

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполняющий обязанности ректора
 Федерального государственного
 бюджетного образовательного учреждения
 высшего образования «Московский
 государственный технический университет
 им. Н.Э. Баумана»

— _____ М.И. _____ рдин
 «__» _____

О Т З Ы В

ведущей организации

на диссертационную работу Снитько Ирины Сергеевны «Разработка методики расширенного поверочного расчета в САПР силовых трансформаторов на базе имитационных моделей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12. – Системы автоматизации проектирования (электротехника, энергетика).

Актуальность темы диссертации

Силовые трансформаторы (СТ) являются важнейшим элементом распределительных сетей электроснабжения. Их параметры и характеристики в установившихся и переходных режимах в значительной степени определяют надежность и эффективность работы всей сети. В современных условиях широкое использование современных средств САПР при проектировании СТ позволяет сократить процесс их разработки, оформления конструкторской документации, уменьшить количество ошибок в проектах, сократить сроки и стоимость работ, повысить их качество.

При наиболее широко используемом на данный момент модульном построении САПР важнейшей ее частью является подсистема расчетов и инженерного анализа, осуществляющая моделирование, оптимизацию и поверочный расчет СТ. Известные к настоящему времени подходы к построению таких подсистем не обладают универсальностью и, как следствие, имеют

ограниченное применение. Зачастую они базируются на расчетных соотношениях с коэффициентами, значения которых определены опытным путем и поэтому могут быть достоверными лишь для конкретного производства, а их программная реализация затруднена.

Таким образом, учитывая сказанное, можно утверждать, что диссертационная работа Снитько И.С. является, безусловно, актуальной, поскольку в ней решается важная для теории и практики задача разработки универсальной САПР СТ доступной широкому кругу проектных организаций и предприятий, включая малый и средний бизнес, специализирующихся на проектировании и производстве трансформаторов. Решение этой проблемы получено при широком использовании современных средств и методов имитационного моделирования на оригинальных моделях, позволяющих проводить поверочные расчеты параметров СТ, анализировать их работу в типовых режимах в составе распределительных сетей.

Анализ содержания диссертации – основные результаты

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 123 наименования, и приложения, содержащего три акта внедрения.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, описана степень ее разработанности. Сформулирована цель диссертационной работы, определены объект и предмет исследования, представлены методы достижения поставленной цели, результаты, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрено современное состояние САПР силовых трансформаторов и в особенности проблемы определения параметров КЗ СТ. Кроме того проведен обзор существующих методик анализа режимов работы трансформатора, в том числе с учетом возможной несимметрии. Также рассмотрены вопросы, связанные с моделированием магнитного поля вне магнитопровода, имитационным моделированием СТ и участков ЭС. В заключении главы сформулированы задачи диссертационной работы.

Глава хорошо написана, свидетельствует о глубоком знакомстве автора с предметом исследования, его спецификой. Основным её итогом можно считать обоснование вывода о необходимости создания САПР СТ в открытой стандартной программной среде и доступной широкому кругу пользователей. Это предполагает разработку уточненных математических моделей СТ для использования в подсистемах поверочного расчета в составе САПР, в основу которых положен глубокий анализ физических процессов в рабочих и аномальных режимах работы.

Вторая глава посвящена разработке имитационной модели СТ для анализа установившихся и переходных режимов работы. Подробно описаны методики определения уточненных параметров СТ с учетом взаимного влияния полей вне магнитопровода (индуктивности обмоток и сопротивление поля нулевой последовательности). При сравнении двухмерных и трехмерных моделей расчета магнитного поля при определении параметров СТ обоснована возможность использования более простых двухмерных моделей, которые обеспечивают приемлемую точность при большем быстродействии. Уточненные параметры СТ использованы автором в разработанных имитационных моделях и позволяют более полно учитывать физические явления, происходящие в исследуемом объекте.

