

На правах рукописи

ЗАТОРСКАЯ ЛАДА ПАВЛОВНА

**ЗАЩИТА СМЕЖНЫХ ПИТАЮЩИХ ЛИНИЙ
ТЯГОВОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА
НА БАЗЕ РЕЛЕ-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ШУНТОВ**

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ) на кафедре «Электроэнергетика транспорта»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Гречишников Виктор Александрович

Официальные оппоненты: **Митрофанов Александр Николаевич**,
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Самарский государственный
университет путей сообщения», кафедра
«Электроснабжение железнодорожного
транспорта», профессор.

Заруцкая Татьяна Алексеевна,
кандидат технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Ростовский государственный
университет путей сообщения», кафедра
«Автоматизированные системы
электроснабжения», доцент.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I»

Защита состоится «18» сентября 2019 г. в 14-00 часов на заседании
диссертационного совета Д 218.005.02 на базе федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994,
г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр. 9, аудитория 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте
РУТ (МИИТ) www.miit.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2019 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

Гречишников
Виктор Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Железные дороги являются одним из важнейших звеньев в системе жизнедеятельности страны. В современных условиях задача обеспечения бесперебойного движения осложняется. Число пережогов контактных проводов постоянно возрастает в связи с ростом скоростей и массы поездов.

В работе тяговой сети чрезвычайные ситуации чаще всего возникают вследствие короткого замыкания (КЗ). Устройство защиты от КЗ, реализуемой с помощью быстродействующих выключателей (БВ), оборудованных реле-дифференциальным шунтом (РДШ) позволяет отключить питающую линию тяговой сети (ПЛТС) при малом значении быстро изменяющегося тока.

Однако, при быстром приращении тока в сети во время прохода токоприемника электровоза (Э) под током по ветвям изолирующего воздушного промежутка (ИВП) неселективная работа устройств защиты приводит к ложным срабатываниям и отключению зоны питания тяговой сети, въезду электровоза под током на отключенную зону, возникновению электрической дуги и пережогу контактного провода, остановке поезда. Именно специфические свойства РДШ являются причиной ложных отключений БВ смежных ПЛТС.

Актуальность работы заключается в устранении существенного недостатка электро-магнитно-механических систем защит питающих линий тяговой сети путём создания модернизированного реле-дифференциального шунта (РДШ(М)) и разработкой схем блокировки действия защит (варианты), как способа борьбы с пережогами проводов тяговой сети постоянного тока в зоне ИВП.

Степень разработанности темы исследования. Большой научный потенциал Российских ученых, трудящихся в области энергоснабжения электрического железнодорожного транспорта, позволил определить пути решения проблемы, и реализовать концепцию построения В. А., Барди-

на А. М., Сердинова С. М., Пупынина В. Н., Фигурнова Е. П., защиты смежных ПЛТС для уменьшения числа пережогов. Известны труды Савченко В. А., Бардина А. М., Сердинова С. М., Пупынина В. Н., Фигурнова Е. П., Марквардта К. Г., Горошкова Ю. И., Гречишникова В.А., Косарева Б.И., Бадёра М.П. и других специалистов.

Цель и задачи. Целью диссертационной работы является разработка способа повышения уровня селективности схемы защиты от токов КЗ, осуществляемой с помощью неполяризованных выключателей и первичных датчиков защиты, путем построения системы блокировки несанкционированного срабатывания БВ смежных ПЛТС постоянного тока при проходе Э под током по ветвям ИВП.

Объект исследования. Схема защиты от токов КЗ смежных ПЛТС постоянного тока, осуществляемая с помощью неполяризованных выключателей и РДШ, включая конструктивные элементы контактной сети.

Научная новизна диссертационной работы состоит в получении следующих научных результатов:

- разработаны научные подходы к вариантам блокировки несанкционированного срабатывания БВ смежных ПЛТС постоянного тока при проходе Э под током по ветвям ИВП, позволяющие исключить отжиги и пережоги проводов контактной сети электрической дугой;
- предложена методика расчета демпфирующего потока в сердечнике РДШ для разработки элементов схемы блокировки несанкционированных срабатываний БВ;
- разработана методика определения параметров ДК – модернизируемого элемента РДШ(М);
- определены параметры элементов схем блокировки несанкционированных отключений БВ;
- разработана имитационная модель работы РДШ(М) при проходе электроваза под током по ветвям ИВП, позволяющая оценить качественные показатели внедряемой технологии;

– обосновано применение схем блокировки для снижения числа пережогов проводов ИВП электрической дугой во время прохода по ним Э под током;
создана и испытана экспериментальная модель схемы блокировки несанкционированного срабатывания БВ.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

- разработаны и внедрены способы борьбы с причинами возгорания электрической дуги при помощи не влияющих на конструкцию и массу контактной подвески электрических схем, подтверждающие преимущества перед механическими приспособлениями;
- разработаны экспериментальные образцы устройств, прошедшие натурные испытания на действующей тяговой подстанции;
- рассчитаны время, за которое ток Э достигает нулевого значения при заезде на отключенную зону питания, в течение которого будет гореть электрическая дуга, а также величина тока электровоза. Определено, что время горения дуги в несколько раз превышает указанное в литературе расчетное значение;
- создана экспериментальная модель схемы блокировки несанкционированного срабатывания БВ с РДШ(М);
- получен и использован огромный массив данных в результате имитационного моделирования процессов в тяговой сети на базе разработанной общей электрической схемы движения Э, а также учете и имитации перехода Э на смежную зону ПЛТС;
- установлено: количество витков ДК для создания демпфирующего потока в магнитопроводе РДШ(М), невозможность установки большого числа витков ДК из-за ограниченности по габаритным размерам, нежелательный фактор вмешательства в работу самого РДШ(М) при создании демпфирующего противотока в магнитопроводе, необходимость и достаточность предложенных решений для подключения реле напряжения схемы блокировки, учитывая наводимое напряжение от оборудования подстанции;

- сделано технико-экономическое обоснование использования схемы блокировки несанкционированного срабатывания БВ с РДШ(М);
- введены новые понятия в теории релейной защиты ПЛТС постоянного тока, связанные с блокировкой действия защит по анализу работы смежных питающих линий;
- представлены методические рекомендации по расчету магнитной проводимости воздушного зазора между подвижной и неподвижной частью магнитопровода и магнитной проводимости воздушного зазора пакетов железа на шинах РДШ.

