

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Степанова Александра Андреевича «Повышение энергоэффективности тяговых подстанций постоянного тока на основе многофазных трансформаторно-выпрямительных агрегатов»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы**

Актуальность темы исследования

Задача повышения эффективности потребления электрической энергии в энергоемких отраслях экономики, к которым относится электрический транспорт с тяговым электроснабжением переменного и постоянного тока, является первостепенной. Существующие системы тяги постоянного тока не в полной мере отвечают требованиям увеличения транспортных потоков и нарастания объемов перевозок и, соответственно, к возрастанию нагрузки в тяговых сетях и увеличению рабочих токов до максимальных значений при заданном напряжении на шинах тяговых подстанций (ТП). Такое положение вызывает дальнейшее повышение мощности потребляемой электроподвижным составом (ЭПС) и приводит к снижению напряжения в системе «ЭПС – тяговая сеть – ТП». Уменьшение выпрямленного напряжения на выходе ТП, в свою очередь, ведёт к снижению мощности на ЭПС и, соответственно, падению скорости его движения, что ограничивает пропускную способность систем тягового электроснабжения. В силу указанных обстоятельств возникают требования к трансформаторно-выпрямительным агрегатам (ТВА) ТП по повышению стабилизационных свойств выпрямленного напряжения и снижению потерь электроэнергии. Решению именно этих вопросов посвящена рецензируемая диссертация и в этом смысле тема диссертации, безусловно, актуальна.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений; изложена на 168 стр. машинописного текста, включает 68 рисунков, 17 таблиц и список литературы из 120 наименований.

Содержание работы

Во введении автор обосновывает актуальность диссертационного исследования. Сформулированы цель и задачи работы, показана её структура, отмечена научная новизна проведенных исследований и их практическая значимость. Представлены сведения о внедрении диссертационной работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ энергетических показателей схмотехнических решений ТВА, применяемых на ТП железнодорожного (ЖД), городского электрического транспорта (ГЭТ) и метрополитена, выявлены их достоинства и недостатки. Показано, что одним из эффективных путей стабилизации выпрямленного напряжения и снижения потерь электроэнергии на ТП является реализация многофазного режима для ТВА, которое не требует дополнительного оборудования и не вызывает увеличения потребления электроэнергии. Проведенный анализ полных мощностей первичных и вторичных обмоток многопульсовых трансформаторных преобразователей числа фаз (ТПЧФ) в качестве ТВА показал преимущество трехфазной системы напряжений и высокий показатель использования трансформаторного оборудования для 12-ти и 24-х пульсовых схем выпрямления.

Основными результатами главы являются выявленные направления поиска и разработки новых 24-х пульсовых энергоэффективных ТВА, что позволило разработать оригинальные кольцевые 24-х пульсовые ТВА модульного типа, отвечающие установленным требованиям, обеспечивающие стабилизацию выпрямленного напряжения на шинах ТП и снижение потребления электроэнергии, защищенные патентами РФ № 144525 и № 175986.

Во второй главе представлен анализ электромагнитных процессов в предложенных новых кольцевых 24-х пульсовых ТВА, основанных на последовательном и параллельном соединении двух идентичных трансформаторно-выпрямительных модулей (ТВМ) половинной мощности. Показано, что равенство реактивных сопротивлений обоих ТВМ позволяет при параллельной работе получить равенство токов в нагрузке и отказаться от использования уравнивающих реакторов. Кроме того, используемые в схмотехническом решении принципы идентичности и модульности построения ТВМ обеспечивают их самостоятельную работу в случае отказа или отключения одного из них.

Для анализа комбинированных многопульсовых ТВА разработана фазоаналитическая методика, позволяющая построить вентильно-фазовый портрет ТВА и наглядно определять углы проводимости вентиля для различных схем выпрямления. Проведенные с использованием полученных автором выражений вычисления показывают, что снижение потерь энергии в вентилях, вызываемое уменьшением углов проводимости вентиля в предложенных ТВА, приводят к увеличению их КПД в сравнении с существующим 24-х пульсовым выпрямителем.

Далее показано, что предложенное модульное построение многофазных ТВА на основе двух идентичных трансформаторно-выпрямительных секций снижает массогабаритные показатели трансформаторов в сравнении с однотрансформаторным, а применение кольцевых выпрямительных схем существенно повышает КПД вентильной структуры. Это и является основным результатом второй главы.

В третьей главе дано описание разработанных автором имитационных моделей модульных 24-х пульсовых ТВА, на которых исследованы особенности их работы. Выполненное моделирование ТВА с использованием технических характеристик трансформаторного и вентильного оборудования, применяемого на ЖД транспорте, позволило установить, что у новых многопульсовых схемных решений с увеличением нагрузки происходит повышение энергетического КПД, а нормированные внешние характеристики становятся более жесткими в сравнении с известными 12-ти и 24-х пульсовыми мостовыми схемами. Кроме того, результаты моделирования подтвердили корректность полученных ранее аналитических выражений.

Для экспериментальной проверки полученных автором результатов с его участием был разработан физический макет, на котором был выполнен ряд экспериментов. Проведенные экспериментальные исследования на физическом макете полностью подтвердили полученные теоретические положения и прогнозируемый характер работы кольцевых 24-х пульсовых модульных ТВА.

