

# Силовые средства технологической платформы интеллектуальной ЕНЭС

Ю.Г. Шакарян, д.т.н.  
Н.Л. Новиков, д.т.н.

## Юрий Гевондович Шакарян

Заместитель генерального директора ОАО «НТЦ электроэнергетики» — научный руководитель, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, действительный член Академии электротехнических наук.



## Николай Леонтьевич Новиков

Заместитель научного руководителя, начальник центра новых электросетевых технологий, д.т.н., профессор МЭИ, член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ, заслуженный работник Минтопэнерго РФ.



Технические средства активно-адаптивных сетей играют решающую роль в реализации этой технологии на практике.

Технические средства можно разделить на следующие основные группы:

- Устройства регулирования (компенсации) реактивной мощности и напряжения, подключаемые к сетям параллельно
- Устройства регулирования параметров сети (сопротивления сети), подключаемые в сети последовательно
- Устройства, сочетающие функции первых двух групп — устройства продольно-поперечного включения
- Устройства ограничения токов короткого замыкания
- Накопители электрической энергии
- Преобразователи рода тока (переменный ток в постоянный и постоянный ток в переменный)
- Кабельные линии электропередачи постоянного и переменного тока на базе высокотемпературных сверхпроводников
- Информационные технологии
- Программные средства

Первые три группы устройств относят к технологии управляемых систем электропередачи переменного тока — Flexible Alternative Current Transmission System (FACTS). Отдельные типы устройств и технологии FACTS используются также в группах устройств 4, 5 и 6.

FACTS является одной из наиболее перспективных электросетевых технологий, суть которой состоит в том, что электрическая сеть из пассивного устройства транспорта электроэнергии

превращается в устройство, активно участвующее в управлении режимами работы электрических сетей. Благодаря этому удается в темпе процесса управлять значением пропускной способности линии электропередачи, перераспределять между параллельными линиями электропередачи потоки активной мощности, оптимизируя их в установившихся режимах, и перенаправлять их по сохранившимся после аварий линиям электропередачи, не опасаясь нарушения устойчивости, тем самым обеспечивая повышение

надежности электроснабжения потребителей.

К устройствам FACTS первого поколения (FACTS-1) относят устройства, обеспечивающие регулирование напряжения (реактивной мощности) и обеспечивающие требуемую степень компенсации реактивной мощности в электрических сетях (статический компенсатор реактивной мощности (СТК), реактор с тиристорным управлением, стационарный последовательный конденсатор с тиристорным

## ОСНОВНЫЕ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ



управлением, фазосдвигающий трансформатор и др.).

К новейшим FACTS второго поколения (FACTS-2) относят устройства, обеспечивающие регулирование режимных параметров на базе полностью управляемых приборов силовой электроники (IGBT-транзисторы, IGCT-тиристоры и др.). FACTS-2 обладают новым качеством регулирования — векторным, когда регулируется не только величина, но и фаза вектора напряжения электрической сети (синхронный статический компенсатор (СТАТКОМ), объединенный регулятор потоков мощности (ОРПМ) и др.).

### 1. Устройства регулирования (компенсации) реактивной мощности

предназначены для выполнения задачи обеспечения качества электрической энергии по напряжению путем поддержания заданных уровней напряжения в контрольных точках сети. В опреде-

ленных случаях, особенно для межсистемных и системообразующих связей, при дальнейшем транспорте электроэнергии к этим устройствам предъявляются также требования в отношении обеспечения заданных пределов статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем, устойчивости нагрузки. Данные устройства по принципу действия делятся на статические и электромашинные.

К статическим устройствам относятся: простейшие батареи статических компенсаторов (БСК) и шунтирующие реакторы (ШР), обеспечивающие ступенчатое регулирование реактивной мощности, реакторные группы, коммутируемые вакуумными выключателями (ВРГ), управляемые шунтирующие реакторы (УШР), статические тиристорные компенсаторы (СТК), статические компенсаторы реактивной мощности, выполненные на базе современной силовой электроники (мощные IGBT-транзисторы) – СТАТКОМ.