Методология и методы исследований. В диссертационной работе при решении поставленных задач были применены методы системного анализа и обобщения материалов экспериментальных исследований и статистических данных. Применены методы имитационного моделирования на базе современных программных пакетов. Используются методы автоматического составления обобщённых систем дифференциальных уравнений второго порядка. Использовались численные методы решения жёстких систем дифференциальных уравнений на основе комбинации неявного метода Эйлера 2-ого порядка и метода трапеции 2-3-го порядка с адаптивным выбором шага интегрирования. Применён метод натурных испытаний разработанной модели устройства на базе модернизированной схемы защиты от токов КЗ.

Положения, выносимые на защиту.

1. Способ модернизации существующей схемы РДШ.
2. Схемы блокировки (варианты) несанкционированного срабатывания БВ смежных ПЛТС постоянного тока.
3. Имитационная модель работы РДШ(М).
4. Экспериментальная модель схемы блокировки несанкционированного срабатывания БВ смежных ПЛТС.

5. Показатели, подтверждающие неизбежность возгорания электрической дуги и разрушение элементов тяговой сети от ее воздействия при заезде Э под током на отключенную зону.

6. Показатели, позволяющие определить эффективность и целесообразность использования схем блокировок (варианты) несанкционированного срабатывания БВ постоянного тока.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечивается сходимостью процессов в элементах РДШ для условий исследуемого процесса движения электровоза, полученных на основании имитационного моделирования и в экспериментах. Степень достоверности предварительно обоснована теоретически. Достоверность результатов расчетов параметров элементов схемы блокировки несанкционированного срабатывания БВ с использованием РДШ(М) подтверждены результатами натурных испытаний на оборудовании действующей тяговой подстанции Московско-Курской дистанции электроснабжения.

Материал диссертационной работы докладывался на 7-м Российском международном конгрессе по интеллектуальным транспортным системам в 2015 году, на научно-практических конференциях «Безопасность движения поездов» МГУ ПС в 2002 и 2017 годах. Результаты диссертационной работы рассматривались на заседании кафедры «Электроэнергетика транспорта» МИИТ в 2018 и 2019 годах.

Публикации. По материалам диссертации имеется 12 научных работ: из них 2 патента на изобретение; 4 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложения, списка используемых источников (67 наименований). Работа содержит 146 страниц печатного текста, 20 таблиц, 35 рисунков.

Основное содержание работы

Во введении изложена краткая характеристика работы, раскрыта актуальность выбранной темы диссертации, изложены цели и задачи исследований, указаны научная новизна работы, практическая значимость полученных результатов, приведены выносимые на защиту положения, представлена структура и объём диссертационной работы.

В первой главе диссертации показано влияние повышения скорости движения Э на качество электроснабжения. В частности, представлены анализ случаев и процентное соотношение аварийных событий к общему их количеству и, связанная с этим, возрастающая динамика продолжительности задержек поездов. Основное внимание уделено результатам проведенных испытаний на эффективность дугогашения с разнопотенциальными секциями тяговой сети при движении Э под током, доказывающих неизбежность возникновения электрической дуги и её негативные воздействия на элементы контактной сети.

Известные устройства защиты проводов ИВП от возгорания и воздействия электрической дуги построены с применением дополнительных конструкций, монтируемых на контактной подвеске. Ясно, что использование таких защитных устройств ведёт к увеличению массы и парусности подвески, к необходимости повышенной точности в изготовлении, монтаже и регулировке, к ухудшению токосъёма особенно при увеличенных скоростях. Кроме того, используемые способы предназначены для борьбы с последствиями горения дуги на ИВП.

Поэтому представляется более эффективным путь борьбы с самими причинами её появления с помощью электрических схем, не влияющих на конструкцию и массу контактной подвески.

Во второй главе диссертации рассматривается процесс движения Э под током по ИВП. На рисунке 1 представлена электрическая схема замещения тяговой сети с учётом напряжения дуги $e_d(t)$, максимальное значение которого зависит от длины дуги l_0 и минимального градиента дуги ΔU_d :

$$e_{Д \max} = k_{Д} \cdot t_{\max} = \Delta U_{Д} \cdot l_{\partial},$$

где $k_{Д}$ - коэффициент скорости нарастания напряжения в дуге.

Максимальное время горения дуги t_{\max} зависит от тока $I_{\text{эл}}$, и в соответствии со схемой замещения тяговой сети, рассчитывается следующим образом.

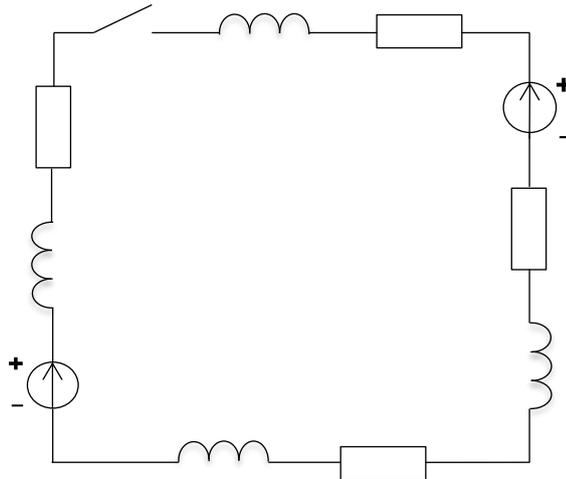


Рисунок 1 – Электрическая схема замещения тяговой сети с учетом $e_{Д}(t)$

$$E_{\text{сх}} = U_{Д0} - I_{\text{эл}} \cdot R_{\Sigma} = U_{Д0} - E$$

где $E_{\text{сх}}$ - падение напряжения на пассивных элементах схемы

$U_{Д0}$ - напряжение тяговой подстанции

E - ЭДС двигателей Э

$$I_{\text{эл}} = \frac{U_{Д0} - E}{R_{\Sigma}} + \frac{(k_{Д} \cdot L_{\Sigma})}{R_{\Sigma}^2} \cdot (1 - e^{-a \cdot t}) - \frac{k_{Д}}{R_{\Sigma}} \cdot t$$

В расчётах приняты: электровоз ВЛ-10 (8 двигателей); тип подвески М120+МФ100+А185; скорость Э $V_{\text{эл}} = 25$ км/ч; профиль пути равнинный. Э движется на полном поле при последовательно соединенных восьми двигателях и потребляет ток 130 А. Расстояние от подстанции до места ИВП $l_{\text{в}}$ – 2 км.

