

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Филатовой Галины Андреевны «**Разработка и исследование способов и алгоритмов определения места однофазного замыкания на землю в кабельных сетях 6-10 кВ по параметрам переходного процесса**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

### **Актуальность темы диссертации**

Выбор режима заземления нейтрали определяет решающее влияние на надежность и ущербы от перерывов электроснабжения потребителей, степень опасности однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) для оборудования электрических сетей, а также условия его безопасной эксплуатации. В большинстве случаев именно ОЗЗ в кабельных сетях 6-10 кВ являются первопричиной развивающихся впоследствии аварий, старения изоляции и выхода из строя оборудования, способствуют возникновению пожаров, перенапряжений, феррорезонансных явлений, помех и др.

Возникающие при ОЗЗ электромагнитные переходные процессы существенно влияют на выбор принципов выполнения устройств релейной защиты, а также вариантов реализации алгоритмов определения места повреждения (ОМП) линий электропередачи (ЛЭП). Существующая как отечественная, так и зарубежная эксплуатационная практика не имеет единых принципов и взглядов на состав и структуру алгоритмов релейной защиты ОМП при ОЗЗ. Причем, отечественные технические решения соответствующих устройств не уступают, а по многим параметрам и реализуемым функциям превосходят зарубежные разработки.

Важно отметить, что устойчивые и неустойчивые ОЗЗ сопровождаются изменяющимися во времени дугowymi явлениями, характеризуются прерывистой формой тока, амплитуда которого зависит от удаленности от места повреждения и параметров электрической сети. При неустойчивых замыканиях момент пробоя изоляции во многом определяется напряжением на поврежденной фазе. Эти и другие факторы с одной стороны, в значительной степени усложняют задачу ОМП кабельных ЛЭП 6-10 кВ, а с другой – являются информационной базой для разработки соответствующих алгоритмов.



Таким образом, диссертационная работа Филатовой Г.А., цель которой состоит в разработке и исследовании способов и алгоритмов дистанционного определения места ОЗЗ на кабельных линиях распределительных сетей 6-10 кВ, находящихся под рабочим напряжением, основанных на использовании электрических величин переходного процесса, является актуальной.

### **Оценка новизны и достоверности полученных результатов**

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1) выявлены информационные параметры токов и напряжений на основе исследований переходных процессов при ОЗЗ в кабельных сетях 6-10 кВ с применением аналитических и имитационных моделей. Информационные параметры обладают высокой устойчивостью к влиянию искажающих факторов;

2) исследованы экспериментально и на математических моделях характеристики первичных преобразователей тока и напряжения (трансформаторов тока и напряжения) нулевой последовательности, оказывающие влияние на точность ОМП при ОЗЗ кабельных ЛЭП 6-10 кВ;

3) разработан способ дистанционного определения места замыкания на землю (ДОМЗЗ), основанный на замерах переходного напряжения поврежденной фазы и производной переходного тока в моменты времени, соответствующие переходу последнего через ноль. Способ обеспечивает высокую устойчивость замера к влиянию изменений суммарного емкостного тока сети и величины переходного сопротивления в месте повреждения;

4) предложен способ ДОМЗЗ, основанный на использовании алгоритмических моделей контролируемой ЛЭП с различными значениями аварийных параметров. Способ обеспечивает возможность замера расстояния до места повреждения без применения специальных пакетов прикладных программ для имитационного моделирования;

5) проведен анализ факторов, влияющих на точность оценки расстояния до места повреждения при использовании способов ДОМЗЗ, основанных на использовании электрических величин переходного процесса в кабельных сетях 6-10 кВ, а также разработаны методики компенсации отдельных и суммарной погрешности ОМП при ОЗЗ.

Достоверность полученных результатов достигается применением методов теории электрических цепей, электромагнитных переходных процессов в электрических сетях, методов моделирования электрической



сети в программном комплексе Matlab Simulink. Достоверность также обеспечивается сходимостью результатов полученных аналитическими методами с данными исследований на физических и математических моделях, результатами, полученными другими авторами.

Задачи научного исследования соответствуют теме работы и позволяют достичь поставленной цели. Выводы адекватны целям и задачам исследования и вытекают из полученных Филатовой Г.А. результатов.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Теоретическая значимость полученных результатов диссертационной работы определяется формированием информационной базы параметров токов и напряжений переходного процесса при ОЗЗ на кабельных ЛЭП распределительных сетей 6-10 кВ, а также разработкой и исследованием алгоритмов реализации дистанционного ОМП при указанных повреждениях.

