

ВТРЕБЖЛЮ

уке и коммерциализации
ЭУ»

Ившин И.В.

ебрел 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» на диссертационную работу Кочетова Ивана Дмитриевича «Эквивалентные генераторы энергообъектов как индикаторы повреждений при двустороннем и одностороннем наблюдении», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика (технические науки).

Актуальность темы диссертационного исследования

Развитие и совершенствование средств связи открывает возможность создания таких алгоритмов релейной защиты и автоматики, которые способны использовать для идентификации и распознавания аварийных ситуаций в электроэнергетических объектах всю доступную информацию, разнесённую как во времени, так и в пространстве. Привлечение в дополнение к ней априорной информации о модели наблюдаемого объекта позволяет обнаружить новые виртуальные, искусственно создаваемые режимы, названные нормальными и локальными. Эти новые виртуальные режимы, возникающие в повреждённом объекте, полностью определяют его автономное состояние с зашунтированными или отключёнными внешними связями. В случае его повреждения они открывают путь к получению таких унифицированных характеристик повреждённого энергообъекта, которые определяются только его параметрами и координатой места повреждения и не зависят ни от внешних связей с остальной энергосистемой, ни от тока короткого замыкания. Кроме того, рассматриваемый эффект объединения информации приводит к представлению модели наблюдаемого повреждённого энергообъекта в виде эквивалентных генераторов как активных многополюсников относительно мест измерения и относительно мест предполагаемых повреждений, что составляет теоретическую основу предлагаемого метода распознавания повреждения и определения его координаты. Таким образом, разработка унифицированных алгоритмов распознавания повреждения электроэнергетических объектов является актуальной научно-технической задачей.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа Кочетова И. Д. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, списка литературы, включающего 110 источников, и 2 приложений. Основной текст рукописи содержит 144

страницы, 69 рисунков и 2 таблицы. Результаты исследований отражены в 36 публикациях, из них 10 статей в изданиях из перечня ВАК, 2 статьи в журналах, индексируемых в Scopus, и 1 патент на изобретение.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, основные положения, выносимые на защиту, представлена научная и практическая значимость работы.

В **первой** главе приведён обзор источников информации, относящихся к методам эквивалентного генератора и алгоритмического моделирования, которые легли в основу алгоритмов индикации и идентификации различных повреждений энергообъектов. Показан новый подход к рассмотрению модели наблюдаемого объекта в его повреждённом состоянии как эквивалентного генератора относительно мест измерения и места повреждения, который позволяет установить соответствие между регистрируемыми электрическими величинами и новыми виртуальными режимами.

Во **второй** главе рассматривается применение метода локальных компонентов для распознавания повреждений в линии электропередачи, наблюдаемой с двух сторон. Показано, что в двухпроводном канале однородной многопроводной системы с сосредоточенными параметрами соотношение между мгновенными локальными составляющими на зашунтированных выводах представляет линейную зависимость. Для симметричных и несимметричных линий электропередачи с распределёнными параметрами рассмотрение протекающих процессов производится соответственно в базисе центрированных составляющих и модальном базисе, а соотношения между локальными составляющими в каждом базисе представляют собой гиперболические функции места повреждения. Доказано, что данные соотношения во всех рассмотренных базисах отличаются от линейной зависимости незначительно. Более того, показано, что и при наличии ответвлений в линии электропередачи соотношения между локальными составляющими также отличаются незначительно. На примерах имитационных моделей электропередачи показаны результаты определения координаты места повреждения.

В **третьей** главе применение метода локальных компонентов распространено для идентификации режимов коротких замыканий и броска намагничивающего тока трансформатора. Распознавание витковых замыканий в трансформаторе осуществляется в локальном режиме посредством оценки магнитодвижущей силы замкнувшихся витков, в то время как идентификация и разграничение разнородных режимов в трансформаторе – посредством оценки составляющих, отражающих закономерности, связанные с током броска и напряжением на ветви намагничивания. На практических примерах и имитационных моделях трансформаторов показано решение данных задач.

В **четвертой** главе рассмотрено применение метода эквивалентного генератора в задаче селекции фаз и определения места повреждения в линии электропередачи, наблюдаемой с одной стороны. Электропередача в данных задачах рассматривается в двухпроводных каналах центрированных фазных

величин и составляющих нулевой последовательности как эквивалентный генератор относительно места предполагаемого повреждения. Процедура селекции фаз и локации повреждения заключается в преобразовании составляющих регистрируемых величин в токи и напряжения в произвольном месте линии и последующей оценке полученных величин. Для селекции фаз – это проверка граничных условий одного из видов короткого замыкания, а для определения места повреждения – критерий резистивности (равенство нулю реактивной мощности в истинном месте повреждения). Также приведены примеры реализации разработанных методов.

