

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Кочетова Ивана Дмитриевича
на диссертацию Новобрицкого Владислава Александровича
**«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
научной специальности 2.4.3. – Электроэнергетика

Актуальность выбранной темы диссертационной работы

В настоящее время в связи с широким распространением микропроцессорных устройств (МП) релейной защиты (РЗ) для всех видов электрооборудования – генераторов, силовых трансформаторов, двигателей, кабельных и воздушных линий (ВЛ) электропередачи (ЛЭП) – значительно упростился процесс обработки данных по сравнению с электромеханическими и микроэлектронными устройствами РЗ. В связи с этим появилась возможность реализовать различные алгоритмы функционирования РЗ с применением обработки практических любых сигналов в режиме реального времени. Из всего вышеперечисленного электрооборудования статистически наибольшее количество повреждений и отключений наблюдается именно на ВЛ из-за того, что их токоведущие части не изолированы от внешней среды, а также в связи с тем, что они имеют наибольшие суммарные протяженности, что увеличивает вероятность повреждения на отдельно взятом участке ВЛ.

МП устройства являются частью комплекса вторичного оборудования и работают с низковольтными и слаботочными замерами, получаемыми через преобразователи в виде трансформаторов напряжения и трансформаторов тока (ТТ), подключаемых непосредственно в первичную сеть. Однако у данных измерителей имеется ряд ограничений из-за неспособности по принципу своего функционирования в полной мере осуществлять трансформацию всех переходных процессов и аperiodических составляющих, возникающих при повреждениях в первичной сети. Также при таких режимах в ТТ могут наблюдаться значительные погрешности и искажения измеряемого сигнала из-за влияния эффекта насыщения магнитопровода. Защиты, использующие органы направленности или дистанционные органы, могут отработать ложно при неисправности в цепях напряжения, так как зависят от значений измерений как токов, так и напряжений. При этом из уровня техники известны иные способы получения информации аварийного режима при повреждениях в первичной сети в виде коротких замыканий (КЗ): индуктивные катушки, герконы или гальваномагнитные преобразователи (датчики Холла, магнитотранзисторы и т. д.) в виде датчиков магнитного поля (ДМП). Данные измерители лишены ряда недостатков традиционных преобразователей и могут быть условно названы бесконтактными, так как размещаются на безопасном расстоянии от токоведущих частей. В связи с развитием современного уровня техники особую актуальность приобретают ДМП, так как в отличие от герконов они являются статическими элементами и имеют меньшую вероятность отказа, чем постоянно коммутирующие герконы.

Преимуществом ДМП перед катушками является их возможность измерения непосредственного сигнала напряженности магнитного поля (НМП), а не его производной. Таким образом, реализация алгоритмов релейной защиты, основанных на бесконтактных методах измерения, является актуальной задачей.

Оценка содержания диссертации

Диссертация содержит введение, 4 главы, заключение, список литературы, содержащий 154 наименования и 4 приложения. Общий объём работы составляет 232 страницы.

В первой главе рассматриваются факторы, оказывающие влияние на функционирование традиционного комплекса устройств РЗ. Указывается, что защиты могут некорректно работать при насыщении ТТ, при неисправностях в цепях напряжения, при появлении переходного сопротивления дуги в месте КЗ. Приведено исследование надёжности работы каналов связи на основании статистических данных, где доля неисправностей релейной защиты из-за канала связи составляла более 40% от всех случаев.

Во второй главе для создания бесконтактной защиты на базе ДМП проведено исследование магнитного поля для многопроводной системы переменного тока на основании закона Био-Савара-Лапласа. Произведена визуализация результатов в виде карты НМП возле одноцепной и двухцепной ЛЭП при различных видах КЗ. Рассмотрены известные из уровня техники способы измерения токов линии, а также бесконтактные измерители. Рассмотрены недостатки существующих алгоритмов получения информации об аварийных режимах в первичной сети через использование ДМП. Существующие принципы рассчитаны на получение замеров фазных токов через ДМП и дальнейшее их использование как в традиционных видах РЗ, такие модели составлены для проводников, расположенных в одной горизонтальной плоскости, и не учитывают произвольное расположение фаз большинства одно- и двухцепных ЛЭП. Автором показана возможность разработки алгоритмов защит на базе измерений ДМП, основанных на дифференциальном принципе действия и позволяющих реализовать защиту одноцепных линий 6-110 кВ и двухцепных ВЛ напряжением 35 кВ. Представлены алгоритмы определения оптимальных точек размещения ДМП для получения максимальных результирующих замеров НМП при всех видах внутренних КЗ при минимальном небалансе при внешних КЗ.