В четвертой главе выполнен расчет для реконструкции двух ТВА с преобразовательными трансформаторами УТМРУ-6300/35ЖУ1, по предлагаемому автором схмотехническому решению. Показано, что предлагаемый вариант мо-

дернизации ТВА без значительных затрат может быть внедрен на ЖД транспорте с использованием существующего оборудования и повышающего энергетический КПД ТП на 0,9% и коэффициент использования установленной мощности в сравнении с находящимся в эксплуатации.

Выполнена оценка годовой экономии электроэнергии показала, что при замене на ТП повышенной мощности Западно-Сибирской железной дороги - филиала ОАО «Российские железные дороги» (общее число подстанций около 90) одного 12-ти пульсового выпрямителя на новый 24-х пульсовый модульный ТВА при интенсивности движения поездов, обеспечивающих в среднем 40 % загрузки, составляет 238,8 МВт*ч., за счёт увеличения коэффициента мощности и уменьшения потерь в вентильной конструкции.

В заключении представлены основные результаты работы.

Важно отметить, что основные выводы и результаты работы получены на основании выполненных лично автором теоретических и экспериментальных исследований, теоретически обоснованы, подтверждены убедительными расчетами, модельными и физическими экспериментами. Не вызывает сомнений как теоретическая значимость принятых в работе решений и полученных результатов, так и практическая ценность работы для повышения энергоэффективности неуправляемых трансформаторно-выпрямительных агрегатов тяговых подстанций.

Новыми наиболее значимыми научными результатами диссертации, полученными автором, по-видимому, следует признать: 1) разработанные новые экономичные кольцевые модульные 24-х пульсовые ТВА, удовлетворяющие требованиям повышения энергоэффективности, обеспечение стабилизации выпрямленного напряжения на шинах ТП и снижения энергопотребления; 2) теоретическое развитие концепции модульного построения многофазных ТВА на основе последовательного и параллельного соединения идентичных трансформаторно-выпрямительных модулей пониженной мощности, что обеспечивает снижение массогабаритных показателей трансформаторов в сравнении с известным – 24-х пульсовым однотрансформаторным ТВА, находящимся в эксплуатации; 3) разработанная фазоаналитическая методика, позволяющая строить вентильно-фазовый портрет ТВА и наглядно определять углы проводимости вентилей для различных схем выпрямления.

Достоверность полученных результатов подтверждается теоретической обоснованностью и эффективностью разработанных и используемых на реальных объектах мероприятий по повышению энергетической эффективности тяговых подстанций.

Основные практические результаты, по моему мнению, заключаются в том, что разработанная в диссертации методика модернизации существующих тяговых подстанций позволяет разрабатывать эффективные и малозатратные мероприятия по повышению их энергетической эффективности, основываясь на использовании эксплуатируемого оборудования.

Материалы диссертации достаточно полно отражены в 18 публикациях, включая 7 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК, 3 публикации в материалах конференций, входящих в международные базы SCOPUS и Web of Science и 8 патентов РФ на изобретения и полезные модели.

Содержание автореферата в достаточной степени отражает содержание диссертационной работы.

Замечания по работе

1. В работе утверждается, что применение 24-х пульсовых выпрямителей повышает жёсткость внешней характеристики ТВА (стр. 25) и коэффициент мощности (стр. 26), однако отсутствует толкование физических причин таких изменений.

2. В формуле для намагничивающей силы (2.8) на стр. 56 «утеряно» число витков обмотки.

3. Значения максимально допустимых прямых токов диодов при различных углах проводимости вентилей, указанные в тексте на стр. 80 и 81 не согласуются с графическими зависимостями, представленными на рисунке 2.18.

4. Указанное на стр. 83 снижение массогабаритных показателей (на 11%) и повышение КПД вентильной структуры на 25% (стр.84) не вытекает из текста диссертации.

5. На стр. 89 сказано, что суммарное время проводимости вентилей кольцевой группы уменьшено в 2 раза, и далее: «Следовательно, в вентильях кольцевой группы мощность потерь снижается примерно в 2 раза ...», но откуда следует, что время проводимости и потери связаны прямой пропорциональностью?

6. Текст диссертации содержит грамматические и стилистические ошибки, затрудняющие его восприятие.

Заключение по работе

Отмеченные недостатки не изменяют общей положительной оценки диссертации, которая обобщает достигнутые результаты научной и практической деятельности автора и представляет собой комплексное завершённое исследование, выполненное автором самостоятельно.

Диссертация может квалифицироваться как содержащая новое решение задачи, имеющей существенное значение для повышения энергетической эффективности тяговых подстанций постоянного тока на основе многофазных трансформаторно-выпрямительных агрегатов.

Считаю, что диссертационная работа А.А. Степанова по своей актуальности, новизне, научной и практической значимости результатов соответствует требованиям Положения ВАК РФ (п. 9-14) в части, касающейся кандидатских диссертаций, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент, заведующий кафедрой «Электротехнические комплексы и системы» Политехнического ин

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», д-р техн. наук, профессор
Василий Иванович Пантелеев
11.03.2020 г.

Отзыв получен 16.03.2020

М.А. / Дядко М.А.

Адрес: 660074, г. Красноярск, ул. акад. Киренского, 26.а

Телефон: 8 (391) 2275665, e-mail: vpanteliev@sfu-kras.ru

Отзыв получен 17.03.2020

А.А. Степанов А.А.

ФУ
Подпись
Начальник общего отдела
11.03.2020