

# Энергетика. Автоматика

УДК 621.316.1

Н.В. Савина, В.Ю. Маркитан

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АКТИВНО-АДАПТИВНЫХ СЕТЕЙ

*В статье рассматриваются существующие технические средства и проводится их функциональный морфологический анализ. На основе анализа делается вывод о необходимости создания методики по выбору оптимальных технических решений.*

*The article considers the present technical facilities of active adaptive networks and their functional morphological analysis. On the base of the analysis the conclusion about the need for selection methods of optimal solutions is made.*

В настоящее время, в том числе и в России, наблюдается все возрастающий интерес к быстроразвивающемуся во всем мире научно-техническому инновационному направлению по преобразованию электроэнергетики на базе новой концепции Smartgrid, называемой в России активно-адаптивной, или «умной» сетью.

Активно-адаптивная сеть – это совокупность подключенных к генерирующим источникам и потребителям линий электропередачи, устройств по преобразованию электроэнергии, коммутационных аппаратов, устройств защиты и автоматики, современных информационно-технологических и управляющих систем, источников генерации, в том числе использующих возобновляемую энергию. Этот комплекс выдает информацию о текущем состоянии оборудования, организует адаптивную реакцию системы в реальном режиме времени на различные возмущения, обеспечивая тем самым надежное энергоснабжение потребителей, энергоэффективность и устойчивость функционирования электроэнергетических систем в целом.

Появление новой концепции «умной» сети породило новые, неведомые до этого проблемы. Например, если объем производимой электроэнергии превышает локальные потребности, поток энергии может изменить направление, чтобы скомпесировать недостаток энергии в соседней зоне. Эта проблема усугубляется, если распределенные источники энергии расположены вдалеке от основных потребителей. Автоматизированная система, управляющая такими сложными ситуациями, должна иметь доступ к средствам динамического изменения всей сети в реальном масштабе времени.

Более того, эта автоматизированная система должна быть достаточно интеллектуальной, чтобы работать с профилями генерации, которые могут изменяться в зависимости от погоды или времени суток (например, в случае ветровых и фотоэлектрических генераторов). В результате поток и направление передачи энергии будут постоянно изменяться в отличие от относительно стабильного однонаправленного потока энергии в современных распределительных сетях.

Современные методы управления сетями опираются в основном на централизованную систему SCADA (диспетчерского управления и сбора данных), которая регулярно собирает данные замеров, выполняемых в телеметрических точках распределительной сети.

Традиционная инфраструктура систем SCADA рассчитана на сбор данных раз или два в минуту и на передачу команд управления по мере необходимости. Однако такая малая скорость недостаточна для более сложных сетей с распределенной генерацией.

Функции, необходимые для управления сетями с учетом новых алгоритмов активно-адаптивного управления, подобны функциям, имеющимся в современных системах управления энергосистемами (EMS), – например, анализ потокораспределения и прогнозирование генерации, которые теперь придется использовать на локальном уровне. И что более важно – вместо пассивной реакции на события в распределительной сети активная сеть должна прогнозировать возможные события и принимать упреждающие меры на основе этих данных.

При этом реализация новых технических решений, заменяющих применяемые в настоящее время технологии, может вызвать существенные проблемы, обусловленные совместимостью нового и эксплуатируемого оборудования, технологий, а также затратами на обслуживание, которые трудно предусмотреть без практической реализации пробных проектов [4].

В связи с вышесказанным к устройствам, реализующим концепцию активно-адаптивных сетей, предъявляются следующие требования: быстроедействие; адаптивность; гибкость.

Целью данной статьи является проведение морфологического анализа существующих технических средств для выявления таких, которые соответствуют требованиям, выдвигаемым новой концепцией построения сети.

Технические средства можно разделить на следующие основные группы:

1. Устройства регулирования (компенсации) реактивной мощности и напряжения, подключаемые к сетям параллельно.
2. Устройства регулирования параметров сети (сопротивление сети), подключаемые в сети последовательно.
3. Устройства, сочетающие функции первых двух групп, – устройства продольно-поперечного включения.
4. Устройства ограничения токов короткого замыкания.
5. Накопители электрической энергии.
6. Преобразователи рода тока (переменный ток в постоянный и постоянный – в переменный).
7. Кабельные линии электропередачи постоянного и переменного тока на базе высокотемпературных сверхпроводников.
8. Информационные технологии.
9. Программные средства.

Объем статьи не позволяет подробно описать все технические средства, поэтому информационные технологии и программные средства, заслуживающие отдельной публикации, здесь не рассматриваются.

