

КОНЦЕПЦИЯ НАВИГАТОРА ДИСПЕТЧЕРА ПО АДАПТИВНОМУ ОПТИМАЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ РЕЖИМОМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

С.Н. РЫКОВАНОВ, М.А. ХОЗЯИНОВ (ООО “Систел”)

В статье приводится описание концепции навигатора диспетчера электрической распределительной сети для адаптивного оптимального управления режимами. Навигация выполняется непрерывно в ответ на изменения в сети и внешние воздействия. Прототип навигатора разрабатывается в соответствии с дорожной картой Энерджинет.

Ключевые слова: распределительная сеть; магистральная сеть; навигатор диспетчера; адаптивный оптимальный режим; рекомендации диспетчеру; дорожная карта НТИ Энерджинет.

ВВЕДЕНИЕ

В ПАО “Россети” децентрализованное и централизованное управление распределительной электрической сетью планируется перевести на активно-адаптивное и оптимальное в ответ на изменения нагрузок, генерации, топологии и параметров сети. Это в полной мере касается централизованного управления режимами сети. Для этого предлагается использовать современные прикладные пакеты EMS, DMS, OMS, программные приложения которых запускаются программно без вмешательства пользователей-диспетчеров. Программные приложения непрерывно генерируют рекомендации диспетчеру для адаптивного оптимального управления режимом сети.

ПРЕДПОСЫЛКИ РЕАЛИЗУЕМОСТИ НАВИГАТОРА

Главное условие работы навигатора — это получение исходных данных в необходимом количестве и с требуемым качеством в темпе процесса или близком к нему. Центры питания и распределительные пункты уже сейчас наблюдаемы, а по трансформаторным подстанциям имеются по крайней мере получасовые данные, которые можно получать из систем АИИС КУЭ. Полное обеспечение наблюдаемости распределительной сети планируется Программой цифровизации ПАО “Россети”.

Подавляющее число рекомендаций диспетчеру представляет собой последовательность переключений в распределительной

сети. Рекомендации — это наборы конфигураций сети и соответствующих им режимов. Переход от одной конфигурации к другой выполняется переключениями коммутационных аппаратов. Адаптивную оптимальную навигацию диспетчера по таким рекомендациям стало возможным реализовать после разработки устойчивых численных методов и алгоритмов дискретной (комбинаторной) оптимизации электрической сети [1]. При этом не используются заранее подготовленные библиотеки, экспертные и подобные им системы. Методы являются основополагающими для разработки большей части приложений программного комплекса навигатора, синтезирующих нужные конфигурации распределительной сети.

Максимальное повышение вероятности сходимости установившегося режима необходимо при многократном изменении конфигурации и режима сети, особенно в аварийном, послеаварийном и вынужденных режимах. Это достигается за счет более подробного моделирования всех регуляторов сети, нагрузки, генерации и включения действий от этих регуляторов при моделировании динамики электромеханического переходного процесса при переходе сети из одного режима в другой [2].

Получение рекомендаций в темпе процесса для распределительных сетей большой размерности решается разделением сети на магистральную (замкнутую) и распределительную (разомкнутую) с одновременным расчетом обеих частей сети, но различными численными методами [3].

ГРАНИЦЫ И ОБЪЕМ СЕТИ

Рассматривается распределительная сеть напряжением 0,4-110 кВ. Около 90% активов распределительной сетевой компании, людских и транспортных ресурсов приходится на сеть 0,4-35 кВ. Там же выполняется подавляющая часть оперативной работы. Поэтому, в концепции навигатора основное внимание уделяется именно сети 0,4-35 кВ. Кроме того, оперативная работа в сети высокого напряжения распределительной сетевой компании ведется РДУ ПАО «СО ЕЭС», что в значительной мере облегчает работу диспетчеров центров управления сетями. У диспетчеров уровня РЭС такой поддержки нет. Недостаточная наблюдаемость и отсутствие оценки состояния сети, а также сложность комбинаторных вычислений не позволяет основной массе диспетчеров уровня РЭС самостоятельно в темпе процесса адаптивно и оптимально управлять сетью, особенно в аварийных и послеаварийных режимах. Централизованное, просчитанное на компьютерах, адаптивное оптимальное управление режимами наиболее востребовано и актуально для диспетчеров, управляющих сетью 0,4-35 кВ.

