

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертации Воробьевой Екатерины Андреевны на тему: «Совершенствование принципов выполнения адаптивных токовых и адмитансных защит от замыканий на землю в кабельных сетях 6–10 кВ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Для рассмотрения официальному оппоненту представлены следующие материалы:

- 1) диссертационная работа на 206 страницах машинописного текста формата А4, состоящая из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы;
- 2) автореферат на 20 страницах формата А5.

Актуальность темы диссертации

Более половины вырабатываемой в РФ электроэнергии передается потребителям систем промышленного и городского электроснабжения через распределительные сети напряжением 6–10 кВ. Необходимость увеличения надежности электроснабжения этих сетей обусловила их особый режим нейтрали: изолированный или компенсированный. В этом случае однофазные замыкания на землю (ОЗЗ), доля которых достигает 70-90% от общего количества повреждений сети, перестают быть короткими и не нарушают электроснабжения потребителей. Но это не отменяет необходимости селективного распознавания и устранения однофазных замыканий, что сделать чрезвычайно сложно, особенно в случае замыкания на землю через перемежающуюся дугу (ДПОЗЗ), сопровождающиеся опасными для всей распределительной сети перенапряжениями.

Сложность селективного распознавания ОЗЗ подтверждает тот факт, что до сих пор нет не существует единых общепринятых принципов проек-

тирования защиты от ОЗЗ, как, например, для защит от междуфазных КЗ. Существует множество различных устройств защиты от ОЗЗ, но ни одно из них не может быть признано универсальным и комплексным решением проблемы и не удовлетворяет полностью всем требованиям эксплуатирующих организаций.

К перспективным принципам выполнения защиты от ОЗЗ, позволяющим обеспечить повышение их технического совершенства, относятся практически не применяемые в настоящее время в России:

- 1) адаптивные токовые защиты нулевой последовательности;
- 2) направленные и ненаправленные защиты, основанные на контроле проводимости (адмитанса) нулевой последовательности или пропорциональной ей величины.

Объектом исследований диссертационной работы Воробьевой Е.А. являются распределительные кабельные сети напряжением 6–10 кВ систем промышленного и городского электроснабжения, работающие с изолированной нейтралью или с резонансным заземлением нейтрали через ДГР. Предмет исследований – принципы выполнения и алгоритмы функционирования адаптивных токовых и адмитансных устройств защиты от ОЗЗ в указанных сетях. Таким образом, актуальность диссертационной работы Воробьевой Е.А. неоспорима и не вызывает сомнений.

Оценка структуры диссертации, ее содержания диссертации, завершенность в целом

Содержание глав диссертационной работы Воробьевой Е.А. объединено внутренним единством для достижения поставленной цели.

Во введении диссертационной работы обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цель, задачи и направления ее решения, раскрывается научная новизна и практическая значимость исследования, приводятся данные об апробации и внедрении результатов исследования в практику.

В главе 1 рассмотрены основные особенности и характеристики кабельных сетей 6–10 кВ, определяющие параметры электрических величин переходного процесса ОЗЗ; показаны методы и модели для анализа переходных процессов при ОЗЗ в кабельных сетях 6–10 кВ; дан анализ влияния частотных характеристик трехжильных кабелей 6–10 кВ на точность расчетов переходных процессов при замыканиях фазы на землю; проанализированы факторы, влияющие на соотношения токов и напряжений нулевой последовательности в переходных режимах при дуговых замыканиях на землю в кабельных сетях 6–10 кВ.

В главе 2 рассмотрены критерии оценки способов выполнения и устройств защиты от замыканий на землю в кабельных сетях среднего напряжения. Дан аналитический обзор известных способов выполнения адаптивных токовых защит от замыканий на землю. Выполнен аналитический обзор известных способов выполнения и исполнений адмитансных защит от замыканий на землю. Показана общая оценка эффективности применения известных способов выполнения адаптивных токовых и адмитансных защит от замыканий на землю в кабельных сетях 6–10 кВ.