В **пятой** главе описано внедрение разработанных методов и алгоритмов в устройствах релейной защиты и автоматики производства ООО «Релематика». Показаны практические примеры работы предложенных методов в задаче определения места повреждения, в том числе в задаче быстродействующего автоматического ввода резерва электропитания.

В **заключении** изложены основные результаты диссертационной работы и сделаны выводы, свидетельствующие о решении поставленных в работе задач.

В **приложении** представлены акты о внедрении.

Соответствие автореферата и диссертации

Автореферат в объеме 24 страниц полностью соответствует материалам, изложенным в диссертации, содержит ее основные положения и выводы.

Значимость результатов, полученных автором диссертации

Теоретическая значимость результатов работы

1. Представлен новый подход к реализации методов и алгоритмов индикации и идентификации повреждений электроэнергетического объекта на основе метода эквивалентного генератора. При двустороннем наблюдении он позволяет разделить наблюдаемый режим на нормальную и локальную составляющие, последняя из которых непосредственно несёт в себе информацию о повреждении.

2. Разработан способ разграничения витковых замыканий и броска намагничивающего тока трансформатора, обладающего повышенной распознающей способностью.

3. Представлены методы селекции фаз и определения места повреждения при одностороннем наблюдении электропередачи, в основе которых лежит применение алгоритмических моделей неповреждённого энергообъекта. Разработанные методы функционируют в том случае, когда двустороннее наблюдение оказывается недоступно.

4. Разработаны алгоритмы цифровой обработки сигналов, работающие на малом окне наблюдения и необходимые для реализации алгоритма индикации повреждённой части сети в задаче быстродействующего автоматического ввода резерва электропитания.

Практическая значимость результатов работы

1. На основе метода эквивалентного генератора и с использованием алгоритмических моделей наблюдаемого объекта разработаны методы определения места повреждения и селекции фаз при двустороннем и одностороннем наблюдении, обладающие высокой чувствительностью.

2. Разработан способ идентификации режимов работы трансформатора, разграничивающий режимы витковых замыканий в трансформаторе и режим броска намагничивающего тока.

3. Разработан фильтр ортогональных составляющих тока переходного процесса в узлах нагрузки, способствующий определению за малое число отсчётов повреждённой части электрической сети в составе алгоритма быстрогодействующего автоматического ввода резерва электропитания на основе локальных составляющих регистрируемых электрических величин

4. Разработанные алгоритмы внедрены в устройствах релейной защиты и автоматики производства ООО «Релематика».

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, сформулированных в диссертационной работе

Имитационное моделирование процессов, происходящих в энергосистемах, производилось в программных комплексах *Matlab/Simulink* и *PSCaD*. Расчёты производились на тестовых схемах. Использовались осциллограммы, записанные на реальных объектах с помощью поверенных сертифицированных приборов. Все полученные результаты не противоречат физическим основам моделируемых процессов и укладываются в современные направления развития цифровых технологий измерения и обработки сигналов.

Методология и методы исследования

В основе исследований были заложены положения теоретических основ электротехники и релейной защиты, а также методы математического моделирования. Моделирование процессов производилось в среде имитационного моделирования *Simulink* и *PSCaD*. Программные модули разрабатывались с использованием программного комплекса *Matlab*.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке новых алгоритмов распознавания повреждения в различных электроэнергетических объектах и определения координаты места их повреждения таких как линии электропередачи 6-750 кВ, в том числе линии с ответвительными подстанциями 110 кВ, а также силовые трансформаторы.

Новизна полученных научных результатов

1. Выделены информационные свойства электрической сети на базе теории эквивалентных генераторов, связывающие параметры режима с местом аварии.

2. Разработана методика определения места аварии в электрической сети на основе выделения в сигнале его нормальной и локальной составляющих.

3. Обоснована методика распознавания замыканий в трансформаторе, обеспечивающая отстройку релейной защиты от режимов быстрого насыщения посредством выделения в сигналах локальных и квазилокальных составляющих.

4. Доказана возможность определения координат места повреждения на воздушных линиях электропередачи при одностороннем её наблюдении на основе разработанной теории эквивалентных генераторов.

5. Разработан алгоритм распознавания поврежденного участка электрической сети в условиях кратковременного наблюдения аварийного режима при работе БАВР.

