

О Т З Ы В

официального оппонента кандидата технических наук

Кобелева Андрея Степановича

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.

Развитие систем автоматизированного проектирования в настоящее время тесно связано с цифровизацией экономики. Это предполагает создание имитационных моделей оборудования, в частности силовых трансформаторов (СТ), уже на этапе проектирования. Соответствие цифрового двойника реальному объекту определяется точностью имитационных моделей. Упомянутые модели могут применяться для имитации возможных режимов работы СТ на этапе поверочных расчетов. Таким образом, актуальным является расширение САПР, а именно формирование подсистемы расширенного поверочного расчета.

Состав параметров СТ, определяемый в ходе проектирования в настоящее время, не является достаточным для формирования имитационных моделей и точного описания его режимов работы, особенно переходных. Особый интерес, как правило, представляют режимы симметричных и несимметричных коротких замыканий, обуславливаемые в первую очередь параметрами КЗ: напряжением и потерями. Следовательно, актуальной является разработка методики уточненного определения параметров КЗ СТ.

Существующие методики определения параметров КЗ были разработаны в прошлом столетии и основаны, преимущественно, на упрощенном аналитическом расчете магнитного поля катушек. Упрощение заключается в замене интегрируемых дифференциальных характеристик поля сосредоточенными параметрами и введением большого числа эмпирических коэффициентов. Вновь разрабатываемая методика определения параметров КЗ должна строиться с применением более точных современных подходов. Наиболее целесообразным

является рассмотрение полевых моделей для полей вне магнитопровода (определяющих параметры КЗ) с использованием САЕ-систем.

Таким образом, задачи, решаемые в диссертации, являются актуальными в сфере проектирования и исследования силовых трансформаторов, а сама диссертация – актуальным научно-техническим исследованием, их решающим.

Новизна, достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Исследования, выполненные в диссертации, обладают научной новизной. Отметим следующие аспекты исследований:

- Разработана подсистема расширенного поверочного расчета в составе САПР СТ, построенной на основе имитационных моделей силовых трансформаторов и позволяющая уже на этапе проектирования оценивать возможные переходные и установившиеся режимы работы объекта, в том числе и совместно с электрической сетью. Кроме этого, приведены алгоритмы построения цифрового двойника СТ, а также методика анализа режимов работы участка сети, содержащего СТ, которые могут использоваться как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации.

- Создана имитационная модель силового трансформатора, учитывающая как нелинейность его характеристик, так и взаимное влияние обмоток по полям вне магнитной системы. Параметры КЗ, используемые в данной модели, определяются по результатам расчета полевой задачи расчета магнитного поля вне магнитопровода по приведенной в диссертации методике.

- Предложена математическая модель для расчета установившихся режимов работы СТ с учетом нелинейных характеристик, а также взаимных индуктивностей обмоток, позволяющая с высоким быстродействием проанализировать нормальные и аварийные режимы, в том числе и с учетом несимметрии.

Обоснованность выводов и рекомендаций основана на использовании широко известных методов и теорий, а также подтверждается практическими результатами расчетов, дающих удовлетворительную сходимость с опытными данными.

Достоверность полученных результатов обоснована результатами апробации разработанных моделей на реальных силовых трансформаторах, а также сравнении смоделированных режимов работы с результатами приемосдаточных испытаний.

Основные научные результаты опубликованы в необходимом объеме в научных изданиях по списку ВАК. В диссертации соискателем даны корректные ссылки на источники заимствования сведений и результатов, принадлежащих другим авторам.

Практическое значение диссертационной работы.

Значимость диссертации обусловлена возможностью использовать разработанные модели и методики как в составе подсистемы расширенного поверочного расчета в САПР СТ, так и по отдельности, как самостоятельные продукты, расширяющие функционал проектировщика или исследователя. Кроме того, ценным является возможность рассмотрения СТ как объекта энергосистемы уже на этапе проектирования, а также оценить их взаимное влияние в различных режимах, особенно в аварийных с учетом несимметрии.

Практическая значимость работы подтверждена актами внедрения результатов исследований на производственные предприятия, занимающиеся серийным выпуском трансформаторов.

Общая характеристика диссертации.

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

В первой главе выполнен обзор по теме исследования. Описаны подходы и методы построения математических моделей силовых трансформаторов, включая определение их параметров. Также рассмотрены вопросы анализа режимов работы электрических сетей. Особое внимание уделяется вопросам текущего состояния САПР СТ. Сделана постановка задачи исследования.