В главе 3 приведены результаты разработки и исследования принципов выполнения адаптивных токовых защит от ОЗЗ в кабельных сетях 6–10 кВ. Разработана адаптивная максимальная токовая защита от ОЗЗ в кабельных сетях с изолированной нейтралью и с высокоомным заземлением нейтрали. Разработана мультисоставная адаптивная токовая защита от ОЗЗ в кабельных сетях 6–10 кВ с изолированной нейтралью и с высокоомным заземлением нейтрали. Разработана мультисоставная адаптивная токовая защита нулевой последовательности от ОЗЗ в компенсированных кабельных сетях 6–10 кВ, основанная на использовании значений высокочастотных составляющих тока и производной напряжения нулевой последовательности в диапазоне частот до ~ 2 кГц.

В главе 4 приведены результаты разработки и исследований принципов выполнения адмитансных защит от замыканий на землю в кабельных сетях

6–10 кВ. Разработана совокупность принципов выполнения направленной и ненаправленной мультимчастотной адмитансной защиты от ОЗЗ в кабельных сетях с изолированной нейтралью, с высокоомным заземлением нейтрали, с заземлением нейтрали через ДГР.

Разработано техническое задание для НПП «ЭКРА» на экспериментальный образец комплексной защиты от ОЗЗ, включающей, кроме традиционных функций защиты от ОЗЗ, также функции универсальной мультимчастотной адаптивной токовой защиты и универсальной мультимчастотной адмитансной защиты от ОЗЗ.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы и выводы.

Содержание диссертационной работы соответствует научной специальности 05.14.02 (Электрические станции и электроэнергетические системы), полностью отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (п. 9) ВАК РФ.

Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы.

Достоверность и обоснованность полученных результатов определяются корректностью принятых допущений, использованием методов классической теории электрических цепей и теории электромагнитных переходных процессов в ЭЭС, сходимостью результатов, полученных аналитическими методами и на имитационных математических моделях, с данными исследований на физических моделях и с результатами исследований других авторов, опубликованными в литературных источниках, а также с данными исследовательских и лабораторных испытаний макетного образца адаптивной токовой и экспериментального образца максимальной и направленной адмитансной защиты от ОЗЗ для кабельных сетей 6–10 кВ.

Научная новизна результатов:

1 Разработана совокупность новых методов повышения точности моделирования переходных процессов при ОЗЗ в кабельных сетях 6–10 кВ при исследованиях динамических режимов функционирования защит, включающие модификацию аналитического решения уравнений переходных процессов при замыканиях на землю на основе двухчастотной схемы замещения, методику эквивалентирования имитационных моделей кабельных сетей 6–10 кВ, методику приближенного учета зависимости индуктивностей трехжильных кабелей от частоты токов переходного процесса.

2 Разработан новый способ модификации адаптивной токовой защиты от ОЗЗ в кабельных сетях с изолированной нейтралью и с высокоомным заземлением нейтрали, основанный на использовании соотношений мгновенных значений для составляющих основной частоты тока и производной напряжения нулевой последовательности.

3 Созданы новые принципы выполнения мультимчастотной адаптивной токовой защиты нулевой последовательности от ОЗЗ в компенсированных и некомпенсированных кабельных сетях 6–10 кВ, обеспечивающие адаптацию защиты как к влиянию переходного сопротивления в месте повреждения, так и к влиянию переходных процессов при дуговых перемежающихся замыканиях.

4 Разработаны новые принципы выполнения ненаправленной и направленной мультимчастотной адмитансной защиты от ОЗЗ в компенсированных и некомпенсированных кабельных сетях 6–10 кВ, обеспечивающие высокую динамическую устойчивость функционирования при замыканиях через перемежающуюся дугу.

Практическая значимость полученных результатов

1 Разработанная методика эквивалентирования имитационных моделей кабельных сетей 6–10 кВ упрощает и ускоряет анализ влияния переходных

процессов при ОЗЗ на динамическую устойчивость функционирования защит без существенной потери точности.

2 Результаты исследований на имитационных моделях кабельных сетей 6–10 кВ с различными режимами заземления нейтрали позволяют увеличить адекватность оценки эффективности функционирования мультимастотных адаптивной токовой и адмитансной защит от ОЗЗ при устойчивых и дуговых замыканиях на землю.