По обоснованным профессором В.Н. Пупыниным аналитическим зависимостям длина электрической дуги пропорциональна времени движения Э и зависит от пройденного им пути (рисунок 2):

$$l_{\partial} = f(t)$$

$$l_{\partial} = 1,57x = V_{эл}/3,6 \cdot t \cdot 1,57$$

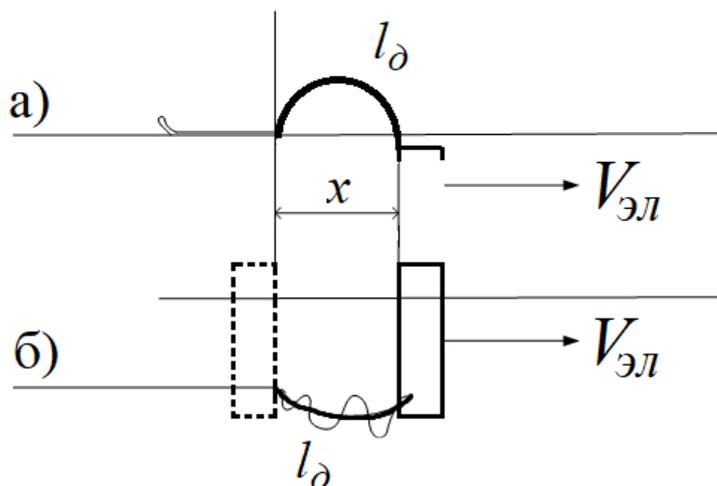


Рисунок 2. Процесс горения дуги между ветвью ИВП и токоприемником Э

Установлено, что за время $t_{max}=1.18$ секунды $I_{эл}$ достигнет нулевого значения и максимальная длина пути $x= 8.2$ м. Длина дуги $l_{\partial max}=12.86$ м превышает габаритные размеры контактной сети.

Дальнейшие исследования посвящены решению задачи модернизации РДШ. Основная цель исследования – сохранить защиту по приращению тока как эффективного средства от удаленных коротких замыканий, и, в то же время, исключить несанкционированное срабатывание БВ при проходе Э под током по ветвям ИВП. Предложено при модернизации, устанавливать по дополнительной катушке (ДК) 11 (рисунок 3) на магнитопроводах РДШ смежных ПЛТС. В свою очередь, выводы этих ДК связываются между со-

бой по схеме блокировки несанкционированного срабатывания БВ при проезде Э под током по ветвям ИВП.

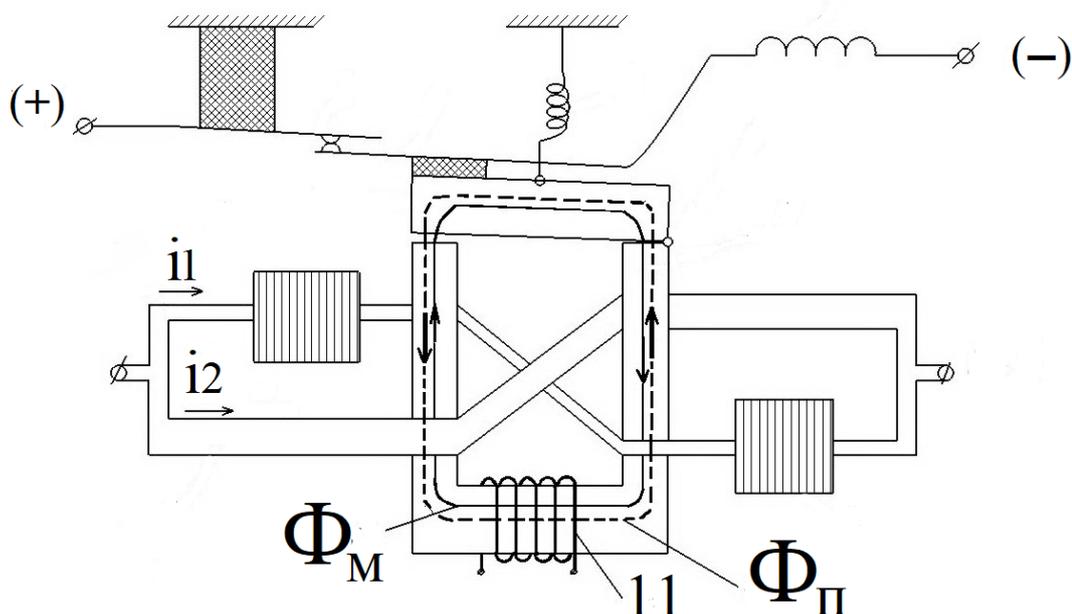


Рисунок 3 – Схема РДШ с установленной ДК (11) на магнитопроводе

В диссертации для определения напряжения на зажимах ДК и зависимости токов в шинах РДШ(М) от времени использовано компьютерное моделирование. С этой целью создана имитационная модель работы модернизированного РДШ – РДШ(М) и разработан программный комплекс, производящий расчёты с учётом переходных режимов работы.

Имитационное моделирование осуществлялось с помощью электронной лаборатории Electronics Workbench Version 4.1. Весь процесс моделирования разделен на три этапа (рисунок 4):

1. Э движется по участку, находящемуся до ИВП;
2. Э движется по ветвям ИВП, перекрывая их токоприемником;
3. Э движется по участку, находящемуся после ИВП.

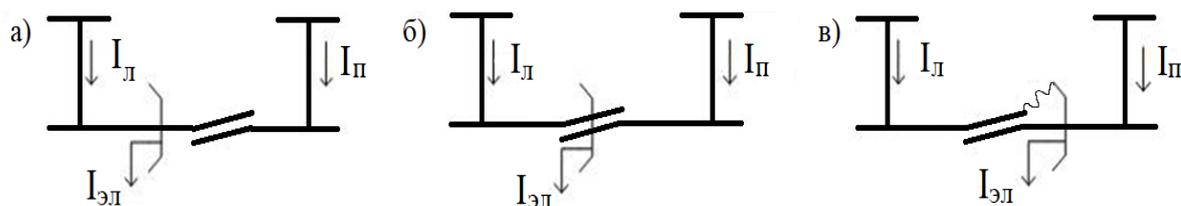


Рисунок 4 – Этапы движения токоприемника Э по ветвям ИВП: а – Э дви-

жется по участку, находящемуся до ИВП; б - Э движется по обеим ветвям ИВП; в - Э движется по участку, находящемуся после ИВП.