В третьей главе показаны принцип действия и реализация разработанного устройства спектрально-дуговой защиты от дуговых КЗ на линиях малой протяжённости. Защита реагирует на изменение светового потока при появлении вспышки дуги, дополнительно через ДМП фиксирует приращение НМП при КЗ. Определены условия, при которых ВЛ можно считать линией малой протяженности и на которую рекомендуется устанавливать разработанное устройство спектрально-дуговой защиты.

В четвертой главе проведена верификация полученных результатов путём сравнения замеров среднеквадратичного значения НМП для каждой ортогональной составляющей НМП, снятых на уменьшенной модели двухцепной ЛЭП и

полученных на аналогичной математической модели. Погрешность измерений составила не более 10%, что является приемлемым результатом. Приведены рекомендации для выбора уставок защиты на базе измерений ДМП, являющейся в первом приближении аналогом ДЗЛ. В части передачи данных для основных защит ЛЭП малой протяжённости в качестве альтернативы традиционным ВЧ каналам и ВОЛС предложено применение атмосферной оптической линии связи (АОЛС). Приведенный обзор современных решений показал, что существующие устройства АОЛС способны обеспечивать необходимые показатели надежности при расстоянии передачи данных до трёх километров при любых погодных условиях. Для верификации и проверки применимости решения разработан прототип ДФЗ с каналом передачи данных по АОЛС на базе Arduino Nano, подтверждающий возможность его применения на ВЛ малой протяженности.

В заключении подведены основные выводы диссертационного исследования. Представлены направления и перспективы дальнейшего развития приведенных разработок. Даны рекомендации по дальнейшему использованию и области применения.

В приложениях показаны существующие современные устройства, использующие ДМП для измерения НМП промышленной частоты. Показаны способы нейтрализации негативных внешних факторов на замеры НМП от гальваномагнитных ДМП. Представлены акты внедрения, патент на полезную модель и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, результатов, выводов, и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций базируется на корректном использовании методов математического анализа, положений теоретических основ электротехники и релейной защиты, теории цифровой обработки сигналов, методов математического и физического моделирования. Моделирование процессов производилось в среде имитационного моделирования Simulink, а разработка программных модулей – с использованием программного комплекса MATLAB. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается верификацией результатов теоретических исследований с результатами имитационного моделирования и натурными испытаниями, апробацией в физическом исполнении полученных результатов. Представленные в диссертационной работе основные научные положения, выводы по главам, заключительные выводы и рекомендации являются в полной мере обоснованными.

Научная новизна положений, выводов и рекомендаций

1. Для оценки влияния насыщения электромагнитных ТТ на работу устройств РЗ предложено производить учёт размагничивающего действия от тока КЗ со скоростью затухания, обусловленной постоянной времени вторичной цепи ТТ, в отличие от используемого метода учёта только времени до насыщения ТТ. Однако, даже предложенный учёт размагничивающего действия тока КЗ не позволяет реализовать алгоритмы защиты, основанные на измерениях с электромагнитных

ТТ и имеющие необходимые времена и характеристики срабатывания. Ввиду наличия данных недостатков электромагнитных ТТ предложены альтернативные способы получения информации о параметрах режима первичной сети на основе измерений НМП.

2. Разработаны новые принципы реализации защиты линий электропередачи с использованием замеров НМП, получаемых с ДМП, посредством применения нового способа обработки данных с возможностью реализации основной защиты ВЛ 6-110 кВ как на одноцепной опоре с произвольным расположением проводов, так и на двухцепной ВЛ 35 кВ. Представленный подход не имеет ограничений к расположению проводов на опоре, в отличие от прежних методов реализации защиты на основе измерений ДМП, которые могли функционировать при условии, что все токоведущие части расположены на одной горизонтальной линии или в форме треугольника.

3. Разработана динамическая модель дуги при неметаллических КЗ, позволяющая производить учёт влияния переходного сопротивления на замеры сопротивления для дистанционной защиты с созданием функции обратной связи и периодического измерения переходного сопротивления, в отличие от ранее используемых методов моделирования сопротивления дуги через стационарное постоянное активное сопротивление, дающие значительную погрешность определения замера сопротивления и приводящие к отказу срабатывания ступеней защиты.

