

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук,
директора НТП ООО «ЧЕРГОС» Чернигова Владислава Михайловича
на диссертацию Мурадова Эльхана Шахбаба оглы
«Автоматические быстродействующие выключатели постоянного тока для
городского наземного электротранспорта (разработка, исследования и
реализация)», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Актуальность темы

В настоящее время автоматические быстродействующие выключатели постоянного тока с дистанционным управлением, разработанные в рамках темы диссертации «Автоматические быстродействующие выключатели для городского наземного электротранспорта (разработки, исследования и реализация)» являются практически единственными устройствами быстродействующей защиты для силового высоковольтного оборудования троллейбусов и трамваев. Необходимость разработки такого устройства обусловлена крайней опасностью эксплуатации автоматического выключателя с ручным управлением АВ-8А; слабостью коммутационных возможностей БВА 250; сложностью и отсутствием вибрационной устойчивости, низкой коммутационной способностью АБВ VPD 14 и невозможностью надежного обеспечения быстродействующей защиты другими автоматическими выключателями отечественных производителей. Стоимость импортных аппаратов весьма высока, поэтому в данной работе рассматриваются проблемы создания конкурентоспособных выключателей. Диссертационная работа Э.Ш. Мурадова посвящена принципиально новому комплексному решению актуальных задач по обеспечению быстродействующей защиты подвижных объектов городского наземного электротранспорта. Актуальность избранной темы исследования обусловлена следующими факторами:

1. Обеспечение отключения любых токов за время 80 мс согласно ГОСТу 12.1.038 «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновений и токов».

2. Обеспечение быстродействующей защиты дистанционного управления.

3. Разработка принципов таких коммутационных аппаратов для увеличения надежности защиты пассажиров и техники.

Учитывая изложенное, новые разработки и исследования по созданию новых автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока с дистанционным управлением является весьма актуальной задачей.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, достаточна, поскольку они полностью соответствуют электромагнитным процессам в электромагнитных механизмах и теории электрических аппаратов, основываются на корректном математическом представлении и решениях с использованием теории электрических и магнитных цепей, теории электромагнитных и динамических процессов в электромагнитных механизмах, включая аналоговые и цифровые модели для ЭВМ.

Структура и объем диссертации соответствуют требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В первой главе автор достаточно полно и подробно проводит анализ существующих автоматических выключателей отечественного и зарубежного производства и анализ требований нормативных документов к автоматическим быстродействующим выключателям постоянного тока. Рассмотрен вопрос о состоянии изоляции троллейбуса как фактора электробезопасности. Приведен расчет термических и электродинамических нагрузок на элементы токоведущей системы быстродействующих выключателей. В результате анализа сформулирована задача исследований и намечены пути ее решения.

Во второй главе рассмотрены вопросы разработки и исследования электромагнитных приводов. Проведен физико-математический анализ этапов срабатывания электромагнитного механизма, приведены соответствующие дифференциальные уравнения. Рассмотрен анализ уравнений магнитной системы, нели-

нейные уравнения корректно приведены к линейному виду. Методом конечных элементов выполнен расчет величин электромагнитного поля. Проведен анализ сил сопротивления при коммутациях, показано превышение как минимум в два раза электромагнитной силы над силой сопротивления. Выполнен анализ динамики электромагнитных механизмов, проведена оптимизация величины индуктивности катушки магнитной системы. Приводится анализ изменения тока намагничивающей катушки при размагничивании магнитной системы и анализ потерь энергии в магнитных материалах. Применение конденсатора в цепи размагничивания намагничивающей катушки минимизирует собственное время отключения выключателя. Показано, что для минимизации влияния вихревых токов на динамику коммутации необходимо применение легированных кремнием шихтованной стали в магнитных цепях быстродействующих выключателей. Разработанный графоаналитический метод позволяет рассчитать затухание магнитного потока в магнитной системе быстродействующих выключателей. Проанализированы динамика выбора избыточного хода и обеспечение предвключенного состояния силовых контактов. Приведены разработанные конструкции быстродействующих выключателей, где обеспечено свободное расцепление.

Также в этой главе проанализирована физика дуги при отключении силовых контактов под током, определены рациональная форма и размеры этих контактов с целью минимизации времени горения дуги. Для предотвращения оплавления и сваривания контактов отключение сопровождается притиранием, проскальзыванием или перекачиванием контактов. Экспериментально определен оптимальный размер раствора – начальный ход – контактов.

Третья глава посвящена разработке и исследованию дугогасительных систем. Проанализированы дугогасительные системы с последовательным, параллельным и комбинированным магнитным дутьем. Определены условия эффективного гашения дуги постоянного тока от долей ампера до короткого замыкания при использовании системы с комбинированным магнитным дутьем. Приведена методика оптимизации конструирования дугогасительной камеры. Показаны результаты многочисленных испытаний различных выключателей. Автором сделан вывод, что система с последовательным магнитным дутьем является основной и использование этой системы с дугогасительной камерой с деионными

решетками обеспечивает надежное отключение. Подробно описана физика плазмы при размыкании силовых контактов выключателя.