3 Результаты сравнительного анализа эффективности применения мультимастотных адаптивной токовой и адмитансной защит от ОЗЗ для кабельных сетей 6–10 кВ позволяют производить рациональный выбор вариантов защит.

4 Разработанный экспериментальный образец комплексной защиты от ОЗЗ (Техническое задание для выполнения НИИ «ЭКРА» на базе микропроцессорного терминала МиР), включающий, кроме традиционных функций защиты от ОЗЗ, также функции универсальной мультимастотной адаптивной токовой защиты и универсальной мультимастотной адмитансной защиты от замыканий на землю, разработанных в диссертации, позволит обеспечить высокую эффективность функционирования защиты при всех разновидностях ОЗЗ, включая металлические УОЗЗ, УОЗЗ через большое переходное сопротивление, дуговые ОЗЗ и КрОЗЗ.

Внедрение и реализация результатов работы

Исследования в выбранном направлении проводились автором в рамках федеральной целевой программы (уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57716X0215).

Разработанные в диссертации принципы выполнения, структурно-функциональные схемы и алгоритмы функционирования универсальных мультимастотных адаптивной токовой и адмитансной защит от ОЗЗ использованы ООО НИИ «ЭКРА» при разработке макетных образцов защит и экс-

периментального образца комплексной защиты кабельных сетей 6–10 кВ от замыканий на землю.

Результаты исследования внедрены в учебном процессе на кафедре «Автоматическое управление электроэнергетическими системами» ИГЭУ при подготовке магистров по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Апробация работы: результаты исследований опубликованы в 23 работах, из них 4 в изданиях по перечню ВАК, а также 19 в тезисах докладов и статьях международных научно-технических конференций.

Результаты исследований докладывались и обсуждались на многочисленных международных, всероссийских и региональных семинарах и конференциях.

Основные замечания и вопросы по диссертационной работе:

1. Как сочетаются разработанные решения с принятой практикой РЗА, нормативными документами и удовлетворяет ли Техническим требованиям к микропроцессорным устройствам РЗА Россети (СТО 56947007-29.120.70.241-2017), в которых перечислены требования к РЗ от ОЗЗ? Проверились ли алгоритмы по типовой Программе функциональных испытаний устройств защиты от ОЗЗ Россети?

2. В электроэнергетике в настоящее время происходит переход на новые «цифровые» технологии управления, в том числе системе релейной защиты, внедряются стандартизированные системы связи (МЭК 61850). Возможно ли применение этих новых технологий в представленных в диссертации разработках? Как с их помощью увеличить техническое совершенство защиты от ОЗЗ?

3. В работе выбрано неудачное определение «адаптивной РЗ», на взгляд рецензента. Существует много определений «адаптивной РЗ», однако устоявшегося понятия до сих пор нет. В общем виде адаптивность – это при-

способление. В чем заключается адаптивность (приспособление) разработанного решения? Приспособление только к переходному сопротивлению?

4. Спорна правомерность перехода от формул (3.13-3.14) к (3.15-3.16) на стр. 111. Не теряются ли отрицательные значения?

5. В гл. 1 (стр. 31) показано, что установка разрабатываемых защит от ОЗЗ возможна только на головных участках городской распределительной сети в центрах питания (ЦП) и распредпунктах (РП). Непонятно, как предлагается выполнять селективную защиту от ОЗЗ «в глубине» радиально-магистральных ЛЭП, которые могут питать многие десятки трансформаторных пунктов?

6. На стр. 39 и далее заявлено повышение точности расчета, однако численные показатели, подтверждающие это, не приведены. Кроме того, возникает вопрос, насколько важно повышение точности расчетной модели, если в эксплуатирующих организациях информация по характеристикам распределительных сетей 6-35 кВ зачастую имеет крайне низкую степень точности, является устаревшей и неактуальной? Учитывается ли фактор старения изоляции?

7. В п.1.3 диссертации уточняются индуктивные сопротивления кабельных линий для произвольных частот тока. Зачем в п. 1.3.2 производятся расчеты от 5 кГц и выше, если ранее был сделан вывод о необходимости рассмотрения только диапазона частот 50-2000 Гц? Непонятно, почему не упомянуты частотные характеристики ёмкостных сопротивлений?