Критерии сравнения разделены на признаки: область применения, решаемые задачи и соответствие требованиям концепции активно-адаптивной сети.

Анализ существующих технических решений устройств регулирования приведен в таблице.

Дадим характеристику остальным группам технических средств.

Помимо устройств регулирования, существуют еще несколько классов устройств. Охарактеризуем каждый из них.

*Устройства ограничения токов короткого замыкания.*

Устройства предназначены для ограничения уровней токов к.з. и сохранения живучести электроэнергетической системы. В схемах питания мегаполисов эти проблемы особо актуальны в

связи с высокой плотностью нагрузки И значение токов к.з., превышающих предельно коммутационные способности существующих выключателей [1].

Устройства ограничения токов к.з. можно разделить на две группы:

ограничение уровня токов к.з. на сравнительно небольшую степень;

глубокое ограничение токов к.з. с высоким быстродействием и большим сопротивлением в режимах к.з.

### Морфологический ящик для существующих технических решений

Критерий сравнения	ВРГ	УШР	СТК	СТАТКОМ	СК	АСК	УПК	УУПК	ФПУ
Область применения:									
распределительные сети	+	+	+	+	+	+	+	+	+
системообразующие сети	-	+	+	+	+	+	+	+	+
промышленные сети	-	-	+	+	+	+	+	+	-
увеличение пропускной способности	+	+	+	++	+	+	+	+	++
реверс мощности	-	-	-	-	-	-	-	-	+
регулирование реактивной мощности:									
-потребление	+	+	+	+	+	+	-	-	-
-генерация	+	+	+	+	+	+	-	-	-
параллельное распределение нагрузки линий	-	-	-	-	-	-	+	+	+
регулирование напряжения	+	+	++	++	+	+	+	+	-
уменьшение потерь	+	+	+	++	+	+	+	+	+
гибкость	-	+	+	+	+	+	-	+	+
адаптивность	-	+	+	+	-	+	-	+	+
Многофункциональность	-	+	+	+	+	+	-	+	-

«+» соответствует критерию; «-» не соответствует; «++» наиболее соответствует.

К первым устройствам относятся стандартные токоограничивающие реакторы, включаемые в электрическую сеть последовательно, допускающие сравнительно небольшую степень токоограничения, обладающие сравнительно низкой стоимостью, имеющие широкое практическое применение.

В последнее время большое значение приобретают быстродействующие устройства глубокого токоограничения, обладающие в нормативных режимах малым (в идеале нулевым) сопротивлением, а при к.з. – требуемым. К числу их относятся устройства глубокого токоограничения на базе силовой электроники, быстродействующих коммутационных элементов взрывного действия и использования высокотемпературных сверхпроводников. Такие устройства отвечают требованиям активно-адаптивной концепции построения сетей.

За рубежом и в России проводятся многочисленные исследования создания токоограничителей на базе сверхпроводимости, созданы макеты и опытные образцы этих устройств, коммерческое использование которых, по различным оценкам, возможно в 2015 г.

Снижению капитальных вложений в генерацию и повышению маневренности управления балансом мощности, повышению надежности и качества поставок электроэнергии способствует масштабное применение накопителей электрической энергии разных типов.

*Накопители электрической энергии* – важнейший элемент будущих активно-адаптивных сетей. Накопители энергии выполняют ряд функций: выравнивание графиков нагрузки в сети, накопление электрической энергии в периоды наличия избыточной (дешевой) энергии и выдачу ее в сеть в периоды дефицита, обеспечение в сочетании с устройствами FACTS повышения пределов устойчивости, обеспечение бесперебойного питания особо важных объектов, собственных нужд электростанций и подстанций, демпфирование колебаний мощности, стабилизации работы малоинерционных децентрализованных источников электрической энергии.

Накопители энергии делятся на электростатические, к которым относятся аккумуляторные батареи большой энергоемкости (АББЭ), накопители энергии на основе молекулярных конденсаторов, накопители энергии на основе низкотемпературных (охлаждение жидким гелием) сверхпроводников.

Все типы электростатических накопителей связываются с сетью через устройства силовой электроники – преобразователи тока или напряжения.

Молекулярные накопители проходят стадию создания и испытания опытных образцов. Сверхпроводниковый индуктивный накопитель энергии (СПИНЭ) – одно из применений сверхпроводимости. Практическое применение в настоящее время нашли передвижные СПИНЭ сравнительно небольшой энергоемкости (до  $10^6$  Дж.), широкое использование СПИНЭ возможно после разработки и создания их на базе высокотемпературных сверхпроводников. Ожидаемое время практического применения – 2015-2020 гг.