В четвертой главе исследованы различные электронные системы управления автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока, использование датчиков тока на эффекте Холла, схемы определения направления тока. Приведена методика разработки систем управления для быстродействующих выключателей, приведены примеры реализации электронных систем управления в различных автоматических выключателях дистанционного управления. Особенное внимание уделено работоспособности и надежности электронных систем управлений выключателей. Рассмотрены вопросы создания гибридных и электронных выключателей. Приведены результаты испытаний гибридного быстродействующего автоматического выключателя постоянного тока ВБ 15/2-250/6. Показано, что при создании гибридных автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока, необходимо обеспечивать высокую надежность электронных узлов.

В пятой главе приводятся требования к испытаниям автоматических быстродействующих выключателей основных нормативных документов – ГОСТ 9219-95 «Аппараты электрические тяговые», ГОСТ 2585-88 «Выключатели автоматические быстродействующие постоянного тока», описание необходимых видов испытательного оборудования, в том числе созданная в ООО «Технос» синтетическая схема для испытания автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока в разных режимах и виды испытания, схема испытаний аппаратов в режиме малых индуктивных токов, результаты испытаний выключателей, результаты ресурсных испытаний выключателей ВБ 7м-250/6 и ВБ 11/1-400/6 в «диком» режиме. В приложениях к этой главе результаты испытаний выключателей представлены обширным экспериментальным материалом.

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Выполнен анализ состояния быстродействующей защиты на подвижных объектах городского наземного электротранспорта, а также проанализированы особенности работы автоматического быстродействующего вы-

- ключателя постоянного тока в составе подвижных объектов городского наземного электротранспорта с учетом факторов, влияющих на их работу.
2. Систематизированы оговоренные в различных нормативных документах условия гашения дуги при отключении малых индуктивных токов для определения критической коммутационной способности автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока, а также проанализированы условия возникновения токов утечки и прикосновения, представляющих опасность для пассажиров, на троллейбусах.
 3. Разработан новый графоаналитический метод для определения затухания магнитного поля в магнитопроводах электромагнитных механизмов автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока.
 4. Разработана инженерно-математическая модель для анализа нелинейных процессов в электромагнитных механизмах новых автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока для наземного городского электротранспорта.
 5. Выполнена разработка целого ряда новых быстродействующих электромагнитных механизмов автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока, которые нашли применение в составе электромагнитных приводов быстродействующих выключателей.
 6. Разработаны и исследованы электромагнитные приводы быстродействующего выключателя с механизмом свободного расцепления.
 7. Выполнен анализ предвключенного положения силовых контактов и динамика выбора избыточного хода в автоматических быстродействующих выключателях постоянного тока для наземного городского электротранспорта.
 8. Разработана методика анализа характеристик стационарной дуги по каналовой модели с учетом реальных особенностей среды её обобщенной теплопроводности с учетом энергетического баланса.
 9. Разработаны модифицированные датчики тока на эффекте Холла, которые позволяют определить направления протекания тока в силовой цепи, тем самым создавая благоприятные условия для внедрения комбинированного магнитного дутья.

10. Разработан и исследован гибридный быстродействующий автоматический выключатель постоянного тока.
11. Разработана и исследована имитационная установка для выявления неисправностей автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока без съема их из установленных мест.
12. Использование цифрового запоминающего осциллографа типа Tektronix TDS-224 и скоростной видеокамеры типа VS-FAST позволили сопоставлять расчетные и экспериментальные данные, что облегчает выбор оптимальных конструкций дугогасительных систем.
13. Результаты проведенных стендовых и приемо-сдаточных испытаний доказывают, что разработанные автоматические быстродействующие выключатели постоянного тока соответствуют требованиям всех нормативных документов.

Научная новизна выполненных исследований состоит в следующем:

1. Научно обоснованы принципы разработки и создания новых автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока для городского наземного электротранспорта.
2. Разработаны инженерно-математические модели для анализа нелинейных процессов в электромагнитных механизмах новых автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока для городского наземного электротранспорта.
3. Разработаны экспериментально-математические методики для анализа нелинейных процессов в дугогасительных системах новых автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока для городского наземного электротранспорта.
4. На базе разработанных принципов синтезирован ряд новых автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока для городского наземного электротранспорта.

Достоверность результатов диссертационной работы обоснована корректным использованием элементов теории электрических аппаратов, многочислен-

ными экспериментальными исследованиями, использованием результатов исследований в серийном производстве разработанных автоматических быстродействующих выключателей постоянного тока для наземного городского электротранспорта.