Практическая значимость состоит в том, что результаты анализа особенностей кабельных сетей 6-10 кВ промышленного и городского электроснабжения, позволяющие обосновать методы локализации всех разновидностей ОЗЗ в сетях различного назначения, могут быть использованы проектными организациями при выборе принципов выполнения селективной защиты и сигнализации ОЗЗ на различных объектах кабельных сетей 6–10 кВ и обосновании целесообразности применения устройств ДОМЗЗ.

Анализ информационных параметров электрических величин переходного процесса в кабельных сетях 6–10 кВ и факторов, влияющих на точность замера расстояния до места повреждения, может быть использован разработчиками способов и устройств ДОМЗЗ.

Важно, что исследования выполнены при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках федеральной целевой программы “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы” при выполнении прикладных научно-исследовательских и экспериментальных работ по темам:

- “Разработка комплекса научно-технических решений по автоматической локализации однофазных замыканий на землю в распределительных кабельных сетях напряжением 6–10 кВ;

- «Разработка и исследование цифровых трансформаторов напряжения 110 кВ, основанных на фундаментальных физических законах с оптоэлектронным интерфейсом для учета электроэнергии в



интеллектуальной электроэнергетической системе с активно-адаптивной сетью».

Результаты разработок и исследований в части способов и алгоритмов ДОМЗЗ в кабельных сетях 6–10 кВ планируются к внедрению Индустриальным партнером ИГЭУ ООО НПП "ЭКРА" по завершению исследований и разработок в 2018 г.

### **Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом**

Диссертационная работа Филатовой Галины Андреевны состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и трех приложений.

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

В первой главе рассмотрены особенности определения места повреждения при ОЗЗ в кабельных сетях 6-10 кВ различной конфигурации. Исследованы характеристики кабельных сетей 6-10 кВ, влияющие на состав функций и исполнение ДОМЗЗ. Проведен сравнительный анализ известных способов ОМП в кабельных распределительных сетях на основе патентного поиска, а также выполнено обоснование методов и задач исследования.

Глава 2 посвящена информационным параметрам электрических величин для определения зоны замыкания на землю на кабельных линиях 6 – 10 кВ под рабочим напряжением. В ходе исследований сформулированы задачи исследования переходных процессов, а также выполнен анализ информационных параметров электрических величин переходного процесса с использованием аналитической модели и оценкой возможностей использования этих электрических величин для решения задачи определения места повреждения.

В главе 3 проанализированы погрешности и произведено моделирование трансформаторов тока и напряжения, применяемых при определении места замыкания на землю в кабельных сетях 6–10 кВ. Представлены результаты экспериментальных исследований и обоснованы имитационные модели трансформаторов тока нулевой последовательности и трансформаторов напряжения с использованием Matlab Simulink.

В главе 4 представлены результаты разработки и исследования эффективности способов дистанционного определения зоны однофазного



замыкания на землю в кабельных сетях 6-10 кВ с использованием электрических величин переходного процесса. Предложены способы дистанционного определения места замыкания на землю, основанные на измерении параметров аварийного переходного режима, а также на использовании алгоритмической модели объекта. Выполнено имитационное моделирование кабельных сетей 6–10 кВ для исследования погрешностей способов ДОМЗЗ и изложены методики компенсации ошибок для повышения точности расчета расстояния до повреждения.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы и выводы. Библиографический список содержит 239 источников.

В приложениях 1-3 представлены акты внедрения результатов диссертационных исследований, а также характеристики трансформаторов тока нулевой последовательности различных типов.

### **Основные замечания и вопросы по диссертационной работе**

1. В четвертой главе подробно рассматривается способ ДОМЗЗ, основанный на алгоритмической модели объекта (АМО). Предполагается (табл.1.4, стр.62 диссертации), что этот способ должен быть реализован в онлайн режиме (то есть в реальном масштабе времени - РМВ). Однако не ясно, какой вид модели автор понимает под АМО (аналитическая или имитационная), как ее сформировать для реализации в РМВ?

Можно предположить, что в качестве АМО используются приведенные в диссертации модели в программном комплексе Matlab, но тогда о каком реальном времени такого способа ДОМЗЗ может идти речь?

2. Во второй, а затем и в четвертой главе работы очень подробно и обстоятельно исследуются факторы, влияющие на точность ДОМЗЗ. Логика анализа факторов автором справедливо строится в основном, исходя и расчетных соотношений способа ОМП и величин в них входящих.

При этом не в должной степени внимание уделено общесистемным и эксплуатационным факторам. Например, очевидно, АМО могут быть различными тогда, как от той или иной модели зависит точность ДОМЗЗ?