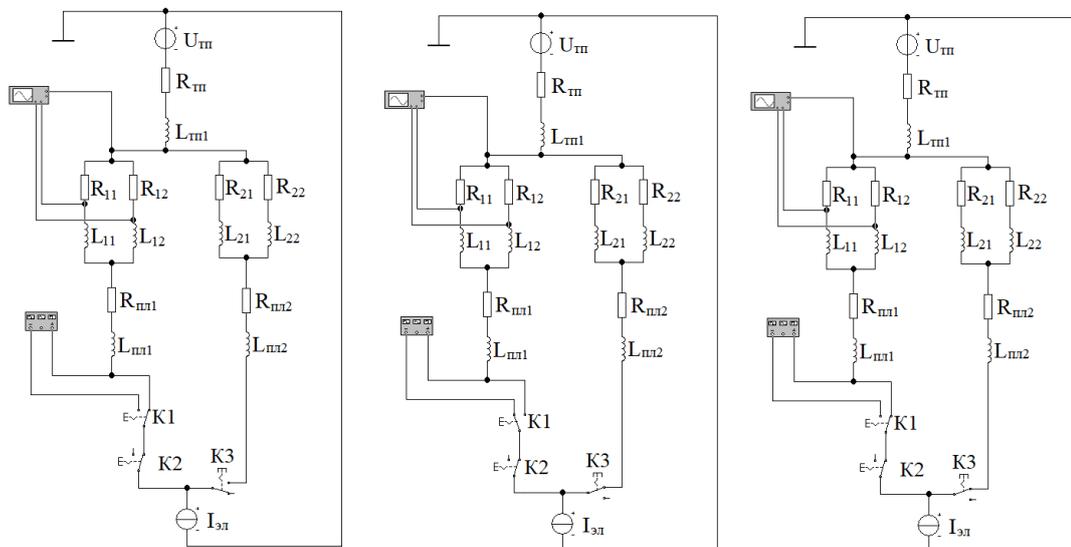


Рисунок 5 – Имитационные схемы моделирования по трём этапам движения Э

Цель моделирования – формирование общей электрической схемы (рисунок 5) и определение зависимости токов от времени в конкретных ветвях данной схемы.

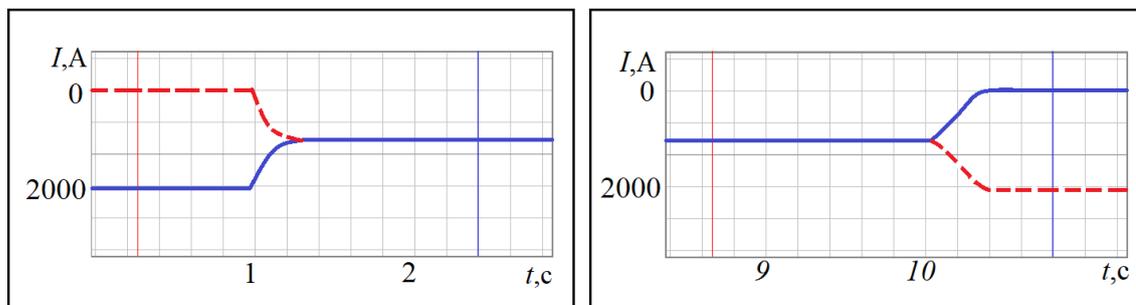


Рисунок 6 – Зависимость токов смежных ПЛТС от времени при переходе от первого ко второму (а) и от второго к третьему этапам моделирования (б)

На рисунке 6а ток левой ПЛТС – нижняя кривая: в начале величина тока 2000 А, и ток правой ПЛТС – верхняя кривая: в начале величина тока 0 А. После въезда на ИВП кривые сливаются воедино. На рисунке 6б ток ле-

вой ПЛТС падает до 0 А, ток правой ПЛТС нарастает до 2000 А после съезда с ИВП.

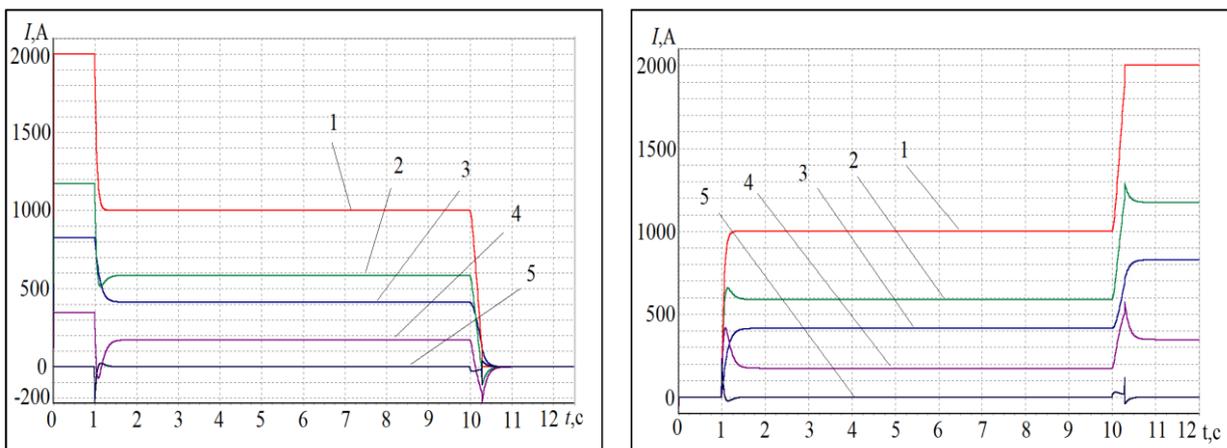


Рисунок 7 – Зависимости токов по ветвям РДШ(М) сверху вниз: 1 – $(i_2 + i_1)$, 2 – (i_2) , 3 – (i_1) , 4 – $(i_2 - i_1)$ и 5 - U_k в функции времени в течение всего времени моделирования на смежных ПЛТС

Конечным результатом расчётов в программе является получение зависимости наводящегося напряжения на зажимах одного витка ДК РДШ(М) в функции времени. Данный результат используется применительно к вариантам схем блокировок в третьей главе диссертации.

