

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента Никитина Константина Ивановича на диссертацию **Новобрицкого Владислава Александровича** на тему «Разработка способов выполнения релейной защиты воздушных линий электропередачи на основе измерений магнитного поля и оптических сигналов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Актуальность темы исследования: Для обеспечения бесперебойного электроснабжения всех категорий потребителей – от крупных промышленных производств до бытовых нагрузок домохозяйств – и передачи электроэнергии на дальние расстояния распространены воздушные линии (ВЛ) электропередачи (ЛЭП), которые обладают рядом преимуществ по сравнению с кабельными линиями за счёт возможности прокладки трассы на внешних опорах без использования непосредственной изоляции токоведущих частей. Однако за счёт своего открытого размещения и непосредственного взаимодействия с внешней средой ВЛ являются объектами, на которых наиболее часто происходят повреждения. Для своевременного выявления и ликвидации коротких замыканий (КЗ) на ВЛ применяется комплекс устройств релейной защиты (РЗ). В традиционном исполнении устройства РЗ получают информацию о параметрах аварийного режима в первичной сети через измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН). Вместе с тем применение данных измерителей сопровождается наличием ряда недостатков в виде больших затрат на создание изоляции между первичной и вторичной сетью, опасности для обслуживающего персонала при проведении работ во вторичных цепях, несовершенства принципа работы самих измерителей, перехода в режим насыщения для ТТ, ложной работы защиты, использующей дистанционный принцип действия при неисправностях в цепях напряжения или при наличии переходного сопротивления электрической дуги. Всё это в совокупности приводит к тому, что актуальными становятся иные методы и алгоритмы функционирования устройств РЗ ВЛ, основанные на альтернативных способах получения замеров и информации о повреждениях в первичной сети.

Таковыми вариантами могут стать способы выявления КЗ без непосредственного подключения измерительных преобразователей к высоковольтным ЛЭП. Так, в РЗ известны способы измерения токов по напряжённости магнитного поля (НМП) в окружающем пространстве. Однако разработанные ранее способы измерения НМП применимы в основном для случая, когда точки подвеса фазных проводов расположены на одной горизонтальной линии, тогда как в реальности фазные провода на одноцепных опорах могут иметь иные варианты размещения. Помимо выявления повреждений по замерам НМП известны из уровня техники и визуальные методы выявления дуговых КЗ оптическими сенсорами, однако до настоящего времени такие решения оставались неприменимыми для обеспечения защиты открытых областей

ВЛ, хотя современный уровень развития цифровых устройств, измерительных преобразователей и каналов связи позволяет выполнить такую защиту для ЛЭП или её участков. Таким образом, развитие указанных способов выполнения защит, условно называемых бесконтактными, является перспективным направлением совершенствования техники и алгоритмов РЗ для минимизации влияния ряда факторов, способных вызвать неправильную работу традиционного комплекса устройств РЗ.

Структура и объем работы: Общий объём диссертационной работы представлен на 232 страницах и содержит введение, четыре главы основного текста, заключение, список используемых источников в количестве 154 позиции, 4 приложения.

В первой главе производится оценка внешних факторов, оказывающих влияние на правильность работы устройств РЗ ЛЭП, а именно: насыщение ТТ, неисправности в цепях ТН, переходное сопротивление электрической дуги. Рассматриваются проблемы существующих принципов построения каналов связи для РЗ. Рассмотрены методы минимизации влияния данных факторов, достоинства и недостатки данных методов.

Во второй главе производится исследование ортогональных составляющих НМП и их совокупного действия при различных видах КЗ на одноцепной и двухцепной ЛЭП. Рассматриваются традиционные бесконтактные методы получения информации о параметрах первичной сети и способы получения замеров параметров режима каждой фазы с их использованием. Представлены результаты разработки защиты с абсолютной селективностью на датчиках магнитного поля (ДМП) для одноцепной и двухцепной ЛЭП, рассмотрено поведение защиты при внешних КЗ и КЗ в зоне действия защиты. Представлена постановка задачи оптимизации для выбора минимального количества ДМП при реализации защиты и для выбора точек оптимального размещения ДМП. Задача решена методом многопараметрической оптимизации с применением генетического алгоритма с помощью пакета «Optimization Toolbox» программно-вычислительного комплекса MATLAB.

В третьей главе представлена разработка устройства спектрально-дуговой защиты (УСДЗ) начального участка ВЛ и анализ факторов, влияющих на её надежность. Показана область применения данной защиты, а также её алгоритм функционирования и способ физической реализации. Приведено сравнение с существующими аналогами, использующими оптический принцип для защиты высоковольтного оборудования на открытых распределительных устройствах.