**Реакторные группы, коммутируемые выключатели (ВРГ)**

Ступенчато-регулируемые реакторы, подключаемые к третичной обмотке автотрансформаторов (трансформаторов) посредством вакуумных выключателей с числом коммутаций 5000–10 000, временем включения/отключения выключателя  $\Delta t = 0,02-0,12$  с.

Применяются для компенсации зарядной мощности линий электропередачи и в узлах нагрузки для поддержания напряжения в требуемых пределах в установившихся режимах. ВРГ предназначены для ступенчатого регулирования напряжения (реактивной мощности) при мощностях, протекающих по линиям электропередачи, не

**FACTS является одной из наиболее перспективных электро-сетевых технологий**

превышающих натуральную. Предпочтительная область применения – распределительные сети. Возможны комбинации, когда параллельно ВРГ подключаются конденсаторные батареи (КБ).

Отечественной промышленностью освоено производство ВРГ. Мощность одной ступени – от 10 до 60 МВА, U ном – 10-35 кВ. Производятся в мировой практике.

**Управляемый шунтирующий реактор с подмагничиванием постоянным током**

Выполняется на основе специального трансформатора с масляным охлаждением, в составе УШР на общем сердечнике содержится сетевая обмотка реактора, компенсирующая обмотка, обмотка управления и вне бака с УШР – тиристорное выпрямительное устройство и фильтр. Быстродействие УШР определяется степенью форсировки и расфорсировки подмагничивания постоянным током и мощности выпрямительного устройства.

УШР предназначены для плавного регулирования напряжения (реактивной мощности) при мощностях, протекающих по линиям электропередачи, не превышающих натуральную. УШР могут устанавливаться как на линиях электропередачи (линейные УШР), так и на шинах подстанции, не предназначенных для обеспечения требований по устойчивости. Предпочтительная область применения – распределительные сети. Возможна комбинация, когда параллельно УШР подключается компенсаторная батарея (КБ). ЗПО «Трансформатор» (Украина) освоено производство шинных УШР с подмагничиванием напряжением 110, 220 кВ, 500 кВ. Зарубежные аналоги отсутствуют.

**Статические тиристорные компенсаторы (СТК)**

В составе СТК реактор с воздушным охлаждением и тиристорный вентиль с воздушным или водяным охлаждением, образующие тиристорные группы (ТРГ) с плавным регулированием угла зажигания тиристоров. Параллельно с ТРГ подключена конденсаторная батарея (КБ), а иногда и фильтро-компенсирующие цепи (ФКУ). Подключается к сети ВН через третичную обмотку НН-автотрансформатора или через блочный повышающий трансформатор. Минимальная величина постоянной времени регулирования реактивной мощности составляет  $\tau_{рс} = 0,01-0,02$  с.

Обеспечивают регулирование напряжения (реактивной мощности) при мощностях в линиях электропередачи как ниже, так и выше натуральной. Предназначены также для повышения устойчивости и пределов передаваемой по линиям электропередачи мощности. Предпочтительная область применения – распределительные и магистральные сети, межсистемные связи для целей глубокого регулирования реактивной мощности и обеспечения устойчивости.

Отечественной промышленностью освоено производство СТК мощностью 50, 100, 160 МВА напряжением 11–15,75 кВ. Мировые производители (Siemens, ABB, Aegva и др.) выпускают СТК единичной мощностью 50-500 МВА напряжением до 35 кВ. В мировой практике СТК нашли широкое применение.