НАЗНАЧЕНИЕ НАВИГАТОРА

Программный комплекс «Навигатор диспетчера для адаптивного оптимального управления режимами распределительной электрической сети» (далее навигатор) устанавливается на диспетчерском пункте центра управления сетями и/или района и/или нескольких районов. Навигатор предназначен для мониторинга, анализа режима и автоматической выдачи рекомендаций диспетчеру с целью обеспечения адаптивного оптимального управления режимом по мере изменения конфигурации сети, нагрузки, генерации, внешних условий. Навигатор автоматически в темпе процесса предоставляет диспетчеру рекомендации по ведению адаптивного оптимального режима. Рекомендации представляют собой последовательности переключений в сети, приводящих к изменениям ее конфигурации. В случае аварии, инцидента, технологического нарушения, рекомендации должны способствовать возврату электрической сети из аварийного, послеаварийного или вынужденного режима в нормальный режим. В нормальном режиме навигатор контролирует отклонения от плана работы сети, непрерывно следит за оптимальностью

потерь электроэнергии и в случае нахождения более оптимального режима, рекомендует диспетчеру выполнить конкретные действия – выполнить рекомендуемые переключения по оптимизации режима. Кроме этого диспетчеру нужно выполнять запланированные и вынужденные повседневные переключения – вывести оборудование в ремонт и вводить в работу после ремонта, выполнять транзитные переводы нагрузок и генерации, определять место замыкания на землю и т.д. Навигатор должен выдавать рекомендации для выполнения и таких простых операций.

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В НАВИГАТОРЕ

Идея перевода управления сетью диспетчером от интуитивного «на свой страх и риск» к управлению на основе обоснованных, просчитанных рекомендаций, выдаваемых компьютером в реальном времени не нова. Реализация идеи выполняется в «советчике диспетчера». Новизна предлагаемого решения заключается в:

- переходе от ручного запуска диспетчером расчетных приложений к их автоматическому запуску самим навигатором, причем именно нужных в данный момент приложений, для выдачи рекомендации диспетчеру. Это позволяет снизить влияние человеческого фактора на принятие решений, а самому диспетчеру – оптимально вести режим как в простой, так и в сложной ситуации. Расстановка целей, выбор необходимых пакетов программных приложений для запуска в данный момент и для данного режима, декомпозиция сети и другие действия выполняются навигатором;
- использовании численных методов, которые позволяют находить исчерпывающие рекомендации, близкие к глобальному оптимуму целевой функции для любой конфигурации сети, в отличие от экспертных и подобных им систем. Методы и алгоритмы разработаны и адаптированы к распределительной сети. Это позволяет системно и быстро рекомендовать диспетчеру наиболее оптимальные решения, что обеспечивает доверие диспетчера к навигатору;
- инвариантности расчетов к структуре диспетчерского управления, что позволяет использовать навигатор в одно и многоуровневой автоматизированной системе диспетчерского управления;
- включении во все рекомендации оптимизации движения бригад;

- оценивании состояния сети с обработкой данных, поступающих одновременно:
 - с МИП, устройств телемеханики, от устройств РЗА, АСУ ТП подстанций;
 - со счетчиков, УСПД и ИВК АИИС КУЭ;
 - посредством ручного ввода;
 - по замерам.
- учете текущих ресурсов оборудования, включая его управляемость, учете людских ресурсов и транспортных средств.

Новая постановка задачи требует структуризации пакетов программных приложений, формировании расчетных цепочек программных приложений, в соответствии с принятой классификацией режимов. Последнее означает разработку:

- приоритетов режимов и схем перевода сети из одного режима в другой;
- матрицы режимов и программных приложений;
- цепочек программных приложений анализа режимов и синтеза решений;
- условий запуска цепочек приложений;
- целевых функций, ограничений, соотношений критериев для каждого программного приложения;
- интерфейса пользователя для рекомендаций в виде информационных панелей, подсказок, сообщений, динамической окраски сети.

ТЕРМИН “НАВИГАТОР”

Нам представляется, что термин “навигатор” более точно отражает выполняемые функции нежели термин “советчик”. Навигация водителя автомобиля по маршрутам движения уже стала повседневной и повсеместной практикой, а автоматическое изменение рекомендаций водителю автомобиля при изменении маршрута движения также внедрена во всех автомобильных навигаторах. В концепции предусмотрена именно такая навигация, когда маршрут-режим сети меняется. Навигатор диспетчера имеет все предпосылки для постепенного и повсеместного использования в диспетчерских пунктах распределительной сети.

ПОДДЕРЖКА РАБОТЫ С ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛЬЮ СЕТИ

В навигаторе предусмотрено создание и поддержка профиля информационной модели сети на основе последних версий CIM модели стандартов МЭК 61970/61968, наполнения профиля данными и их редактирование, загрузка и выгрузка этих данных в CIM-XML формате для обмена.