К основному результату этой главы можно отнести то, что предложенные автором имитационные модели с учетом методик определения их параметров, могут быть использованы, как на стадии проектирования трансформаторов и энергосетей, так и на стадии их эксплуатации. Их применение позволяет оптимизировать режимы эксплуатации трансформаторного оборудования электросетей и прогнозировать последствия аварийных режимов работы.

В третьей главе приведены результаты программной реализации и апробации разработанных имитационных моделей применительно к реальному силовому трансформатору при известных его паспортных данных.

Отклонения результатов анализа установившихся режимов с применением разработанных моделей от значений, полученных в результате приемо-сдаточных испытаний трансформатора, не превышают 5%, что можно признать приемлемым для инженерной практики. Приведены результаты и исследования переходных процессов в режимах холостого хода и короткого замыкания трансформатора. При их анализе дано объяснение расхождению по мгновенным значениям тока холостого хода, полученных с использованием традиционного подхода и методики, предложенной автором. Отмечено, что в частном случае режима трехфазного короткого замыкания результаты применения двух методик практически идентичны. Доводы автора убедительны и с ними можно согласиться.

Новизна и практическая значимость полученных здесь результатов очевидна и сомнений не вызывает. Калибровка моделей по существующим достоверным методикам, а также сравнение результатов моделирования с результатами испытаний, подтверждают адекватность предлагаемых методик и моделей. Тем не менее, выводы этой главы были бы еще более убедительными при наличии результатов экспериментальных исследований исследуемого автором трансформатора в динамических режимах работы.

В четвертой главе описана разработанная подсистема расширенного поверочного расчета САПР СТ, организованная в форме автономного листа рабочей книги Microsoft Excel. Кроме того, определено место расширенного поверочного расчета в составе САПР, а также сформулирована методика проектирования с использованием существующей САПР СТ, реализованной с использованием модульного принципа.

Расширенный поверочный расчет проводится как имитационный эксперимент с применением описанных ранее моделей с использованием пакета MatLab Simulink, а также программы реализации численного эксперимента, реализующей серии расчетов магнитного поля и обработку полученных результатов.

Следует отметить, что предложенная автором в этой главе методика создания программ для генерации произвольных полевых моделей и реализации серий численных расчетов адаптирована под типовую квалификацию инженера-проектировщика.

В заключении приведены общие выводы по работе, а также отмечено, что цель диссертации достигнута, решены все поставленные задачи. Отмечено также, что разработанные методики и модели позволили осуществить расширение функционала существующей САПР СТ, что позволит получить более качественный продукт, дополненный подробной информацией о его параметрах и особенностях работы в реальных электрических сетях.

Научная новизна определяется следующими наиболее значимыми результатами:

1. В составе САПР СТ реализован параметрический генератор конечно-элементной модели для расчета полей вне магнитной системы трансформатора, а также модуль расчета матрицы индуктивностей по результатам полевых расчетов, предназначенные для расширенного анализа режимов работы устройства на всех стадиях его жизненного цикла.

2. Разработана оригинальная подсистема расчета установившихся симметричных, несимметричных (в том числе и аварийных) режимов работы СТ, интегрированная в САПР СТ, позволяющая снизить затраты на проведение натуральных испытаний СТ за счет имитации планируемых экспериментов на стадии проектирования и своевременного анализа их результатов.

3. Создан модуль имитационного моделирования СТ, с использованием которого предложена новая подсистема расширенного поверочного расчета в составе САПР СТ, позволяющая анализировать режимы работы трансформатора с учетом особенностей конкретной энергосистемы.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы подтверждается их полным соответствием общепризнанным представлениям о физических процессах в силовых трансформаторах, большим объемом корректно поставленных экспериментальных исследований и их данными, подтвердившими

достаточно высокую сходимость результатов экспериментов и теоретических исследований, а также работоспособностью предложенных технических решений при их внедрении на реальном оборудовании. По результатам работы получено три акта внедрения.