**Статический компенсатор реактивной мощности на базе преобразователя напряжения (СТАТКОМ)**

Состоит из выполненного на силовых транзисторах пре-

образователя напряжения, обеспечивающего генерацию и потребление реактивной мощности в диапазоне 100% установленной мощности устройства без дополнительных силовых реакторов и конденсаторных батарей. Подключение к сети ВН через третичную обмотку НН-автотрансформатора или через отдельный повышающий трансформатор НН/ВН. Применяются для динамической стабилизации напряжения, увеличения пропускной способности электропередачи, уменьшения колебаний напряжения, повышения устойчивости при электро-механических переходных процессах, улучшения демпфирования колебаний в энергосистеме. Применяется в любых электрических сетях, особенно эффективен в «слабых» сетях.

Разработан и создан первый в России образец мощностью 50 МВАр, напряжением 15,75 кВ, АBB выпустила СТАТКОМ мощностью до 150 МВАр, напряжением до 35 кВ. Siemens, ABB, Aegva производят СТАТКОМ на запираемых тиристорах. В мировой практике наблюдается тенденция увеличения масштабов практического применения.

СТАТКОМ является преобразованием напряжения, выполнен на силовых транзисторах, обеспечивающих 100-процентную генерацию и потребление реактивной мощности без дополнительных силовых реакторов и конденсаторов. Отличается высоким быстродействием и малыми габаритами. Принципиально способен регулировать не только величину, но и фазу напряжения в электрической сети, к которой он подключен. При наличии в звене постоянного тока накопительного

устройства (аккумулятор и др.) способен также обеспечить регулирование активной мощности.

**Электромашинные устройства. Синхронные компенсаторы (СК)**

Является комплексом, состоящим из синхронных машин и возбудителя. Имеется модификация СК с бесщеточным возбуждением. Способен обеспечить регулирование реактивной мощности в пределах 100%, выдача 30-50% потребления. Обладает высокой перегрузочной способностью: 2-3-кратная перегрузка по току в течение 30 с.

Применяется для регулирования напряжения и повышения пределов статической и динамической устойчивости, увеличения пропускной способности электропередачи. Имеет ограничение по применению в сетях, требующих глубокого (100%) регулирования реактивной мощности. Применим в любых электрических сетях.

**Асинхронизированные компенсаторы (АСК)**

Является комплексом, состоящим из асинхронизированных электрических машин переменного тока и статических преобразователей частоты. Содержит на роторе две и более обмоток возбуждения, благодаря чему обеспечивается возможность регулирования реактивной мощности в пределах колебания. Обеспечивается также возможность регулирования не только величины, но и фазы вектора напряжения в энергосистеме. Обладает высокой перегрузочной способностью (двух-, трехкратная перегрузка) по току в течение 300 с. Возможна работа с переменной частотой вращения с маховиком на валу с целью повышения пределов динамических характеристик энер-

**FACTS превращает электрическую сеть из пассивного устройства транспорта электроэнергии в устройство, активно участвующее в управлении режимами работы электрических сетей**

госистем. Применяется для регулирования напряжения и повышения пределов статической и динамической устойчивости, увеличения пропускной способности электропередачи, улучшения демпфирования энергосистемы. Применяется в любых электрических сетях, особенно эффективен в «слабых» сетях. Отечественной промышленностью освоено производство компенсаторов 50, 100 МВА, 11 кВ. Фирмой Hitachi изготовлен АСК мощностью 60 МВА с маховиком на валу.

АСК является электромашинным аналогом СТАТКОМа. Обеспечивает возможность регулирования реактивной мощности в пределах  $\pm 100\%$ . Обладает способностью регулирования не только величины, но и фазы вектора напряжения. Обладает высокой перегрузочной способностью (двух-, трехкратная перегрузка в течение 300 с). Возможна работа с переменной частотой вращения и маховиком на валу с целью улучшения динамических свойств системы.

**2. Устройства регулирования параметров сети**

Эти устройства предназначены для изменения сопротивления элементов сети (управление топологией сети), изменения пропускной способности сети, в том числе увеличения вплоть до ограничения по нагреву без нарушения условий устойчивости, перераспределения потоков мощности по параллельным линиям при изменении режимной ситуации. К устройствам относятся: неуправляемые устройства продольной компенсации (УПК); управляемые устройства продольной компенсации (УУПК); фазоворотные устройства (ФПУ); асинхронизированные компенсаторы (АСК).