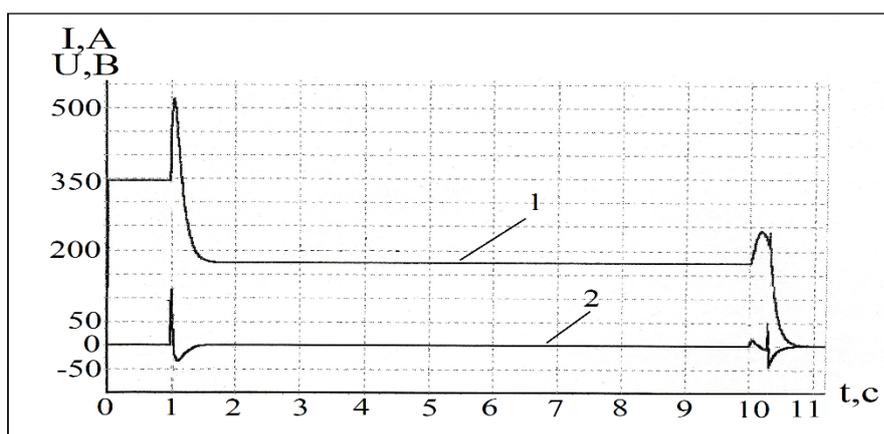


Рисунок 8 – Зависимости: 1 - $(i_2 - i_1)$ РДШ(М) и 2 - $U_{кат}$ в функции времени

В третьей главе диссертации представлен принцип действия РДШ(М) в схемах блокировки (варианты). Теория работы разработанных вариантов схем блокировки несанкционированного срабатывания БВ по-

стоянного тока при проходе токоприёмника Э под током по ветвям ИВП базируется как на известных принципах электромагнитной динамики при создании в магнитопроводе РДШ(М) противотока, демпфирующего основной магнитный поток, так и на распознавании одновременных приращений токов на смежных ПЛТС и компенсации наводимого при этом напряжения на выводах ДК РДШ(М), как в приведённой схеме на рисунке 9.

При отрицательном и положительном приращениях тока на смежных ПЛТС в ДК 11 РДШ(М) наводятся напряжения. Однако ДК 11 этих ПЛТС соединены последовательно таким образом, что их суммарное напряжение, подводимое к реле напряжения 10, равно нулю. Поэтому, если в реле напряжения 10 задать уставку по напряжению, отличную от нуля, но меньше величины напряжения, наводимого в ДК каждого РДШ(М), то при указанной ситуации оно не сработает. При этом, несмотря на срабатывание РДШ(М) 4 правой ПЛТС от приращения тока и размыкания его контактов, отключения выключателя 2 этой ПЛТС не произойдет, так как катушка управления выключателя 18 будет продолжать обтекаться током через нормально замкнутые контакты реле напряжения 10.

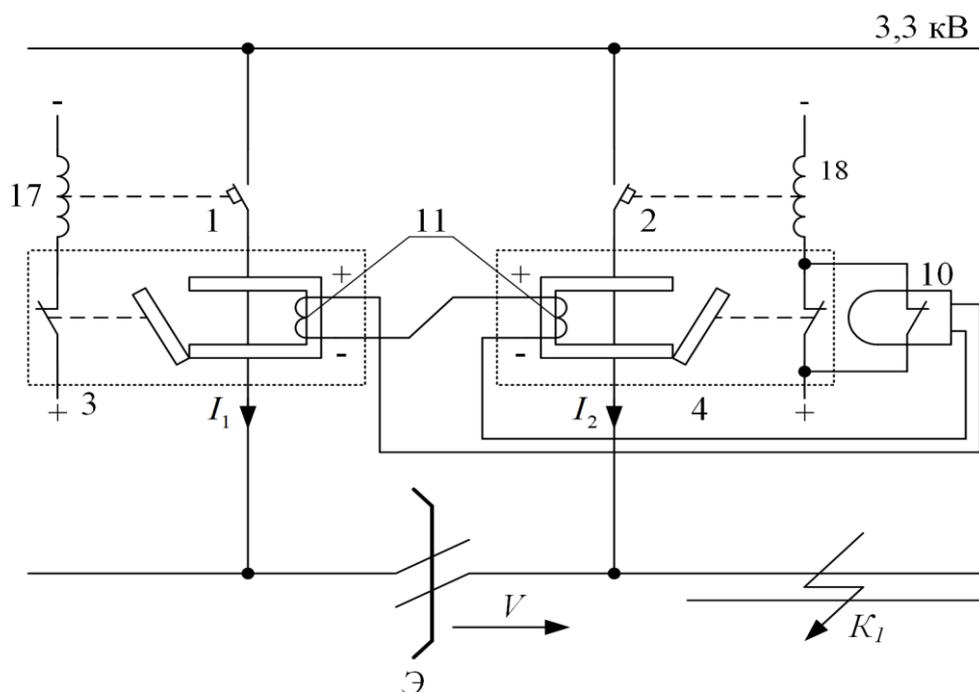


Рисунок 9 – Схема блокировки несанкционированного срабатывания БВ

Если произойдет КЗ в тяговой сети ПЛТС, (точка $K1$, рисунок 9), то выключатель 2 этой ПЛТС отключит это КЗ, потому что сработает РДШ(М) 4 этой ПЛТС и разомкнет свои нормально замкнутые контакты, и одновременно сработает реле напряжения 10, поскольку подводимое к нему напряжение в этом случае будет значительным, больше, чем величина уставки реле напряжения и являться напряжением, наводимым в ДК РДШ(М) 4 правой ПЛТС, на которой произошло КЗ (в данном случае ПЛТС, на которую въезжает Э).

В диссертации рассчитано количество витков ДК для каждого варианта схемы. Для использования реле напряжения построена схема его подключения к ДК с учётом обеспечения надёжной работы и помехоустойчивости схемы блокировки от наводимого напряжения, которое наводит оборудование, смонтированное вблизи установки. Достигается это увеличением количества витков ДК. Использовано реле напряжения типа 5П14А со следующими данными: $R_p = 28 \text{ Ом}$; $I_p = 25 \text{ мА}$; $U_p = 0.7 \text{ В}$. По результатам моделирования переходного процесса величина напряжения одного витка ДК $U_{1\sigma} = e_{1\sigma} = 25 \cdot 10^{-5} \text{ В}$.