В публикациях автора достаточно полно отражены основные научные результаты данной диссертационной работы.

Практическая ценность результатов работы подтверждена успешным внедрением автоматических быстродействующих выключателей ВБ 11/1-250/6, ВБ 11/1-400/6 на трамваях и ВБ 7м/2-250/6 на троллейбусах, эксплуатируемых в России, Украине, Сербии и других странах. Существенными преимуществами этих аппаратов по сравнению с аналогами являются:

1. Высокая коммутационная способность – отключение тока КЗ до 16 кА включительно при времени отключения не более $5 \div 8$ мс.
2. Отключение малых токов в индуктивных цепях.
3. Дистанционное автоматическое управление, что позволяет размещать автоматические быстродействующие выключатели в непосредственной близости от токоприемных штанг (пантографа) и реализовать автоматическое дистанционное отключение при сигнализации любого из тяговых агрегатов об аварийном состоянии, реализовать электрическое торможение при КЗ в контактной сети.
4. Отключение тока как прямого направления в режиме тяги, так и тока обратного направления при перегрузке или КЗ в контактной сети в режиме рекуперации.
5. Сопряжение автоматических быстродействующих выключателей по цепи дистанционного управления с устройством контроля величины тока утечки через кузов троллейбуса позволяет непрерывно контролировать и с высоким быстродействием (не более 80 мс) выполнять отключение высоковольтных цепей для обеспечения электробезопасности.

Автоматические быстродействующие выключатели типа ВБ 11/1-250/6 и ВБ 11/1-400/6 установлены на вагоны с тяговым электрооборудованием ООО «ЧЕРГОС» ЛМ-99, 71-153, 71-152, 71-154 (завод ПТМЗ) и 71-623-02, 71-623-03,

71-933 (завод ОАО УКВЗ), Т5L64, Т3L6 (завод Электронтранс). Автоматические быстродействующие выключатели типа ВБ 7м/2-250/6 установлены на троллейбусы с тяговым электрооборудованием ООО «ЧЕРГОС» 5265 «Мегаполис» (завод ТРОЛЗА), ВМЗ-5298-22 (завод Транс-Альфа), СВАРЗ-МАЗ-6235, СВАРЗ-МАЗ-6275 (завод СВАРЗ), МТРЗ-5238 (Московский троллейбусный завод), Е-301D3 (завод ЛАЗ), 321 (завод БКМ), Т19 (завод Электронтранс).

Замечания и вопросы по диссертационной работе:

1. Почему системы управления автоматических быстродействующих выключателей не оснащаются интерфейсом для передачи состояния автоматических быстродействующих выключателей в систему верхнего уровня управления подвижным составом городского электротранспорта?
2. Каковы перспективы серийного производства гибридных автоматических быстродействующих выключателей?
3. Почему серийно выпускающиеся автоматические быстродействующие выключатели ВБ 11/1-250/6, ВБ 11/1-400/6 и ВБ 7м/2-250/6 не оснащены электронным тепловым расцепителем?

Указанные недостатки не снижают общего положительного впечатления от диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Мурадова Э.Ш. выполнена на высоком научном уровне. Высокие технические показатели автоматических быстродействующих выключателей дистанционного управления достигнуты благодаря выполненной диссертационной работе на высоком теоретическом и техническом уровне. Работа охватывает комплексно все вопросы проектирования, исследования и конструирования автоматических быстродействующих выключателей дистанционного управления постоянного тока для наземного городского электротранспорта. Она имеет громадное значение, ввиду большой значимости рассмотренных в ней вопросов и глубоко проработанных научных и инженерных решений. Сделанные замечания не влияют на положительную оценку работы. Автореферат отражает основное содержание диссертации и полностью соответствует ей.

Диссертация «Автоматические быстродействующие выключатели постоянного тока для городского наземного электротранспорта (разработка, исследования и реализация)» является законченной научно-квалификационной работой. В ней решены научные задачи, имеющие важное значение для создания более конкурентоспособных электрических аппаратов для нужд народного хозяйства.

Диссертационная работа, безусловно, соответствует научно-техническому уровню кандидатской диссертации и удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым ВАК РФ кандидатским диссертациям. Автор, Мурадов Эльхан Шахбаба оглы, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Официальный оппонент:

канд. техн. наук,

директор НТП ООО «ЧЕРГОС»,

лауреат премии правительства РФ

199178, Санкт-Петербург,

Малый пр. 58, лит А,

тел.: (812)-325-19-58,

e-mail:vmchernigov@yandex.ru,

31 октября 2016 г.

Чернигов

Владислав

Михайлович

Подпись Чернигова Владислава Михайловича

заверяю:

инспектор по кадрам



Евгеньев А. Г.