**Управляемые устройства продольной компенсации (УУПК)**

Конфигурации УУПК включают в себя реакторы и тиристоры, соединенные параллельно с секциями батареи конденсаторов, включенных в линию электропередачи последовательно. Такая комбинация позволяет обеспечивать плавное управление емкостным сопротивлением и тем самым плавное изменение реактивного сопротивления линии. Возможное выполнение: последовательное включение в линию СТАТКОМа или АСК. Регулирует сопротивление ЛЭП, увеличивает пропускную способность, обеспечивает регулирование, плавное перераспределение мощностей по параллельным линиям электропередачи, демпфирует низкочастотные колебания мощности. Массово производятся зарубежными фирмами. В мировой практике нашли широкое применение. Отсутствует отечественное производство.

**Фазоповоротное устройство (ФПУ)**

Устройства, переключающие посредством выключателей или тиристорных ключей отпайки трансформатора, обеспечивающие регулирование фазы напряжения. Применяется для оптимизации в установленных режимах потоков мощности по параллельным ЛЭП, повышения пропускной способности. Как правило, не предназначены для динамической стабилизации режимов работ электропередачи. Отсутствует отечественное производство. Массово производятся зарубежными фирмами. Мощность ФПУ достигла 2000 МВт. В мировой практике нашли широкое применение.

**3. Устройства продольно-поперечного включения**

Обеспечивают заданное регулирование величины и фазы вектора напряжения в местах их подключения (векторное регулирование), изменяя (оптимизируя) за счет этого управление потоками мощности как в статических, так и в динамических режимах. Эти устройства создаются либо на базе двух СТАТ-

КОМов, либо двух АСК, соединенных параллельно-последовательно.

**4. 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 является экономически и технически целесообразным;
- для согласования работы сетей с различной частотой электрического тока, в том числе при возникновении аварийных ситуаций и восстановлении 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.

**Вставка постоянного тока на обычном тиристоре (ВПТ)**

Требуются для работы источники реактивной мощности от 50 до 100% установочной мощности ВПТ. ВПТ применяется для несинхронного объединения энергосистем. Неэффективна в электрических сетях, имеющих дефицит реактивной мощности. Невозможен автономный режим работы.

**Вставка постоянного тока на основе СТАТКОМов (ВПТН)**

Вставка на базе двух СТАТКОМов, объединенных общим звеном постоянного тока и включаемых в расщелку линий элек-

тропередачи, связывающих две электрические системы, обеспечивает регулирование как активной, так и реактивной мощности в широких пределах.

ВПТН широко применяются для несинхронного объединения любых энергосистем, в том числе и по межсистемным связям, относящихся к категории «слабых». Обеспечивается возможность работы в автономном режиме. Применяется в любых сетях.

В настоящее время на базе отечественного СТАТКОМа ведется проектирование ВПТН единичной мощностью 100 МВт, 35 кВ. Фирмой АВВ освоено производство ВПТН единичной мощностью до 300 МВт, напряжением 345 кВ. В мировой практике наблюдается тенденция широкого применения ВПТН для связи электрических систем.

**Электромашинные преобразователи частоты**

Две асинхронизированные машины с жестко связанными валами, работающие в общем случае при различных частотах энергосистемы. Являются электромеханическим аналогом вставки постоянного тока, состоящей из двух СТАТКОМов. Обладают высокой перегрузочной способностью. В отличие от ВПТН обе части энергосистемы электрически не связаны.

Область применения АС ЭМПЧ такая же, что и ВПТН. Особенно эффективны АС ЭМПЧ при питании нагрузок, чувствительных к посадкам напряжения, и потребителей с импульсной нагрузкой. В России выполнен проект АС ЭМПЧ единичной мощностью 70–200 МВт. Siemens, АВВ выпустили агрегаты АС ЭМПЧ мощностью 60 МВт для питания импульсных нагрузок и для связи сетей промышленной частоты с сетями железных дорог (16 2/3 Гц).