В четвертой главе приведены результаты замеров на физической модели всех составляющих НМП в оптимальных точках установки ДМП, проведено сравнение с расчетными значениями, выданы рекомендации по учёту различных схемно-режимных и расчетных условий для выбора уставок защиты, использующей ДМП. Приводится обоснование применения атмосферно-оптической линии связи (АОЛС) в качестве канала передачи данных для устройств РЗ. Представлена разработка прототипа защиты, использующей АОЛС как канал связи для своего функционирования. Приведено описание прототипа

устройства ДФЗ с использованием АОЛС в части алгоритмов и аппаратной реализации устройства.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

В приложениях содержатся сведения о существующих измерителях НМП промышленной частоты, а также информация об известных способах нивелирования негативных факторов, влияющих на ДМП. Рассмотрены применение магнитных усилителей-концентраторов магнитного поля, подбор параметров усилителей и магниточувствительного материала датчика для взаимокомпенсации их влияния на итоговые показатели при изменении температуры, применение экранов, усилителей и отражателей, использование одновременных замеров по вертикальной и горизонтальной составляющим НМП, применение жесткой ошиновки проводников в местах рядом с установкой ДМП и т. д. Приведены копии патента на полезную модель, 2 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, 3 актов внедрения результатов диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений, результатов и выводов, сформулированных в диссертации:

Достоверность и обоснованность результатов работы при исследовании процессов в традиционных ТТ обеспечена посредством проведения сравнения и оценки совпадения параметров и выходных характеристик на исследуемой модели ТТ и физического ТТ типа ТПЛ. В части исследования НМП достоверность обеспечивается сравнением замеров, полученных на расчётной математической модели и на уменьшенной действительной копии двухцепной ВЛ, выполненной в виде стенда. В части устройства, использующего для своей работы передачу данных на основе АОЛС, выполнена физическая реализация типоразмера устройства на базе Arduino для подтверждения работы программного алгоритма.

Новизна исследований и полученных результатов:

1. Обоснованы требования к измерительным ТТ, указывающие, что помимо проведения проверки по условию обеспечения требуемого времени до насыщения необходимо дополнительно учитывать и саму степень насыщения ТТ, а также время его размагничивания при обтекании ТТ током КЗ.

2. Разработана уточнённая динамическая модель электрической дуги, базирующаяся на дифференциальных уравнениях Касси.

3. Разработана модель для исследования магнитных полей трехфазных одноцепных и двухцепных ЛЭП высокого напряжения в режимах КЗ.

4. Доказана возможность реализации основной защиты ЛЭП с использованием ДМП для произвольно размещённых на опоре проводников одноцепных ЛЭП 6-110 кВ и двухцепных ЛЭП 35 кВ.

5. Разработаны алгоритмы определения оптимального размещения ДМП возле одноцепной и двухцепной опоры ЛЭП для получения минимальных результирующих замеров НМП при внешних КЗ и максимальных замеров при КЗ в зоне действия защиты.

Практическая значимость работы

Применение на практике устройств РЗ, основанных на бесконтактных методах получения информации о параметрах аварийного режима в первичной

сети через замеры НМП, оптического типа фиксации электрической дуги и беспроводного оптического способа передачи данных, позволяет отказаться от затрат на дорогостоящую изоляцию между первичной и вторичной сетью, а также позволяет обеспечить полностью безопасную работу для обслуживающего персонала. Помимо функции обмена информацией между полуккомплектами защит в начале и в конце ВЛ, устройства АОЛС могут рассматриваться как возможная альтернатива для передачи данных с первичной сети по радиоканалу. Практическую применимость указанных разработок подтверждают полученные акты внедрения результатов исследования: в учебный процесс ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», в производственную деятельность АО «ИЭСК» (г. Иркутск) и АО «Холдинг ЭРСО» (г. Москва)

Апробация работы и подтверждение опубликования основных положений работы

Результаты исследований широко апробированы участием автора в 3 международных, 3 всероссийских и одной научно-практической конференции, в отраслевых научно-технических совещаниях, в научных семинарах профильной кафедры университета.

Соответствие содержания автореферата положениям диссертационной работы

Автореферат диссертации полностью отражает основное содержание диссертационного исследования.

Замечания по диссертационной работе

1. На стр.18 автореферата, 21 строка сверху. Не указаны единицы изменения для значения «0,3», видимо техническая ошибка.

2. АОЛС – ненадежный канал. Во время густого тумана или пыльного ветра (как раз в этот период вероятность схлестывания проводов максимальна) распространение лучей даже для такого энергетически мощного спектра, как ультрафиолетовый может быть ограничено десятком метров.

3. Стр. 17 диссертации, 2 строка снизу «Наличие дуги может быть зафиксировано только оптическими сенсорами». Не совсем корректное утверждение, так как дуга содержит широкий спектр высокочастотных гармоник и обычно по этому признаку довольно надежно определяется это явление. В сети 0,4 кВ используется специальная защита от дуговых повреждений, основанная на этом принципе. Дугу надежно можно фиксировать также в радиоэфире.