С другой стороны, все предложенные методы ДОМЗЗ базируются на расчете симметричных составляющих токов и напряжений. Каких значений ошибки ДОМЗЗ могут достигать при изменении симметричности, например, источника или нагрузки?

3. Несколько замечаний по вопросам технической реализации алгоритмов ДОМЗЗ. Например, с учетом проведенных тщательных исследований характеристик трансформаторов тока и напряжения в



диссертации определено, что верхняя частотная граница анализа переходных процессов составляет около 20 кГц. Таким образом, частота дискретизации сигналов токов и напряжений для переходного процесса (по теореме Котельникова) должна составлять не менее 40 кГц (на практике 80-100 кГц). Принимая, что для способа ДОМЗЗ на АМО необходимо 3-5 АМО (стр.156, рис.4.4 диссертации) и учитывая их сложность – вопрос: какова должна быть производительность соответствующего устройства ОМП?

Для реализации точного ДОМЗЗ необходимо использовать актуализированные АМО. Вопрос: как обеспечить актуализацию и их пересчет в онлайн (РМВ) режиме?

4. При анализе погрешностей способов ДОМЗЗ и формировании методик их компенсации (п.4.3 работы) диссертант получает аналитические выражения для оценки влияния каждого в отдельности и групп влияющих факторов. Это весьма похвально и правильно, с точки зрения, верификации аналогичных данных по результатам имитационного моделирования.

Но, на мой взгляд, спорно использовать такие аналитические выражения в алгоритмах устройств ОМП при ОЗЗ (например, стр.171, рис.4.15). Во-первых, аналитические выражения получаются с определенной степенью приближения (ошибками), а во-вторых, предполагают дополнительную вычислительную нагрузку на устройство ДОМЗЗ, которая является критичной при реализации в РМВ. Целесообразно применение предварительного имитационного моделирования на адекватных точных моделях с получением общих коэффициентов, компенсирующих погрешности ДОМЗЗ, а в устройстве ОМП ЛЭП достаточно считывать из памяти соответствующие коэффициенты для итоговой компенсации погрешностей.

5. В диссертационной работе выполнен тщательный и всесторонний анализ особенностей ДОМЗЗ как на воздушных, так и кабельных ЛЭП 6-10 кВ. К сожалению, специфические вопросы ДОМЗЗ на кабельно-воздушных линиях 6-10 кВ или на воздушных ЛЭП с изолированным проводом не рассматривались.

6. Замечания редакционного характера.

На мой взгляд, не стоило выносить методы ОМП на основе АМО, использующие электрические величины переходного процесса (стр.44, рис.1.8 диссертации), в качестве самостоятельной группы. Они должны входить в группу параметрических методов, поскольку используют параметры аварийных токов и напряжений, а отличаются от известных методов лишь способом расчета расстояния.



Считаю излишним применение термина «магнитуда» (стр.113 работы) при исследовании переходных процессов в кабельных сетях. Этот термин характерен для анализа сейсмических процессов, поэтому нужно оперировать словосочетанием «энергия переходного процесса».

Для лучшего восприятия диссертации целесообразно было бы ввести список сокращений.

Приведенные замечания не изменяют научной значимости и положительной оценки диссертационной работы.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., №842.**

В соответствии с п. 9 диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных исследований изложены научно обоснованные технические решения, направленные на разработку алгоритмов и устройств определения места однофазного замыкания на землю в кабельных сетях 6-10 кВ по параметрам переходного процесса, имеющие существенное значение для развития страны.

В соответствии с п. 10 диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.

В соответствии с п. 11, 12, 13 основные научные результаты исследований опубликованы в 33 работах, из них 3 в рецензируемых научных изданиях, их количество соответствует требованиям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В соответствии с п. 14 диссертационная работа содержит ссылки на источники заимствования материалов и на работы других авторов.

### **Заключение**

Диссертационная работа Филатовой Галины Андреевны «Разработка и исследование способов и алгоритмов определения места однофазного замыкания на землю в кабельных сетях 6-10 кВ по параметрам переходного процесса», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных исследований изложены научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития страны.

Диссертация соответствует критериям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., №842.

На основании вышеизложенного считаю, что Филатова Галина Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Электроэнергетика,  
электрооборудование и силовая электроника»  
ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева»,  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
Тел.: 8(831)432-91-85  
e-mail: inventor61@mail.ru

Куликов А.Л.

(Александр Леонидович)

11.09.2017г.