**5. Устройства ограничения токов к.з.**

Устройства предназначены для ограничения уровней токов к.з. и сохранения живучести электро-

энергетической системы. В схемах питания мегаполисов эти проблемы особо актуальны в связи с высокой плотностью нагрузки, значением токов к.з., превышающих предельно коммутационные способности существующих выключателей.

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

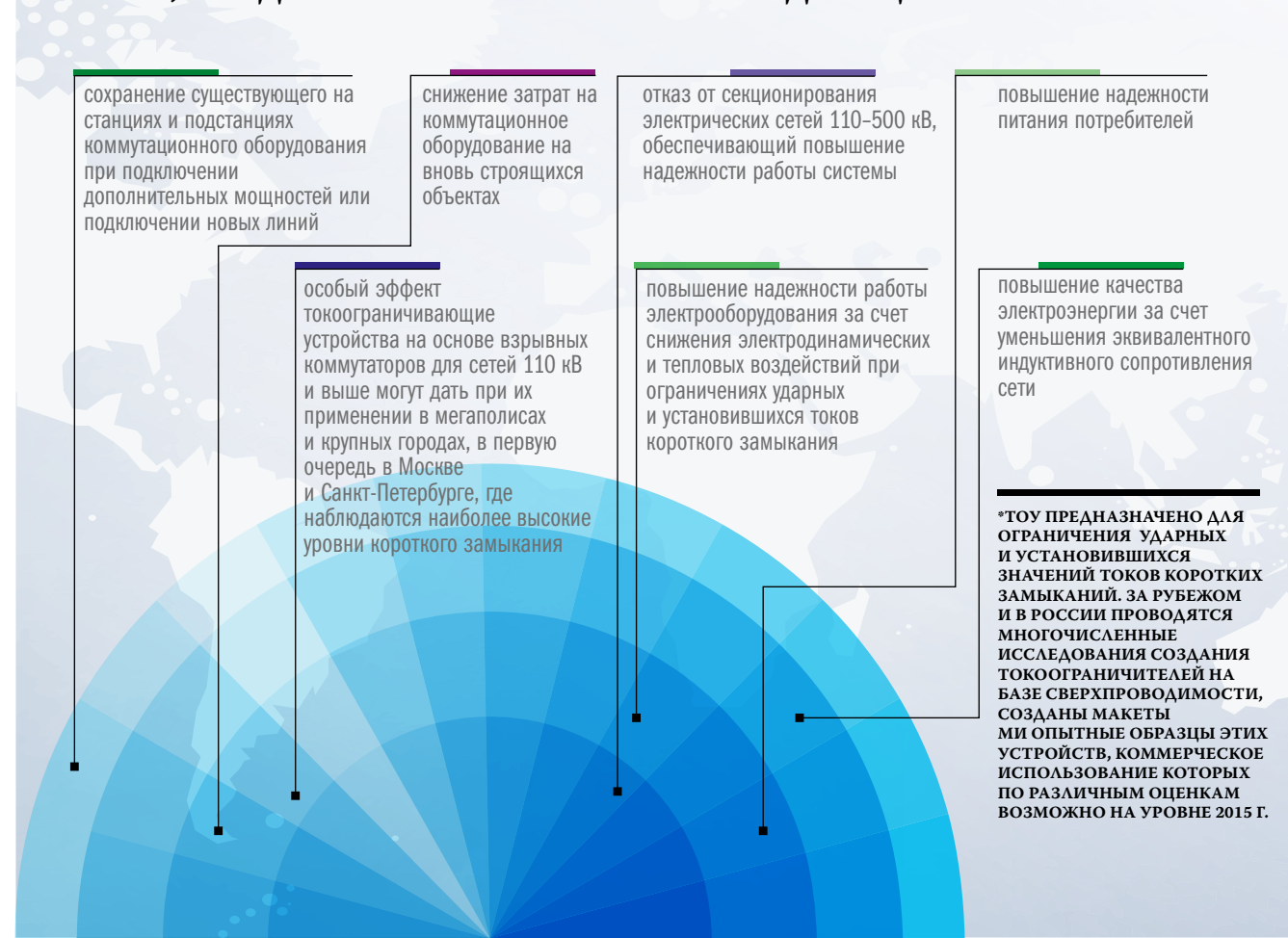
- устройства ограничения уровня токов к.з. на сравнительно небольшую степень;