ИНТЕГРАЦИЯ НАВИГАТОРА

Предусмотрена глубокая интеграция навигатора со SCADA системой для обмена теле-сигналами, телеизмерениями и результатами расчета навигатора. SCADA обеспечивает сбор, первичную обработку, архивирование, хранение, визуализацию данных, принимаемых с объектов распределительной сети.

Также SCADA обеспечивает интеграцию с АИИС КУЭ, с системой управления активами предприятия, системой управления ремонтами и другими программными комплексами и информационными системами, используемыми в распределительной сетевой компании, по мере необходимости.

РЕЖИМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Классификация, терминология и определения режимов соответствуют СТО 59012820.29.240.007-2008 “Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем” ПАО “СО ЕЭС”. Под режимом понимается не только совокупность параметров режима, но и конфигурация – топология электрической сети, образующая этот режим.

Соответственно режим распределительной сети – это единый процесс преобразования, передачи и потребления электрической энергии в распределительной сети и состояние объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей электрической энергии, включая схемы электрических соединений объектов электроэнергетики.

Основные режимы работы распределительной электрической сети – нормальный режим, вынужденный режим, аварийный режим, послеаварийный режим.

Для соответствия действительности вводится принцип множественности режима распределительной сети. То есть, если в какой-то части сети режим нормальный, то для этой области навигатор выдает рекомендации по оптимизации режима. В другой части сети возможно технологическое нарушение и навигатор для этой области выдает рекомендации по вводу режима в допустимую область. В третьей части сети возможно незапланированное отключение потребителей и навигатор для этой области выдает рекомендации по определению места повреж-

дения, изолированию поврежденной части сети, восстановлению питания потребителей в неповрежденной части сети. В четвертой части сети диспетчер ищет место однофазного короткого замыкания. В пятой части сети нужно вывести в ремонт трансформатор. В шестой части сети – ввести в работу кабельную линию после ремонта. И так далее.

Навигатор должен учитывать указанные режимы и части сети, где эти режимы присутствуют, выдавать рекомендации диспетчеру по переводу режима из одного, более тяжелого, в другой, менее тяжелый, и далее – по переводу в нормальный режим. При этом учитываются категории потребителей, допустимые времена нахождения категорий потребителей без питания, допустимые времена технических параметров режима и оборудования, выходящих за пределы длительно и кратковременно допустимых значений, время перемещения бригад между подстанциями и время работы бригад на подстанциях.

КАТЕГОРИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Категории потребителей учитываются в соответствии с ПУЭ, см. п. 1. 2. 18-21.

УРОВЕНЬ НАДЕЖНОСТИ СЕТИ, КОНТРОЛИРУЕМЫЙ НАВИГАТОРОМ

Рекомендации, выдаваемые навигатором должны соответствовать уровню надежности распределительной сети в соответствии с категориями потребителей по ПУЭ, см. п. 1. 2. 18-21. При этом результат оценки каждой расчетной аварии должен учитывать не только работу автоматического ввода резерва на стороне высокого, среднего и низкого напряжения, но и восстановление сети, восстановление питания потребителей, ввод режима в допустимую область для расчетной аварии. Это позволит получить действительную область оптимальных решений – рекомендаций.

КРАТКИЙ ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДАЦИЙ НАВИГАТОРА

Начальный набор рекомендаций навигатора с учетом моделирования работы автоматики сети, поддержания уровня надежности по ПУЭ, оптимального движения бригад, должен включать по крайней мере следующие рекомендации:

- в режиме “что, если?”;

- при планировании транзита, перевода нагрузки, питания;
- по оптимизации потерь электроэнергии;
- по оптимизации, вводу напряжений на шинах в допустимую область;
- по оптимизации движения бригад;
- по определению поврежденного оборудования;
- по изолированию поврежденного оборудования;
- по устранению перегрузок на линиях и трансформаторах;
- по восстановлению питания потребителей;
- по восстановлению сети в состояние, предшествующее аварийному;
- по восстановлению сети в нормальное состояние;
- по действиям при определении замыкания на землю.

РЕЖИМНЫЙ ТРЕНАЖЕР

Навигатор должен быть включен в режимный тренажер и тренажер по оперативным переключениям. Планирование на час и сутки вперед на тренажере с навигатором позволит получить надежный и оптимальный план управления сетью.

МЕТОДИКИ ГЕНЕРАЦИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ

Существенную часть синтеза рекомендаций представляют настраиваемые методики. В методиках генерации рекомендаций описываются общая и частные целевые функции, критерии и их весовые коэффициенты, единичные и групповые ограничения по параметрам режима, технологическим нарушениям, времени выполнения операций, условиям выполнения рекомендаций, какое управляющее оборудование и как задействуется.

