О Т З Ы В

официального оппонента доктора физико-математических наук
Ковалёва Сергея Протасовича
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 диссертации

К современным тенденциям развития систем автоматизированного проектирования (САПР) относятся: повышение точности расчетов и имитационного моделирования, типизация и унификация проектных процедур, применение принципа модульности при реализации функциональных возможностей. Для САПР силовых трансформаторов данные тенденции актуальны, в частности, применительно к задачам определения напряжения и потерь короткого замыкания силового трансформатора (КЗ СТ) и сопротивлений (индуктивного и активного), непосредственно связанных с этими параметрами. Для решения этих задач традиционно используются упрощенные методики, содержащие большое количество эмпирических коэффициентов. Однако, по мере цифровизации энергетики и развития технологий управления на основе цифровых двойников, растет потребность в уточненном определении параметров КЗ СТ.

Как показано в диссертации, решение данной задачи возможно с применением полевых моделей, обеспечивающих высокую точность. Имитационная модель трансформатора, позволяющая с достаточной точностью оценивать и задавать режимы работы как конкретного объекта, так содержащего его участка электрической сети, способна выступить основой для цифрового двойника. А на этапе проектирования для целей оценки характеристик функционирования трансформатора целесообразно дополнить САПР подсистемой расширенного поверочного расчета, основанной на имитационной модели объекта проектирования.

Вышеизложенное позволяет заключить, что в диссертации решена актуальная задача в сфере проектирования и исследования силовых трансформаторов.

Оценка содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 123 наименования, и приложений.

В первой главе приведены результаты анализа современного состояния САПР силовых трансформаторов. Рассмотрены методики расчета параметров КЗ СТ и описаны их основные особенности и недостатки. Исследованы методы анализа режимов работы трансформаторов и содержащих их участков электрических сетей. Выбран объект исследования и сформулированы задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке имитационных моделей установившихся и переходных режимов работы силового трансформатора. Полученные имитационные модели построены с использованием матриц индуктивностей обмоток, учитывающих в том числе и взаимное влияние обмоток по полям вне магнитной системы. Также описаны методики определения элементов матрицы индуктивностей по полям вне магнитной системы (с использованием полевой задачи расчета магнитного поля и на основе аналитического расчета поля обмоток). Приведены примеры результатов численного имитационного моделирования трансформаторов различных видов.

Разработанные модели положены в основу двух методик: методики построения цифрового двойника трансформатора с учетом взаимного влияния полей вне магнитной системы, а также методики анализа участков электрических сетей, содержащих силовые трансформаторы. Описанные методики предполагают, что среди моделей трансформатора, предложенных автором, выбирается наиболее полно удовлетворяющая цели расчета (тип расчета, режим работы и т.п.).

Третья глава содержит сравнение результатов, полученных на разработанных моделях, с результатами испытаний реального трансформатора. В установившихся режимах отклонение находится в допустимых пределах инженерной погрешности. Для переходных режимов оценить точность не представляется возможным, поскольку приемо-сдаточные испытания оборудования не предполагают исследование динамических характеристик. Поэтому проводится сравнение различных моделей переходных режимов друг с другом, и дается объяснение обнаруженным расхождениям.

В четвертой главе предложена обобщенная методика проектирования с использованием САПР силовых трансформаторов. Методика реализована в широко распространенном табличном процессоре, что позволяет подключать внешние приложения для решения сложных математических задач и адаптировать САПР под любые условия производства. Исходя из необходимости проведения расширенных поверочных расчетов, методика проектирования дополнена соответствующей подсистемой, работа которой подробно описана. Расширенный поверочный расчет силового трансформатора представляет собой имитационный эксперимент, в процессе которого вызываются программы, реализующие серии численных расчетов магнитного поля.

В заключении приведены общие выводы по работе, а также отмечено достижение цели, заключающейся в расширении функциональных возможностей поверочного расчета в САПР силовых трансформаторов.

Научная новизна

Разработана подсистема расширенного поверочного расчета в составе САПР силовых трансформаторов, позволяющая с использованием имитационных моделей анализировать установившиеся и переходные режимы работы (с учетом возможной несимметрии) на этапе проектирования устройства, в том числе и рассматривать функционирование трансформатора как составной части участка электрической сети.

Предложены имитационная модель переходных режимов, а также математическая модель установившихся режимов силового трансформатора, построенные с учетом взаимных индуктивностей обмоток по полям вне магнитопровода и нелинейных характеристик трансформатора.

Автором сформулирована методика определения индуктивностей обмоток по полям вне магнитопровода (в том числе и взаимных) по результатам рассмотрения полевой задачи по расчету магнитного поля. Кроме того, предложена методика уточнения добавочных потерь короткого замыкания и, соответственно, корректировки величины расчетного активного сопротивления обмоток.

Практическая значимость диссертационной работы

Результаты диссертации были использованы для расширения функциональных возможностей САПР силовых трансформаторов подсистемой расширенных поверочных расчетов. Разработанные имитационные модели позволяют оценивать режимы работы трансформаторов в электрической сети уже на этапе проектирования, выявлять наиболее тяжелые режимы и определять подходы к управлению при их наступлении.

Полученные результаты целесообразно использовать на предприятиях трансформаторостроения, что подтверждено актами внедрения результатов диссертационной работы.

Замечания по работе

1. В разд.2.2.3 при описании цифрового двойника силового трансформатора не указано главное назначение цифрового двойника, определяющее его функциональные возможности и алгоритм построения: управление физическим оригиналом в «мягком» реальном времени. Такое назначение отличает двойник от более простых цифровых моделей, в том числе от цифровой тени.

2. В разд.2.2.1 в формуле (2.44) фигурирует матрица, обратная к матрице индуктивностей многообмоточного трансформатора, однако не приведено обоснование того, что матрица индуктивностей обратима.

3. В разд.1.3.1 в формуле (1.15) приведено выражение для потокосцепления в виде интеграла, однако пределы интегрирования не указаны и не описаны в сопровождающем формулу тексте.

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают общей ценности результатов, полученных в рамках диссертационных исследований.

Выводы

Диссертация Снитько И.С. является оригинальной научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной и практической значимостью. Диссертационная работа отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. Соискатель Снитько Ирина Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (электротехника, энергетика).

Официальный оппонент
Ведущий научный сотрудник ФГБУН
«Институт проблем управления им. В.А.
Трапезникова Российской академии наук»,
доктор физико-математических наук
Специальность докторской диссертационной
работы 05.13.17 – Теоретические основы
информатики

Ковалёв
Сергей Протасович

Адрес: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, ИПУ РАН
Тел.: +7(495)198-17-20 доп. 1521
Эл. почта: kovalyov@sibnet.ru

Подпись Ковалёва С.П.
заверяю
Нед. инж-нер
Заложнева Л.Д.