- устройства глубокого ограничения токов к.з., обладающие высоким быстродействием и большим сопротивлением в режимах к.з.

К первой группе устройств относятся стандартные токоограничивающие реакторы, включаемые в электрическую сеть последовательно, допускающие сравнительно небольшую степень токоограничения, обладающие сравнительно низкой стоимостью и нашедшие 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 этим устройствам относятся устройства глубокого токоограничения на базе силовой электроники, на базе быстродействующих коммутационных элементов взрывного действия, на базе использования

**ПРИМЕНЕНИЕ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ТОУ)\* НА ОСНОВЕ ВЗРЫВНЫХ КОММУТАТОРОВ, ПОСЛЕ ВНЕДРЕНИЯ В СЕТИ ЕНЭС, ПРЕДПОЛАГАЕТ ПОЛУЧЕНИЕ СЛЕДУЮЩИХ ЭФФЕКТОВ:**



ПАРАМЕТР	СП ТОКООГРАНИЧЕНИЯ	ПП ТОКООГРАНИЧЕНИЯ	КЗ ТОКООГРАНИЧЕНИЯ
U ном.	3,6-154	110 кВ	6-220
I ном. кА	До 4	4	10
t сраб. С*	0,001-0,002	0,005	0,001-0,002
t восст. С*	1-2	0,001	0,001-0,002
Принцип действия	Рост сопротивления	Включение сопротивления	Включение сопротивления
Запуск при к. з.	Свойство материала	Система управления	Система управления
Состояние	Создаются макетные и опытные образцы	Выпускается фирмой «Сименс»	Создан и испытан опытный образец напряжением 20 кВ. Промышленное производство не освоено

\* Имеется в виду время действия собственно устройства

высокотемпературных сверхпроводников.

Устройство на базе силовой электроники состоит из последовательно включенных индуктивности и емкости равной величины. В нормальном режиме ключ разомкнут. Падение напряжения равно нулю. При к.з. тиристорный ключ замыкает емкость и индуктивность L ограничивает ток к.з.

**Токоограничитель на основе быстродействующих коммутационных элементов (БКЭ)**

Специальный реактор с коммутационным элементом взрывного типа во вторичной обмотке включается последовательно в сеть и имеет в нормальном режиме малое сопротивление. Автоматическое повышение сопротивления при к.з. Возможно глубокое токоограничение ударного и установившегося тока к.з. Основу токоограничителя составляет быстродействующий коммутационный элемент, состоящий из трех основных элементов: быстродействующее разьединительное устройство; плавкий предохранитель, включенный параллельно; блок логических схем с трансформатором тока.

Способностью ограничения токов обладают также и вставки постоянного тока, однако их предназначение значительно шире, и их использование только для целей

токоограничения экономически вряд ли выгодно.

**6. Накопители электрической энергии**

Накопители электрической энергии являются важнейшим элементом будущих активно-адаптивных сетей. Накопители энергии выполняют ряд функций: выравнивание графиков нагрузки в сети (накопление электрической энергии в периоды наличия избыточной (дешевой) энергии и выдача 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, стабилизация работы малоинерционных децентрализованных источников электрической энергии.

Накопители энергии делятся на электростатические, к которым относятся аккумуляторные батареи большой емкости (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.