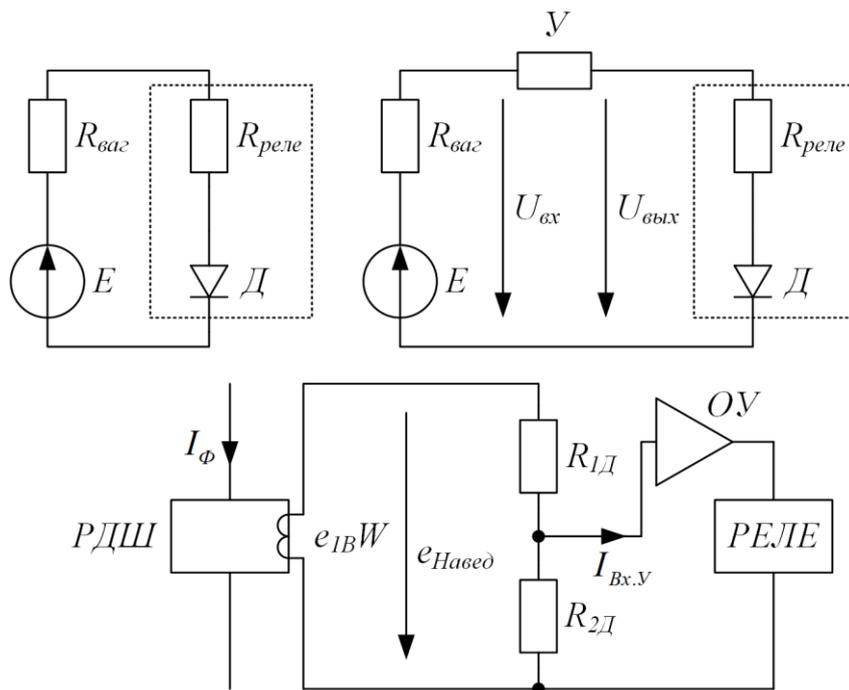


Рисунок 10 – Схема подключения реле напряжения к выводам ДК

Для срабатывания реле напряжения уровень тока на выходе ДК обеспечивается при помощи операционного усилителя (рисунок 10). Для обеспечения работы усилителя при увеличенном токе и выполнения условия $e_{1\delta} w \gg e_{навед}$, используется делитель напряжения.

Произведён расчет по уравнениям:

$$U_{вых\ y} = I_{вых\ y} R_{вых\ y} + I_{вых\ y} R_p$$

$$w = \frac{I_{ex\ y} R_{ex\ y}}{e - R_{1\delta} I_{ex\ y}}$$

По 1-му закону Кирхгофа для узла: $i_k = I_{2\delta} + I_{exy}$

$$i_k = \frac{e_{1\delta} w}{R_{1\delta} + \frac{R_{2\delta} R_{exy}}{R_{2\delta} + R_{exy}}}$$

где: $R_{1\delta}$ – сопротивление первого резистора делителя напряжения;

$I_{2\delta}$ – ток, проходящий через второй резистор делителя тока;

i_k – ток катушки.

И с соотношением $R_{1\delta} = 200R_{2\delta}$ по формуле:

количество витков $w=40$ необходимое и достаточное для работы схемы подключения реле напряжения в схеме блокировки, основанной на распознавании одновременных приращений токов на смежных ПЛТС, где $R_{2\delta} \ll R_{ex\ y}$; $R_{ex\ y} = 1000$ Ом; $R_{2\delta} = 10$ Ом; $R_{1\delta} = 2000$ Ом.

Найдено количество витков ДК для схемы блокировки, основанной на демпфировании основного магнитного потока в магнитопроводе противотоком (рисунок 3). Известно, что наводимое напряжение на зажимах ДК описывается формулой:

$$e1 = \frac{d\Phi_M}{dt} = w G_M \frac{d(i2 - i1)}{dt},$$

где G_M – магнитная проводимость воздушного зазора. Общая проводимость какого-либо воздушного зазора определяется как сумма проводимостей элементарных геометрических фигур (рисунок 12, 13), потоки, проходящие по ним, параллельны друг другу.

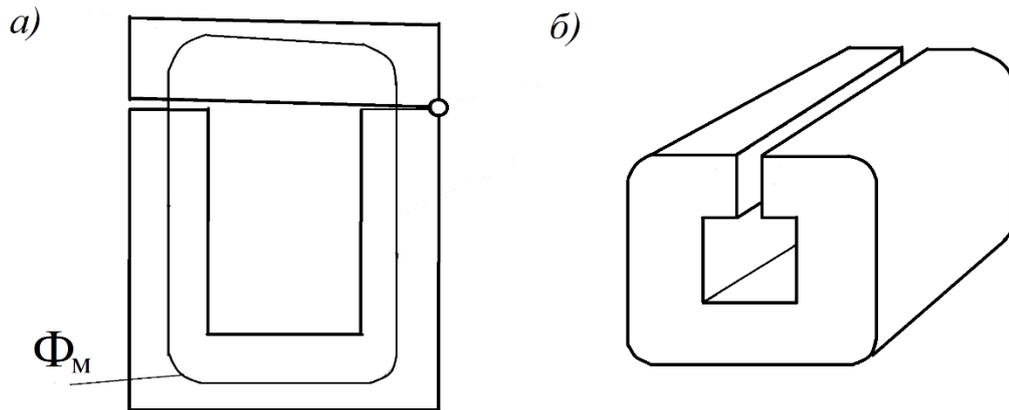


Рисунок 11 – Формы элементов РДШ: а) магнитопровод, б) – пакет железа

Исходя из геометрических параметров воздушного зазора магнитопровода (рисунок 11а):

$$G_{\text{магн}} = G_0 + 2 G_1 + 2G_2 + 4G_3 + 2G_4 + 2G_5 + 4G_6$$

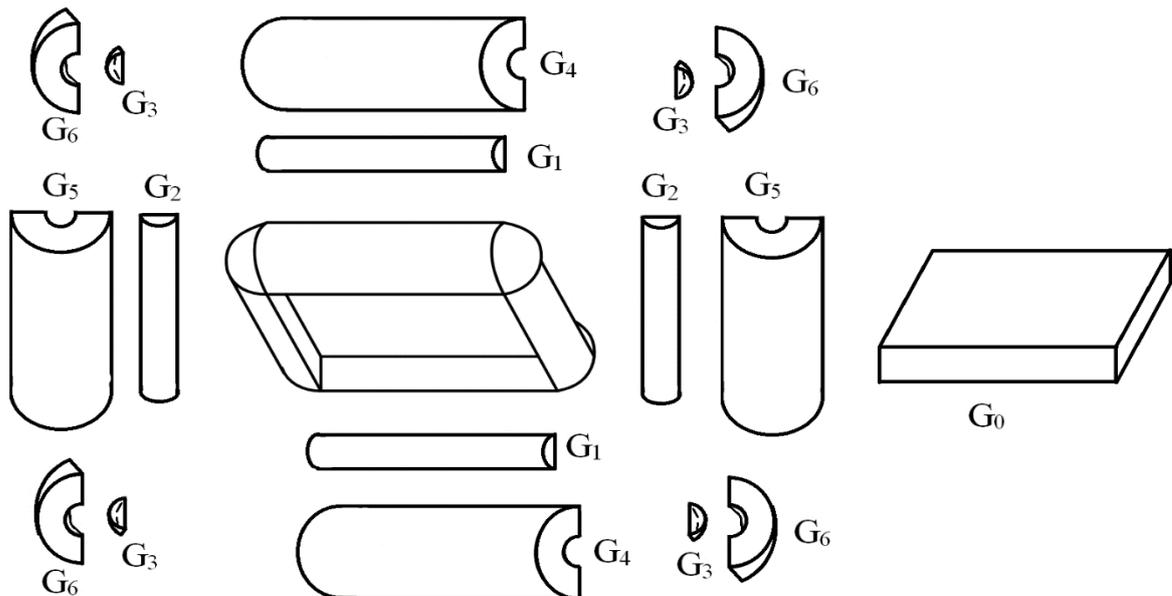


Рисунок 12 – Геометрическая форма магнитной проводимости воздушного зазора магнитопровода

