земљи и иностранству.

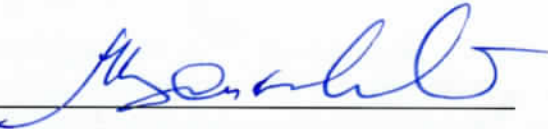
С обзиром на актуелност проблематике која је обрађена и остварене резултате, чланови Комисије предлажу Већу департмана за Последипломске студије Универзитета Сингидунум, да прихвати оцену комисије о писаном делу дисертације под насловом “Развој алгоритма и симулација транзијентних процеса у намотајима трансформатора уз подршку рачунара“, и да кандидату мр Зорици Богићевић одобри усмену одбрану.

У Београду, Фебруар 2016. године

Чланови комисије

1. 

Проф. др Петар Спалевић, редовни професор, Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, Факултет Техничких наука и Универзитет Сингидунум Београд, Технички факултет.

2. 

Проф. др Младен Венковић, редовни професор, Универзитет Сингидунум, Факултет за информатику и рачунарство.

3. 

Проф. др Слободан Бјелић, редовни професор, Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, Факултет Техничких наука.