

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)
14.577.21.0097

Название проекта

Разработка научно-технических решений по селективному определению поврежденных фидеров в сетях с компенсированной нейтралью.

Тематическое направление

Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

Исполнитель

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Омский государственный технический университет"

Цели и задачи исследования

Целью проекта является разработка технических решений по обеспечению резонансной настройки дугогасительных реакторов и селективного отключения поврежденных фидеров в сетях 35 кВ с компенсированной нейтралью.

Задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

- выполнить анализ существующих методов и средств определения поврежденного присоединения в сетях 6-35 кВ с компенсированной нейтралью;
- определить признаки однофазного замыкания на землю для селективного отключения поврежденного фидера;
- разработать математическую модель сети с учетом естественной несимметрии сети и нагрузки сети;
- разработать алгоритмы управления дугогасящим реактором;
- создать алгоритмы и методики определения поврежденного присоединения;
- создать структурную и функциональную схемы системы управления дугогасительным реактором;
- выполнить имитационное моделирование распределительной сети с компенсированной нейтралью совместно с дугогасительным реактором, предложенной системой управления и селективного определения поврежденного фидера;
- разработать требования к конструкции дугогасительного реактора 35 кВ;
- создать экспериментальные образцы реактора и блока управления;
- провести экспериментальные и исследовательские испытания дугогасительного реактора и блока управления в действующей сети 35 кВ;
- разработать технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера;
- разработать проект технического задания на проведение ОКР по теме «Система селективного определения поврежденного фидера в сетях с компенсированной нейтралью».

Актуальность и новизна исследования

В ряде Европейских стран (Германия, Австрия, Швейцария, Чехия, Финляндия и др.) в электрических сетях используются режимы с нейтралью, заземленной через дугогасящие реакторы. Эффективность применения дугогасящих реакторов при возникновении замыканий в сети может быть повышена за счет

дальнейшего усовершенствования автоматизированных систем управления дугогасящими реакторами.

Для повышения эффективности функционирования и использования плавнорегулируемых дугогасительных реакторов разработаны алгоритмы подстройки и выделения поврежденного присоединения. Представлена имитационная модель распределительной электрической сети, позволяющая учесть влияние несимметрии фаз линий электропередачи с учетом наличия дугогасительного реактора и нагрузки.

Для определения поврежденного присоединения предложено использование генератора высокой частоты, подключенного к шинам подстанции через искусственную нулевую точку. При наложении токов высокой частоты частотный портрет тока однофазного замыкания на землю в поврежденном присоединении изменяется и на частотах 1-8 кГц амплитуда увеличивается более чем в 20 раз по сравнению с неповрежденными присоединениями. Это дает возможность выделить поврежденное присоединение и приступить к дальнейшему поиску места повреждения. Кроме того разработан альтернативный алгоритм настройки на основе вейвлет-преобразования. Новый метод несколько сложнее, но будет иметь ряд преимуществ по сравнению с существующими подходами

Описание исследования

В результате исследования установлено, что в качестве оптимальных методов определения поврежденного фидера с учетом требований технического задания необходимо использовать сочетание метода наложения тока непромышленной частоты и метода, основанного на анализе переходного процесса при замыканиях на землю. Определено, что наиболее эффективным средством компенсации емкостных токов являются реакторы с регулируемым зазором, при использовании комбинированного способа воздействия на систему регулирования.

Для предварительной оценки эффективности принятых решений разработаны математические модели режима однофазного замыкания на землю в сети, которые позволяют уточнить ход электромагнитных процессов при возникновении замыкания, как при металлическом замыкании, так и при замыкании через переходное сопротивление, а также определить допустимую расстройку реактора. При разработке математической модели для учета несимметрии режима был использован метод фазных координат.

Альтернативный метод симметричных составляющих в данном случае неудобен, так как он не дает возможности разделить уравнения для прямой, обратной и нулевой последовательности на независимые системы. Расчетная схема замещения сети содержит взаимные индуктивности. Поэтому система уравнений записана на основе законов Кирхгофа. При составлении модели были приняты следующие допущения:

1. Обмотка среднего напряжения трансформатора представляет собой источник ЭДС с внутренними сопротивлениями.
2. Нагрузки потребителей задаются в виде мощностей, не зависящих от напряжения. Этот способ соответствует реальным исходным данным и учитывает инерционную нелинейность потребителей как элементов электрической цепи. Вычисление токов нагрузки производится после исключения напряжений нулевой последовательности.

Для осуществления подстройки дугогасительного реактора разработан алгоритм на основе измерения напряжения нулевой последовательности. Алгоритм определения поврежденного присоединения основан на сравнении тока нулевой последовательности в отходящих фидерах при наложении высокочастотного сигнала переменной частоты. Кроме того разработан алгоритм подстройки на основе вейвлет-преобразования. Идея базируется на обобщении передового опыта применения вейвлет преобразования в математике и физике для анализа и обработки нестационарных во времени и не однородных в пространстве функций и сигналов, когда результаты анализа должны содержать не только общую частотную характеристику сигнала, но и сведения об определенных локальных координатах, на которых зафиксированы те или иные группы частотных составляющих. Предлагается использовать метод частотной декомпозиции величин, характеризующих режим работы электроэнергетической системы (токов, напряжений) на основе дискретного (пакетного) вейвлет-преобразования в режиме реального времени

Разработана имитационная модель распределительной сети, в которой были реализованы разработанные алгоритмы системы автоподстройки дугогасящего реактора и определения поврежденного отходящего присоединения. Во всех рассмотренных режимах алгоритмы показали свою работоспособность при различных видах однофазного замыкания на землю, при изменениях параметров распределительной сети и режимов ее работы.