Для воздушных зазоров пакета железа:

$$G_{\text{возд}} = G_0 + 2 G_2 + G_3 + 2G_4 + 2G_5 + G_6 + 2G_7$$

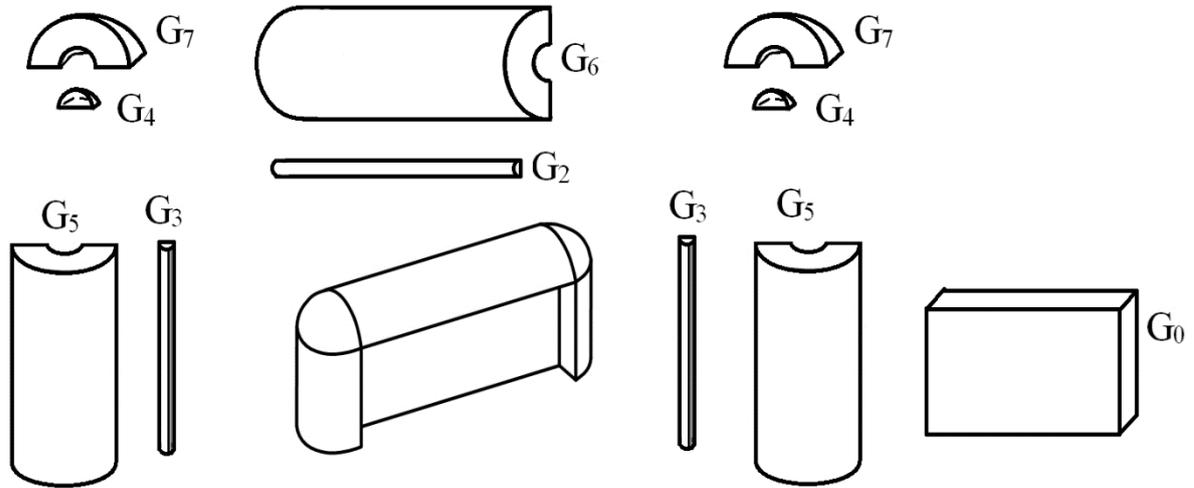


Рисунок 13 – Форма магнитной проводимости воздушного зазора пакетов железа

При приращении тока в сети в магнитопроводе возникает основной поток Φ_M (рисунок 3):

$$\Phi_M = \frac{d(i_2 - i_1) L_2}{dt}$$

Для демпфирования основного магнитного потока Φ_M противоположным Φ_{II} должно выполняться соотношение:

$$\Phi_M \geq \Phi_{II}$$

Ток i_k в ДК создает в магнитопроводе противоположный поток Φ_{II} :

$$\Phi_{II} = i_k L_k$$

$$i_k = \frac{wd(i_2 - i_1)}{dt} \cdot \frac{L_k}{R_k}$$

где L_k – индуктивность ДК, R_k – активное сопротивление ДК.

Если разница токов ($i_2 - i_1$) равна 100 А, то согласно расчётам необходимо 4200 витков ДК для создания демпфирующего магнитного потока Φ_n в магнитопроводе РДШ(М). Однако габариты магнитопровода не позволяют установку ДК с $w=4200$. Кроме того, при демпфировании потока, происходит вмешательство в работу самого РДШ(М), что усложняет работу оборудования подстанции в реальных условиях и негативно сказывается на работе БВ.

Установка же ДК с $w=40$ возможна. И положительным фактором является то, что, схема блокировки с использованием реле напряжения не вносит изменений в работу самого РДШ(М) и доступна в исполнении, как видно на рисунках 14. Это было доказано экспериментально при проведении натурных испытаний на действующей тяговой подстанции Московско-Курской дистанции электроснабжения и подтверждено документально. Акт испытаний представлен в диссертации.



Рисунок 14 – Схема блокировки с РДШ(М) на ПЛТС

В четвертой главе диссертации проведена оценка экономической эффективности инвестиционного проекта по модернизации РДШ смежных ПЛТС путем установки на их магнитопроводах ДК, связанных между собой схемой блокировки при этом сохраняя защиту по приращению тока и, в то же время, исключая срабатывание БВ при переходе Э под током на смежную зону питания.

Основываясь на необходимости использования разработанного устройства защиты и определив разность приведённых эксплуатационных затрат до и после внедрения схемы блокировки несанкционированного срабатывания БВ, рассчитаны рентабельность R и коэффициент экономической эффективности инвестиционного проекта E_0 (рисунок 15, 16).