Замечания по диссертации

1. В диссертационном исследовании особое внимание уделяется виртуальным режимам. В работе вводятся новые виртуальные режимы, названные нормальными и локальными. Что они из себя представляют и в чем принципиальное отличие локального режима от чисто аварийного?

2. В диссертационной работе рассматривается метод эквивалентного генератора, который был положен в основу разработанных методов и алгоритмов распознавания и определения места повреждения в электроэнергетических объектах. При этом наблюдаемый объект представляется как эквивалентный генератор относительно мест измерения и как эквивалентный генератор относительно мест повреждения. Чем отличаются эти представления друг от друга и в чем их сходства?

3. В диссертационном исследовании приведено каноническое соотношение между локальными токами в местах измерения для определения координаты места повреждения при двустороннем наблюдении энергообъекта с сосредоточенными параметрами. В чем проявляется универсальный характер данного соотношения и насколько оно справедливо для несимметричных линий с распределёнными параметрами или для линий с ответвлениями?

4. В диссертационной работе в третьей главе говорится о применении ещё одной пары новых виртуальных режимов – экстремального и квазилокального, которые были рассмотрены ещё в первой главе. Для каких целей они были выделены и почему нельзя было обойтись уже рассмотренными нормальным и локальным режимами?

5. В диссертационном исследовании кроме двустороннего метода определения места повреждения соискатель предлагает также алгоритм при одностороннем наблюдении. Конечно, точность последнего будет меньше из-

за меньшего объема доступной информации. Было бы целесообразно дать сравнительную оценку точности рассмотренных методов определения места повреждения при одно- и двустороннем наблюдении для конкретного примера с учетом или без погрешности измерительных преобразователей.

6. В диссертационном исследовании соискатель отдельно упоминает о применении предложенного им метода локальных компонентов для распознавания повреждённой части электрической сети в задаче быстродействующего автоматического ввода резерва электропитания. При этом о каком быстродействии идёт речь в работе? Время «порядка 10-15 мс» может относиться только к работе самого алгоритма, т.к. коммутация быстродействующего выключателя занимает порядка $\frac{3}{4}$ периода.

Общее заключение по диссертации

Отмеченные замечания носят частный характер и не затрагивают положительную оценку целостности материалов, новизны, положений и выводов представленной на отзыв диссертационной работы.

Разработанные методы распознавания повреждения и определения его координаты при двустороннем и одностороннем наблюдении различных электроэнергетических объектов являются существенным вкладом в теорию релейной защиты. Они опираются на быстрый рост используемых на подстанциях интеллектуальных приборов учета электроэнергии с дистанционной передачей данных, что обеспечивает создание информационной базы для использования поученных алгоритмов.

Диссертационное исследование Кочетова И. Д. соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней», утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842. В соответствии с п. 9 Положения, диссертационное исследование является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические разработки в области релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем, состоящие в распознавании поврежденного участка сети и определения его координаты, имеющие существенное значение для развития страны.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г. (ред. от 18.03.2023), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а также паспорту научной специальности по защищаемой специальности 2.4.3 – Электроэнергетика (технические науки), а её автор Кочетов Иван Дмитриевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика (технические науки).

Отзыв на диссертацию Кочетова И. Д. «Эквивалентные генераторы энергообъектов как индикаторы повреждений при двустороннем и одностороннем наблюдении» составлен доктором технических наук,

доцентом Вагаповым Георгием Валерияновичем, обсужден на заседании кафедры «Электрические станции» им. В. К. Шибанова в составе 17 человек, из них 3 докторов и 10 кандидатов наук, и одобрен единогласно, протокол № 9/23 от «06» сентября 2023 г.

Заведующий кафедрой
«Электрические станции»
им. В.К. Шибанова
к.т.н, доц.

С. М. Маргулис

Ученый секретарь к.т.н., доц.,

Е. А. Федотов

Сведения о ведущей организации:

Полное и сокращенное наименование организации	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО «КГЭУ»)
Место нахождения	420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
Телефон	(843) 519-40-02
Адрес электронной почты	kgeu@kgeu.ru
Адрес сайта организации	www.kgeu.ru

Сведения о лице, утвердившем отзыв ведущей организации:

ФИО	Ившин Игорь Владимирович
Ученая степень, ученое звание	доктор технических наук, профессор
Должность	проректор по науке и коммерциализации ФГБОУ ВО «КГЭУ»
Телефон	(843) 519-43-72
Адрес электронной почты	inbin.iv@kgeu.ru

Отзыв получен 13.09.2023г. *Рез./Осинцев А.А./*

С отзывами ознакомлен 13.09.2023 *Щ./Кочетов И.В./*