К электромагнитным накопителям электроэнергии относятся два вида комплексов:

синхронные машины с преобразователями частоты в первичной цепи и маховиками на валу;

асинхронизированные машины с маховиками на валу.

Первый тип агрегатов имеет значительный диапазон изменения скорости и большую способность использования кинетической энергии вращающихся машин; второй тип способен работать в диапазоне регулирования частоты вращения 50% от синхронной, имеет меньшую мощность преобразовательного устройства, чем первый, обладает меньшей стоимостью и может быть выполнен на большую мощность.

*Преобразователи вида тока.*

Преобразователи вида тока (переменный ток в постоянный и постоянный в переменный) предназначены:

для согласованной работы электрических сетей переменного и постоянного тока в случаях их совместного использования, когда применение фрагмента постоянного тока в конкретном сечении (линии) электропередачи экономически и технически целесообразно;

для согласования работы сетей с различной частотой электрического тока, в том числе при возникновении аварийных ситуаций, и восстановления электроснабжения после ликвидации нарушений;

для повышения пропускной способности элементов сети, содержащих «слабые» связи.

Технические устройства для решения этих задач выполняются на основе традиционных вставок постоянного тока (вставки на тиристорах), вставках на базе СТАТКОМов, вставках на базе асинхронизированных машин. ВПТН широко применяются для несинхронного объединения любых энергосистем, в том числе и по межсистемным связям.

*Кабельные линии электропередачи постоянного и переменного тока на базе высокотемпературных сверхпроводников.*

Концепция применения ВТСП-кабелей в электрических сетях исходит из того, что выполненные на основе высокотемпературных сверхпроводящих материалов кабели (ВТСП-кабели) доказали свою техническую осуществимость на примерах их прототипов, опробованных в разных странах (США, Дания, Япония, Корея, Китай, Мексика) [2, 3]. Эти прототипы имели длину от 30 до 600 м, напряжение до 136 кВ, различную пропускную способность и использовали высокотемпературные сверхпроводниковые материалы как первого, так и второго поколения. Опыт испытаний и использования ВТСП-кабелей дает основания для начала проведения широкомасштабных работ по применению сверхпроводящих кабелей в электрических сетях.

Расчеты показывают, что использование сверхпроводящих кабелей переменного тока в электрических сетях целесообразно не только с технической, но и с экономической точки зрения.

Перспективным направлением является использование сверхпроводящих кабелей для передачи энергии на постоянном токе.

Область применения ВТСП кабельной линии постоянного тока:

передача электроэнергии через большие водные пространства;

глубокие вводы большой мощности в центры крупных городов, что позволит не только увеличить передаваемую мощность, но и отказаться от подстанций высокого напряжения в пользу среднего;

связь систем переменного тока с различной номинальной частотой;

несинхронные связи систем одной номинальной частоты, что позволит повысить живучесть объединенной системы;

создание «шин постоянного тока», к которым могут подсоединяться электроэнергетические системы разных районов или стран, работающие несинхронно или с различной частотой и не выполняющие требования единства законов регулирования частоты;

подключение к системе электростанций, работающих с переменной частотой вращения агрегатов, что позволяет обеспечить большую эффективность работы этих агрегатов;

развязка колец, возникающих при развитии объединенной системы, в которых могут циркулировать большие неуправляемые потоки мощности.

Таким образом, в настоящее время технологические платформы (основные средства) Smart grid (активно-адаптивных сетей) в основном разработаны. Это устройства регулирования напряжения на базе современной силовой электроники, асинхронизированные турбогенераторы и компенсаторы реактивной мощности, кабельные линии на основе высокотемпературной сверхпроводимости, устройства ограничения токов к.з.

В заключение можно отметить следующее:

1. Анализ показывает, что для практической реализации концепции «умной» сети необходимо сочетание разных технических решений, при этом возникает вопрос о выборе оптимальных мест их установки, на данный момент методики выбора не существует.

2. Актуально рассмотрение вопроса взаимодействия разных классов устройств и их взаимного влияния друг на друга.

---

1. Основы современной энергетики: В 2-х т. / под общ. ред. чл.-корр. РАНЕ В. Аметистова. – Изд. 4-е. – М.:МЭИ, 2008.

2. Grid 2030: A National Version (or Electricity's Second 100 Years. Office of Electric Transmission and Distribution, United State Department of Energy. July 2003.

3. European Smart Grids Technology Platform: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. EuropeanCommission, 2006.

4. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учебное пособие / А.П. Бурман, Ю.К. Розанов, Ю.Г. Шакарян. – М.: Изд. дом МЭИ, 2012. – 336с.: ил.