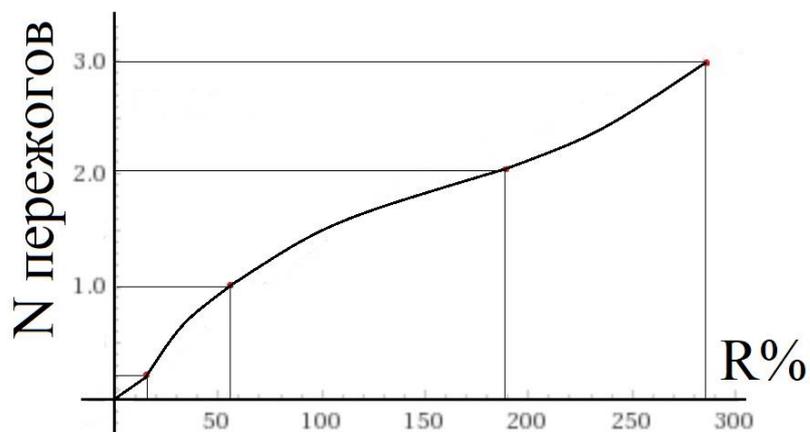


Рисунок 15 – Зависимость рентабельности проекта от количества пережогов

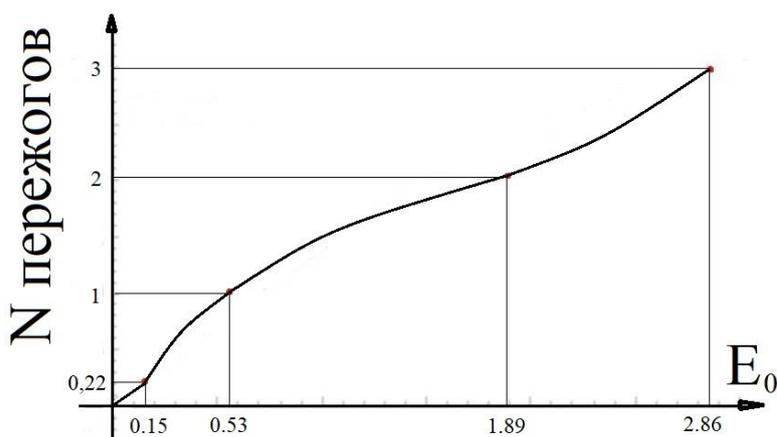


Рисунок 16 – Зависимость экономической эффективности от количества пережогов контактного провода в год после внедрения блокировки с РДШ(М)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенного анализа существующих способов защиты тяговой сети от пережогов электрической дугой при проходе Э под током по ветвям ИВП, предложен способ борьбы с причинами возгорания электрической дуги при помощи не влияющих на конструкцию контактной подвески электрических схем, подтверждающий преимущества перед механическими приспособлениями.

2. Выявлено, что при въезде на отключенную зону питания Э под током неизбежно возгорание электрической дуги. Таким образом доказана взаимосвязь работы смежных ПЛТС при проходе Э под током по ветвям ИВП и отрицательный фактор влияния на провода при отсутствии анализа совместной работы смежных ПЛТС.

3. Рассчитано время горения дуги, в несколько раз превышающее указанное в литературе значение. При этом, пройденное Э расстояние и величина дуги также подтверждают пережог контактной подвески.

4. Изложены этапы моделирования переходного процесса в тяговой сети при движении Э под током по ветвям ИВП.

5. С помощью специальной программы считывания и обработки величин токов в шинах РДШ(М), представлены данные в графическом виде. Конечным результатом является зависимость наводящегося напряжения в ДК РДШ(М) в функции времени.

6. Установлено: количество витков ДК для создания демпфирующего потока в магнитопроводе РДШ(М) настолько велико, что установка ее невозможна из-за ограниченности по габаритным размерам. Тем более нежелателен фактор вмешательства в работу самого РДШ(М) при создании противотока в магнитопроводе.

7. Установлено: количество витков ДК необходимое и достаточное для подключения реле напряжения в схеме блокировки, основанной на согласованной работе смежных ПЛТС. При этом учтено наводимое напряжение от оборудования подстанции.

8. Экономически обосновано внедрение схемы блокировки несанкционированного срабатывания БВ при проходе Э под током по ветвям ИВП при первом же аварийном случае.

9. Введены новые понятия в теории релейной защиты, связанные с блокировкой действия защит по анализу работы смежных ПЛТС.

10. Представлены методические рекомендации по расчету магнитных проводимостей воздушного зазора магнитопровода РДШ(М) и воздушного зазора пакетов железа на шинах РДШ(М).

11. Создана экспериментальная модель схемы блокировки несанкционированного срабатывания БВ с РДШ(М), апробированная на действующей тяговой подстанции.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

1. Заторская, Л.П. Модернизация защиты фидеров [Текст] / Л.П.Заторская // Мир транспорта. – 2007. –№4. – С. 72.

2. Заторская, Л.П. Оценка целесообразности использования блокировки несанкционированного отключения участка контактной сети постоянного тока [Текст] / Л.П. Заторская // Наука и техника транспорта. –2016. –№3. –С. 45.

3. Заторская, Л.П. Моделирование процессов в тяговой сети и параметры подключения блокировки [Текст] / Л.П. Заторская // Мир транспорта. –2017. – №1. – С. 76.

4. Заторская, Л.П. Проезд электровоза под током изолирующего воздушного промежутка тяговой сети постоянного тока [Текст] / Л.П.Заторская // Наука и техника транспорта. –2018. –№3. –С. 66.

патенты на изобретение

5. Заторская Л.П., Пупынин В.Н. «Схема защиты смежных фидеров тяговой сети постоянного тока (варианты)», патент на изобретение №2207688 от 2000.11.13.

6. Заторская Л.П., Пупынин В.Н. «Схемы защиты смежных фидеров тяговой сети постоянного тока (варианты)», патент на изобретение №2254657 от 20.06.2005.

в материалах конференций

7. Заторская, Л.П. Оценка целесообразности использования блокировки от несанкционированного отключения участка контактной сети постоянного тока [Текст] / Л.П.Заторская // 7-й Российский международный конгресс по интеллектуальным транспортным системам. Сборник трудов №18. Международная академия транспорта. – 2015. –С. 105.

8. Заторская, Л.П. Схема блокировки как защита от возгорания дуги на изолирующем воздушном промежутке тяговой сети постоянного тока [Текст] / Л.П.Заторская // Труды XVII научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». –2016. –С. II-81.

9. Заторская, Л.П. Защита проводов изолирующих воздушных промежутков тяговой сети постоянного тока от пережогов их электрической дугой [Текст] / Л.П.Заторская // Вестник МИИТа, выпуск 7. –2002. –С. 32.

10. Заторская, Л.П. Расчет параметров блокирующего реле напряжения схемы защиты изолирующих промежутков от пережогов проводов [Текст] / Л.П.Заторская // Труды IV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». –2003. – С.IV-35

11. Заторская Л.П. Повышение эффективности защиты тяговой сети постоянного тока от пережогов проводов воздушного промежутка электрической дугой [Текст] / Л.П.Заторская // Труды третьей научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». –2002. – С.V-2.

12. Заторская, Л.П. Моделирование переходного процесса при проходе токоприемника по воздушному промежутку тяговой сети постоянного тока [Текст] / Л.П.Заторская // Вестник МИИТа, выпуск 7. –2002. –С. 38.

Заторская Лада Павловна

**ЗАЩИТА СМЕЖНЫХ ПИТАЮЩИХ ЛИНИЙ
ТЯГОВОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА
НА БАЗЕ РЕЛЕ-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ШУНТОВ**

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Подписано в печать «__» _____ 2019г. Заказ № _____ Формат 60x90/16

Объём 1,5 усл. п.л.

Тираж 80 экз.

УПЦ ГИ РУТ (МИИТ), Москва, 127994, ул. Образцова, д.9, стр.9