Независимо от места установки навигатора: – на ДП ЦУС или на ДП РЭС, предусмотрена его настройка по параметрам методик под всю сеть 0,4-35 кВ распределительной сетевой компании, сеть другого размера, например, одного или нескольких РЭС, и под решение конкретной поставленной задачи. Например, в соответствии с методикой, восстановление сети в простых случаях для новой незагруженной сети с отсутствием проблем по напряжению, можно настроить так, что режим вообще не будет учитываться при формировании рекомендаций.

РАЗРАБОТКА В СООТВЕТСТВИИ С ДОРОЖНОЙ КАРТОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНИЦИАТИВЫ ЭНЕРДЖИНЕТ

В соответствии с дорожной картой НТИ “Энерджинет” протоколом заседания рабочей группы Энерджинет №13 от 05.04.2018 для выполнения в 2018 году рекомендована тематика “Программно-технический комплекс адаптивного оптимального управления режимами распределительной электрической сети”. В соответствии с этой тематикой ООО “Систел” выполняет НИОКР по теме “Разработка программного комплекса адаптивного оптимального управления режимами района распределительной сети” при финансировании Федеральным государственным бюджетным учреждением Фондом содействия инновациям.

ПРОТОТИП НАВИГАТОРА

Разработка прототипа навигатора выполняется в соответствии с описанной выше концепцией навигатора. Для определенности объем сети прототипа ограничен пятьюстами трансформаторными подстанциями. Сеть для прототипа включает фрагмент магистральной сети РСК и всю распределительную сеть, лежащую ниже магистральной. В прототипе навигатора предусмотрена реализация большинства вышеперечисленных типов рекомендаций, вышеупомянутые интеграции также включены в разработку. Кроме этого, в разработку также включены топологический процессор и оценивание состояния с недостаточной наблюдаемостью трансформаторных подстанций.

В качестве SCADA системы выбран ОИУК “Систел”, который имеет достаточный функционал для платформы прототипа навигатора [4-7]. Расчетно-аналитические приложения разрабатываются сотрудниками и специалистами с большим опытом разработки программных приложений расчетов установившихся режимов и тренажеров диспетчера.

Уже разработанные в прототипе навигатора приложения выдачи рекомендаций по восстановлению питания потребителей и по оптимизации потерь электроэнергии выдают исчерпывающие рекомендации в темпе процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлена концепция программного комплекса “Навигатор диспетчера для адаптивного оптимального управления режимами распределительной сети”. Предложенный навигатор диспетчера имеет все предпосылки для постепенного и повсеместного использования в диспетчерских пунктах распределительной сети. Созданы первые версии прототипа навигатора, который выдает исчерпывающие рекомендации в темпе процесса.

Список литературы

1. Фокин Ю.А., Хозяинов М.А. Ввод режима электроэнергетических систем в допустимую область путем коррекции их схемы. — Электричество. 1990, № 12.
2. Рабинович М.А. Отображение оперативной информации. Комплекс “Каскад-НТ 2.0”. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС. 2004, 544 с.
3. Рабинович М.А., Потапенко С.П., Каковский С.К., Трегубов Е.Н. Цифровая модель энергообъединения большой размерности // Энергия единой сети, № 6, декабрь 2017 — январь 2018.
4. Кульман Н.Ю., Рыкованов С.Н., Ухов В.И. Развитие программного обеспечения верхнего уровня ПТК “Систел”. Современные системы сбора, передачи, обработки и отображения информации на объектах электроэнергетики. Сборник докладов. Москва НЦ ЭНАС. 2006 г.
5. Кульман Н.Ю., Рыкованов С.Н., Ухов В.И. Оперативный информационный управляющий комплекс “Систел”. Межотраслевой производственно-технический журнал “Автоматизация от А до Я”, Минск. 2007 г., № 1(32), с. 9-11.
6. Кульман Н.Ю., Пугачева К.И. Виды журналов в оперативном информационном управляющем комплексе “СИСТЕЛ”. Межотраслевой производственно-технический журнал “Автоматизация от А до Я”, Минск. 2007 г., № 4, с. 24-26.
7. Кульман Н.Ю., Косивцова А.В., Пугачева Е.И. Новый подход для создания архитектуры ПО сбора, обработки и визуализации данных для системы диспетчерского управления. MEDIAS2012 Труды Международной научной конференции, 08-14 мая 2012 г., Лимассол, Республика Кипр, изд. ИФТИ, ISBN 978-5-88835-023-2.

*Рыкованов Сергей Николаевич — генеральный директор ООО “Систел”, канд. физ.-мат. наук.
Хозяинов Михаил Александрович — заместитель генерального директора по развитию ООО “Систел”.*