При разработке дугогасительного реактора учтены требования по снижению технических потерь в дугогасительном реакторе за счет снижения тока холостого хода и нагрузочных потерь в материале обмоток. Используются современные методики расчета силового электрооборудования для выбора конструкции магнитопровода и обмоток дугогасительного реактора.

Результаты исследования

В ходе выполнения научно-исследовательской работы были получены следующие результаты:

1. Проведен аналитический обзор информационных источников по тематике прикладных научных исследований в области определения поврежденного фидера и различных подходов автоматической настройки ДРГ для компенсации емкостных токов.
2. Выполнена сравнительная оценка различных вариантов возможных решений задачи по селективному определению поврежденных фидеров в распределительных сетях напряжением 6–35 кВ с компенсированной нейтралью.
3. Обоснован оптимальный вариант решения задачи определения поврежденного присоединения, а также управляющего воздействия на регулятор ДГР при ОЗЗ в распределительных сетях 6–35 кВ.
4. Разработана математическая модель режима однофазного замыкания на землю в сети 35 кВ.
5. Разработана вспомогательная модель для расчета начальных условий, представляющая собой систему уравнений установившегося режима сети

- до возникновения замыкания, которая также учитывает несимметрию линий и составлена на основе метода фазных координат.
6. Разработаны алгоритмы системы управления дугогасящего реактора и селективного определения поврежденного фидера в распределительной сети с компенсированной нейтралью.
 7. Разработана имитационная модель распределительной сети, в которой были реализованы разработанные алгоритмы системы автоподстройки дугогасящего реактора и определения поврежденного отходящего присоединения. Были смоделированы различные режимы работы распределительной сети.
 8. Разработано программное обеспечение, предназначенное для обеспечения согласованного взаимодействия компонентов системы управления реактором и селективного определения поврежденного фидера.
 9. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы дугогасительного реактора напряжением 35 кВ, система управления дугогасительного реактора для проведения испытаний.
 10. Разработана функциональная и принципиальная схемы системы управления дугогасительным реактором и селективного определения поврежденного фидера в сети с компенсированной нейтралью.
 11. Проведены стендовые и исследовательские испытания экспериментального образца дугогасительного реактора и системы управления, оформлены протоколы и акт испытаний.

Установлено, что предлагаемые технические решения соответствуют основным требованиям технического задания, а разработанные экспериментальные образцы системы управления и дугогасительного реактора обеспечивают:

- ликвидацию в сети однофазного замыкания на землю в среднем в течение 52 секунды;
- минимальное время определения поврежденного фидера при однофазном замыкании на землю 13,5 мс;
- устойчивую работу при однофазных замыканиях на землю через большие сопротивления заземления более чем в 75% случаев;
- устойчивую работу при перемежающихся дуговых замыканиях более чем в 90% случаев;
- устойчивое функционирование при параллельной работе в одной секции управляемых и неуправляемых дугогасящих реакторов;
- работу при параллельном включении нескольких секций с управляемыми и неуправляемыми дугогасящими реакторами.

Результаты работ доложены на международных конференциях в России, Италии, Корее, Словакии, опубликовано 6 научных статей, цитируемых БД Scopus, защищена кандидатская диссертация. Подана заявка на патент на изобретение, получено свидетельство о регистрации электронного ресурса.

Практическая значимость исследования

Повышение энергоэффективности электросетевого комплекса является приоритетным направлением государственной политики в сфере развития электроэнергетики. Работа в этом направлении была начата ещё в 2010 году после того как энергоэффективность была включена в число пяти приоритетов модернизации экономики и был принят ФЗ №261 «Об энергосбережении...». Актуальность указанного направления подтверждается целым рядом документов разработанных и утвержденных правительством России. В первую очередь к таким документам следует отнести:

- «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» (распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. N 1715-р);

- «Программа модернизации ЕНЭС России на период до 2020 года с перспективой до 2030 года» (утвержденная Научным Советом по проблемам надежности и безопасности больших систем энергетики Российской Академии Наук 14 декабря 2012);

- «Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации» (распоряжение правительства №511-р от 3.04.2013г.);

государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики» (распоряжение правительства №512-р от 3.04.2013г.).

Потенциальными потребителями предлагаемых разработок являются организации, занимающиеся ремонтом и эксплуатацией электроэнергетических систем. Например, подразделения районных электрических сетей.

Общество с ограниченной ответственностью Энерготехнология, являющееся индустриальным партнером в предлагаемом проекте, занимается разработкой проектов промышленных процессов и производств, относящихся к электротехнике, электронной технике, горному делу, химической технологии, машиностроению, а также в области промышленного строительства, системотехники и техники безопасности, производством контрольно-измерительных приборов.

Результаты выполнения ПНИ в дальнейшем будут использованы для внедрения в производство системы управления реактором и селективного определения поврежденного фидера в распределительной сети с компенсированной нейтралью при возникновении однофазного замыкания на землю.