Значимость для науки и производства полученных автором результатов

Теоретическая значимость полученных автором результатов, прежде всего, состоит в том, что они расширяют знания об электромагнитных процессах в СТ. На этой основе обоснованы новые методики определения их параметров, исследования нормальных и аварийных режимов работы, реализованные в имитационных моделях в составе САПР.

Разработанные в рамках работы модели и средства могут быть использованы при проектировании силовых трансформаторов для организации численного эксперимента. Особую практическую значимость имеет подсистема расширенного поверочного расчета в составе САПР СТ. Ее использование позволяет проводить достоверный анализ типовых режимов работы устройства на любом этапе его жизненного цикла.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные программные продукты рекомендуются к использованию в связке с уже существующими на предприятиях системами для расширения их функционала. Средства параметрической генерации конечно-элементных моделей могут быть рекомендованы к отдельному использованию для создания компактной системы полевого исследования. Выводы о достоинствах компонентного подхода к созданию САПР СТ, сделанные в диссертации, следует учитывать при развитии функционала имеющихся систем. Следует так же обратить внимание на предложенную в работе методику анализа режимов работы участка электрических сетей, содержащих СТ, позволяющую в режиме «реального времени» проводить оценку допустимости режимов работы как отдельных объектов, так и сети в целом.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в проектных организациях и промышленности (ООО «НПК «АВТОПРИБОР», ООО «Трансформер» и других) при проектировании силовых трансформаторов, а также в учебном процессе.

Замечания по работе

1. При расчете взаимных индуктивностей обмоток, расположенных на различных стержнях трансформатора, использованы соотношения, справедливые лишь для однородных сред. Однако, в мощных трансформаторах широко используются масляные системы охлаждения, искажающие магнитное поле вне магнитопровода трансформатора. Проводилась ли оценка влияния этого искажения на расчетные значения взаимных индуктивностей?

2. В работе не приведены количественные оценки точности определения величин взаимных индуктивностей обмоток, расположенных на разных стержнях, с применением предлагаемой аналитической методики.

3. В списке литературы приводятся работы автора, связанные с построением моделей специальных (сварочных) трансформаторов. В диссертационной работе это направление работ автора не отражено. Можно ли результаты диссертационной работы и в какой ее части использовать при проектировании специальных, например, сварочных трансформаторов?

4. Из текста диссертации не ясно, как аппроксимируется кривая модуля магнитной проницаемости магнитопровода при расчете токов в обмотках трансформатора в установившихся режимах.

5. В работе имеются некорректные выражения, грамматические и стилистические ошибки.

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации.

Заключение по работе

Диссертация Снитько И.С. «Разработка методики расширенного поверочного расчета в САПР силовых трансформаторов на базе имитационных моделей» является законченной научно-квалификационной работой,

выполненной автором самостоятельно на высоком научно-техническом уровне. В ней изложены оригинальные научно обоснованные технические решения в области разработки систем автоматизированного проектирования силовых трансформаторов, имеющие существенное теоретическое и практическое значение для развития электротехнической отрасли страны. Обоснованы теоретически, разработаны и экспериментально проверены новые методы расчета параметров, установившихся симметричных, несимметричных и аварийных режимов работы силовых трансформаторов, интегрированные в САПР.

Диссертация отвечает требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №84), предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствующим специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (электротехника, энергетика)», а ее автор, Снитько Ирина Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа и отзыв ведущей организации обсуждены на заседании кафедры «26 апреля» 2022 г., протокол № 8.

Отзыв составили:

Красовский Александр Борисович,
д.т.н. по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»,
ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана, зав. кафедрой ФН-7,
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, Тел. +7 499 2636399, e-mail:
krasovsky@bmstu.ru

А. Б. Красовский

28.04.2022

Васюков Сергей Александрович,
д.т.н. по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана, проф.
кафедры ФН-7, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1,
Тел. +7 499 2636399, e-mail: sa_vasyukov@bmstu.ru

С.А. Васюков