4. При моделировании трансформатора тока для анализа работы релейной защиты не учтены труды Богдана А. В. [Повышение технического совершенства устройств защиты с ферромагнитными элементами на основе вычислительного эксперимента : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.14.02 / Новочеркасский гос. техн. ун-т. - Новочеркасск, 1994. - 36 с.], Засыпкина А. С., где используется простой математический аппарат для точного моделирования трансформаторов.

5. Исследуя влияние исправности цепей трансформатора напряжения на функционирование устройств релейной защиты автор указал на большое количество недостатков блокировок при неисправности в цепях напряжения и что

практически все они в определенных условиях могут отказывать и приводить к неправильным действиям РЗ. Однако автор не указал возможность использования направленной защиты с одной входной токовой величиной [Пат. № 2244994 РФ, МПК Н02Н 3/38. Способ определения направления мощности токовых защит/ К. И. Никитин. - № 2003120761/09; Заявлено 07.07.03; Оpubл. 20.01.2005, Бюл. № 2. – 5 с.: ил], что может быть при совместных технических решениях выходом из положения.

6. Стр. 106 диссертации, 2 строка снизу: напечатано «генерацияначальной», нет пробела, видимо техническая ошибка

7. Стр. 133 диссертации, 14 строка сверху: напечатано «услвоие», необходимо «условие», видимо опечатка;

8. Каким образом предполагается очищать линзу оптического датчика, если при неблагоприятных погодных условиях она может загрязняться, что будет приводить к потере чувствительности?

9. Стр. 154 диссертации, 4 строка и 7 строка сверху: под одним номером RU 2419941 вероятно два разных патента.

10. Поскольку ДМП размещаются не непосредственно под проводами ВЛЭП, а на некотором удалении, то на каждый из них оказывает влияние магнитное поле от соседних фаз. В итоге на каждом датчике получается сигнал пропорциональный трем последовательностям симметричных составляющих $k_1 \cdot I_1 + k_2 \cdot I_2 + k_0 \cdot I_0$. В дальнейшем эти сигналы тоже складываются и что получается в итоге непонятно. Нет сомнения, что система работоспособна, но хотелось бы видеть такой анализ.

Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»

Диссертационная работа Новобрицкого Владислава Александровича отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней»:

п.9. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой автором предложены и обоснованы научные положения и представлены технические решения, внедрение которых позволяет повысить эффективность всего комплекса устройств РЗ ЛЭП.

п.10. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации представлены сведения о практической полезности результатов и рекомендации по использованию научных выводов.

п.11-13. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях: 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 статья в издании, индексируемом базой данных Scopus. Технические решения подтверждены наличием патента на полезную модель и 2 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

п.14. Диссертация соответствует требованию указания ссылок на заимствованные материалы или отдельные результаты.

Общая оценка работы

В диссертационной работе решена важная задача по реализации способов выполнения алгоритмов функционирования устройств РЗ, использующих бесконтактные методы выявления аварийных режимов. Указанные обоснованные технологические решения направлены на снижение затрат на создание изоляции для измерителей устройств РЗ ВЛ 6-110 кВ, создания устройств РЗ в местах, не оснащённых традиционными измерителями, а также обеспечения безопасности персонала, что представляется благоприятными факторами для влияния на экономику страны.

Диссертация написана технически грамотным языком, выводы изложены аргументированно. Основные научные результаты работы опубликованы в рецензируемых отечественных и зарубежных изданиях, входящих в перечень, установленный Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

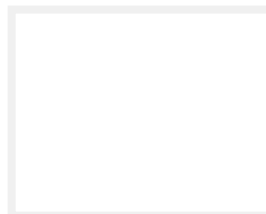
Сделанные замечания не снижают научной и практической значимости результатов диссертационной работы и в основном носят характер уточнений и пожеланий.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов, считаю, что Новобрицкий Владислав Александрович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Я, Никитин Константин Иванович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Новобрицкого Владислава Александровича (соискателя), и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

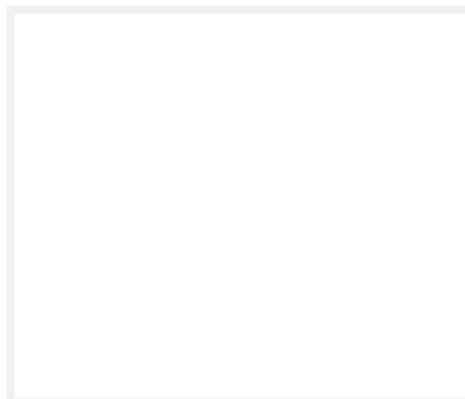
Доктор технических наук, профессор кафедры "Теоретическая и общая электротехника" Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет», доцент



Никитин
Константин
Иванович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет». Адрес 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11. Тел. +7-913-971-89-27. E-mail: n-c-i@mail.ru.

Сведения (подпись) Никитина К.И. заверяю.
Начальник управления персоналом
ФГАОУ ВО «ОмГТУ»



вских
2025 г.

Взгляд получен 28.11.2025г.
Сул / Семенов А.А.
С отзывом ознакомлен 28.11.2025г.
Новобрицкий В.А.