Основные результаты исследования приведены в *главах 2-4*. Предложена методика определения параметров КЗ СТ, основанная на расчете магнитных рассеяния как с использованием современных САЕ-систем, так и аналитическими методами. При этом особое внимание уделяется определению взаимных

индуктивностей обмоток, поскольку именно они оказывают большое влияние при несимметричных режимах работы. С применением полученных параметров строится модель для анализа установившихся режимов работы СТ. Достоинством данной модели является возможность учета взаимного влияния СТ и электрической сети в различных режимах работы. Также разработана имитационная модель, позволяющая анализировать переходные режимы силового трансформатора с учетом любой подключаемой нагрузки. Описываемая модель также учитывает как нелинейные характеристики СТ, так и уточненные параметры КЗ, что позволяет использовать ее в качестве основы методики построения цифровых двойников силовых трансформаторов. При апробации вышеназванных моделей получено расхождение установившихся режимов с приемо-сдаточными испытаниями, находящееся в пределах допустимой погрешности. Модели установившихся и переходных режимов положены в основу методики анализа режимов работы участков электрических сетей, содержащих СТ.

Кроме того, разработанные модели и методики являются основой подсистемы расширенного поверочного расчета в составе САПР СТ, построенной на модульном принципе с применением табличного процессора. Дополнительный математический аппарат, позволяющий реализовать численные эксперименты, подключается через стандартную библиотеку табличного процессора. Достоинством данной подсистемы является возможность ее адаптации под фактический уровень знаний и опыта проектировщика, а также под конкретное производство.

Также стоит отметить возможность самостоятельного использования всех решений, предложенных в диссертации.

В заключении приведены общие выводы по работе, а также отмечено достижение цели, заключающейся в расширении функционала подсистем поверочного расчета в САПР СТ.

Замечания по работе.

1. Требуется пояснение: что подразумевается автором под методами теории САПР?

2. Говоря о подсистеме системы АПР, следовало бы показать место разрабатываемой подсистемы в общей структуре САПР. То же справедливо и при упоминании цифрового двойника, основанного на мультифизических моделях. При этом стоит помнить, что одним из ключевых путей к успеху при построении ЦД является адекватный модуль надежности.

3. Оппонент впервые столкнулся с характеристикой проектного расчета, как расчета вспомогательного (стр. 83).

4. САЕ–системы не всегда используют численные методы расчета полей.

5. Является дискуссионным настойчивое желание автора избегать в ряде случаев термина «индуктивное сопротивление рассеяния обмоток трансформатора», признанное классиками электромеханики.

6. Некоторые введенные автором аббревиатуры, например «УР» – установившийся режим, являются излишними.

7. 3D модель трансформатора может быть описана существенно меньшим числом алгебраических уравнений, нежели «миллионы» (стр. 42 диссертации).

8. Не вполне понятно обоснование допущения о не учете анизотропии электротехнической стали при расчетах.

9. Интересно было бы узнать позицию диссертанта об адекватности паспортных данных трансформатора в свете результатов высокоточного поверочного расчета.

10. При узких границах области поиска эффективного решения затраты на одну альтернативу «от нескольких минут до получаса» не являются критичными (к стр. 102).

11. Из диссертации не ясно, используются ли в блоке «формирование целевой функции» и выводе об оптимальности проекта элементы интеллектуальной поддержки принятия решений (рис. 4.2, 4.4).

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Снитько И.С.

Выводы.

Диссертационная работа Снитко И.С. отвечает требованиям пп 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г. Соискатель Снитко Ирина Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (электротехника, энергетика)».

Официальный оппонент
Начальник расчетно-теоретического сектора
ООО «Инжиниринговый центр «Русэлпром»
(представительство г. Владимир)
Специальность кандидатской
диссертационной работы 05.09.01 –
Электромеханика и электрические аппараты

Кобелев

Александрей Степанович

12.05.2022 г.

Адрес организации: 600009, г. Владимир, ул. Электrozаводская, 5, корп. 30. (ООО «Инжиниринговый центр «Русэлпром», представительство г. Владимир).

Сайт организации: www.ruselprom.ru

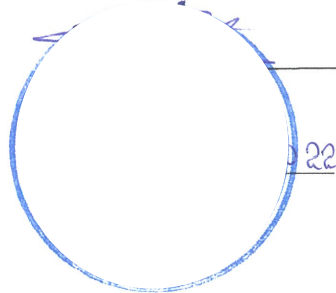
Тф организации: 8 (800) 301-35-31

Адрес электронной почты организации: mail@ruselprom.ru

Подпись к.т.н. Кобелева А.С. заверяю:

Исполнительный директор ООО «Инжиниринговый Центр «РУСЭЛПРОМ»

Бедкер Антон Александрович



Печать организации