Ценность для практики результатов исследования

Применение защиты иного принципа действия, не зависящего от токовых цепей и цепей напряжения, позволяет дополнить существующий комплекс устройств РЗ, обеспечить его дополнительным резервированием и перекрыть возможные недостатки. Также значимо использование защиты подобного типа для ВЛ с отсутствием ТТ с одной из сторон, где нет физической возможности установки основной защиты, или это является дорогостоящим решением. Применяемые решения лучше всего подходят для ВЛ малой протяженности до двух - трёх километров, где нет возможности выбора уставок ступенчатых защит с нулевой выдержкой времени.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертации и опубликованные работы в достаточной степени отражают содержание, методы исследования и результаты диссертационной работы. Автореферат объёмом 20 страниц даёт полное представление об основных результатах и о выполненной работе.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертационной работе при анализе влияния сопротивления дуги на работу дистанционной защиты отмечается, что для протяженных линий результаты замеров сопротивлений для классической и динамической модели примерно сходятся, в то время как для коротких линий (менее 10 км) они расходятся, что может привести к затягиванию срабатывания защиты из-за выхода замера за

характеристику своей ступени. Была ли проведена количественная оценка расхождения результатов определения замеров сопротивления по этим моделям? По результатам, представленным на рисунке 1.27, не понятно, какую погрешность в общем случае дает классическая модель по сравнению с динамической, и не даст ли более точный расчет параметров срабатывания ступени дистанционной защиты необходимый эффект?

2. При выборе мест установки ДМП рассматривались различные виды КЗ, которые могут возникнуть на рассматриваемой ЛЭП с конкретной конфигурацией опор. Его выбор осуществлялся с применением генетического алгоритма искусственного интеллекта на основе рассмотрения, как понимается, большого числа возможных повреждений на ЛЭП. Какие исходные данные в части режимов повреждений были предоставлены данному алгоритму для определения оптимальной точки подвеса ДМП? Рассматривались всевозможные повреждения на электропередачи через разные переходные сопротивления с различными параметрами энергосистем или количество режимов было ограничено исходя из некоторых условий эксплуатации ЛЭП?

3. При реализации защиты ВЛ с использованием устройства спектрально-дуговой защиты может ли возникнуть мертвая зоны защиты, не покрывающейся углом обзора УСДЗ?

4. В работе присутствуют грамматические ошибки, например, стр. 44 «...может также быть заложено дополнительного переходной сопротивление в месте...», стр. 158-159 «Этого можно добиться, если расстояния на такое расстояние имеется возможность проложить провод...» и др.

Соответствие диссертации критериям «Положение о присуждении ученых степеней»

Диссертационная работа Новобрицкого Владислава Александровича соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842 (далее – Положение), предъявляемых к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук:

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития отечественной электроэнергетики отрасли страны (п. 9 Положения).

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствует о практическом использовании полученных автором научных результатов (п. 10 Положения).

Основные результаты диссертации опубликованы в 3 рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, 1 статья, индексируемая в международной базе данных Scopus, а также представлен 1 патент на полезную модель и 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ (п.11 – 13 Положения).

В диссертации корректно, правомерно и в полном объеме приведены ссылки на авторов и источники заимствованных материалов (п.14 Положения).

Общее заключение по диссертации

Содержание диссертационной работы соответствует поставленным задачам и подробно отражает последовательно их решения. Текст диссертационной работы изложен научным языком. Материалы работы представлены в доступном и достаточном для понимания объеме.

Эффект от использования результатов работы заключается в повышении надежности электроснабжения потребителей в ЕЭС России за счёт реализации быстродействующих защит с абсолютной селективностью в случаях насыщения электромагнитных ТТ, отсутствия ТТ с приёмной стороны, а также в случае отсутствия свободных обмоток у существующих ТТ и для линий малой протяжённости.

Отмеченные замечания не снижают положительной оценки диссертационной работы, автор которой, Новобрицкий Владислав Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. – Электроэнергетика.

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

Официальный оппонент

Кандидат технических наук
Ведущий инженер-исследователь
отдела разработки релейной защиты и автоматики
Общество с ограниченной ответственностью
«Релематика»

«18» ноября 2025

Кочетов Иван Дмитриевич

Сведения (подпись) Кочетов:

Директор по персоналу ООО

Юва Елена Александровна

«18» 11 2025 г.

Общество с ограниченной ответственностью «Релематика»
(ООО «Релематика»). Адрес: 428020, Россия, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 1.
Тел. +7 (903) 063 23-65. E-mail: kochetov_id@relematika.ru.

Созвон по телефону 28.11.2025г. Проф. Кочетов И.Д. /
С отзывом ознакомлен 28.11.2025г. Новобрицкий В.А.