8. Почему на стр. 68-69 диссертации при расчете действующих значений тока и напряжения приняты разные окна интегрирования: от примерно 0,01 сек на стр. 68 до примерно 0,6 сек на стр. 68? Это будет сильно влиять на обоснованность вывода 1.5.6 на стр. 70.

Неясно, в чем принципиальное различие адаптивных защит с коэффициентом b , описанных стр. 76 и стр. 103?

9. На рис. 3.7а на стр. 122 показан процесс запуска пускового органа защиты и, через 0,55 сек сравниваемая величина становится равной нулю,

так же как и уставка, однако возврата не происходит. При каком условии происходит возврат пускового органа, предусмотрен ли он?

10. Почему на рисунке рис. 3.7а на стр. 122 среднеквадратичное значение тока $I_{\text{ср}}$ увеличивается до 0,1 сек и далее плавно, а не ступенчато? Ведь график $I_{\text{ср}}$ начинается с очень коротких импульсов, почти мгновенно повышающих интегральную сумму. Тот же вопрос касается и других подобных рисунков.

11. Замечания редакционного характера:

- Несмотря на упоминания о внедрении разработок диссертанта, сами акты внедрения в работе отсутствуют.

- В работе встречаются терминологические ошибки. Например, на стр. 6 диссертации использован термин «эксплуатационная надежность» распределительных сетей, в то время как речь идет о надежности электроснабжения (согласно «Надежность систем энергетики. Сборник рекомендуемых терминов, под ред. Воропая Н.И., 2007», эксплуатационная надежность – это подвид краткосрочной надежности).

- На стр. 37, 39 диссертации приведены плохо читаемые осциллограммы, по которым невозможен количественный анализ вариантов расчетов. Более уместно было бы приведение количественных оценок сравнения результатов расчетов и их точности в тексте или в табличном виде. Тем не менее, замечания не снижают значимости и положительной оценки работы.

Соответствие диссертации установленным критериям:

Диссертация Е. А. Воробьевой, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, полностью отвечает квалификационным признакам и принципам соответствия, которые установлены пунктами 9-14 Положения о присуждении научных степеней.

Заявленная автором цель - совершенствование принципов выполнения и алгоритмов функционирования адаптивных токовых и адмитансных защит от ОЗЗ распределительных кабельных сетей напряжением 6–10 кВ с различ-

ными режимами заземления нейтрали – полностью реализована в приведенных исследованиях и отражена в полученных результатах, публикациях и апробации.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Диссертация обладает внутренним единством, предложения автора аргументированы, оценены по сравнению с иными техническими решениями. Диссертация выполнена автором лично и представляет собой законченный труд. Выводы по диссертационной работе полностью соответствуют результатам работы. Основные результаты работы освещены в научных публикациях автора.

Автореферат соответствует диссертации по всем существенным признакам, а именно: цели, задачам, обоснованию актуальности, новизны и достоверности, научной и практической значимости и основным положениям, выносимым на защиту.

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям, предъявляемым к данным документам.

Заключение:

Считаю, что диссертационная работа Е. А. Воробьевой представляет собой законченное научно-квалификационную работу на соискание ученой степени кандидата технических наук, в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная техническая проблема повышения эффективности функционирования защит от однофазных замыканий на землю в кабельных распределительных сетях 6-10 кВ, имеющая существенное значение для хозяйственного развития страны.

Работа соответствует заявленной специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Представленная диссертационная работа Воробьевой Е. А. на тему «Совершенствование принципов выполнения адаптивных токовых и адми-

тансных защит от замыканий на землю в кабельных сетях 6–10 кВ» соответствует всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней» (Утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. №842), а ее автор Воробьева Екатерина Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Официальный оппонент, доктор технических наук по научной специальности 05.09.03, доцент, профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева»

Шарыгин Михаил Валерьевич

14.02.2019 г.

603905, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24, корпус 1. Тел.(раб.): 8-831-432-91-85; e-mail: sharygin.m.v@gmail.com

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева». Почтовый адрес: 603905, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24, корпус 1. Тел.: +7(831) 436-63-07, E-mail: nntu@nntu.ru