В настоящее время рядом зарубежных фирм начат выпуск и осуществляется довольно масштабное практическое применение АББЭ. Молекулярные накопители проходят стадию создания и испытания опытных образцов.

Сверхпроводниковый индуктивный накопитель энергии (СПИНЭ) – это одно из применений сверхпроводимости. Практическое применение в настоящее время нашли передвижные СПИНЭ сравнительно небольшой емкости (до 106 Дж), широкое применение СПИНЭ возможно после разработки и создания СПИНЭ на базе высокотемпературных сверхпроводников. Ожидаемое время их практического применения 2015–2020 гг.

К электромагнитным накопителям электроэнергии относятся два вида комплексов:

- синхронные машины с преобразователями частоты в первичной цепи маховиками на валу;
- асинхронизированные машины с маховиками на валу.

В настоящее время нет практических ограничений по созданию агрегатов первого типа мощностью до 300-400 МВт и второго типа мощностью 800-1600 МВт. Первый тип агрегатов имеет широкий 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 в первом случае, обладает меньшей стоимостью и может быть выполнен на большую мощность. В России был разработан эскизный проект маховикового накопителя на основе асинхронизированной машины вертикального исполнения мощностью 200 МВт. Возможно выполнение накопителя энергии на основе супермаховиков.

Супермаховик изготавливается из сверхпрочного углеродного волокна, получаемого на основе на-

нотехнологий, и имеет удельную энергоемкость 5–15 МДж/кг, что недостижимо для всех известных накопителей энергии: электрохимических аккумуляторов, конденсаторов, пружин. Это объясняется тем, что супермаховик можно разогнать до огромных скоростей.

**7. 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). 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. Указанный выше 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. В этом случае расход сверхпроводника умень-

шается практически в полтора-два раза, отсутствуют электрические потери в жиле и снижаются требования к криогенной системе. 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. ■

**Литература**

1. Основы современной энергетики: в 2 т./под общей редакцией чл. корр. РАН Е.В. Аметистова.-4-е изд.-М.: МЭИ,2008.
2. Grid 2030: A National Version for 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. European Commission, 2006.
4. Hingorani, Narain G Understanding FACTS.IEEE Press 1999.

**Выводы**

**В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА АКТИВНО-АДАПТИВНЫХ СЕТЕЙ В ОСНОВНОМ РАЗРАБОТАНЫ**

В России разработаны и созданы новые оригинальные устройства и технологии, являющиеся элементами активно-адаптивной сети. Это устройства регулирования напряжения на базе современной силовой электроники, принципиально нового типа асинхронизированные турбогенераторы и компенсаторы реактивной мощности, кабельные линии на основе высокотемпературной сверхпроводимости, устройства ограничения токов к.з. коммутационного типа, не имеющие мировых аналогов.

Таким образом, для решения качественно новых задач: управление в темпе процесса в условиях неполной информации о параметрах энергосистемы и возмущающих воздействий – необходимо использование единых принципов управления и качественно новой техники и технологий, в том числе средств и систем: управления и регулирования активной и реактивной мощности с применением силовой электроники; ограничения токов к.з.; накопления электроэнергии; прогнозирования и интеллектуального анализа аварийных ситуаций; поддержки оперативных решений, выдачи рекомендаций и управляющих воздействий по локализации и ликвидации аварий; контроля и анализа технического состояния и остаточного ресурса технологического оборудования; высокоскоростной, полностью интегрированной, двухсторонней технологии связи и коммутаций между субъектами ИЭС для интерактивного обмена информацией, энергией и денежными потоками между ними в режиме реального времени; интеллектуального учета электроэнергии и управления электропотреблением. Использование созданных устройств совместно с информационными технологиями позволит начать поэтапную практическую работу по созданию активно-адаптивных сетей. Внедрение интеллектуальных интерактивных технологий в развитии электрической сети (технологии интеллектуальной сети) должно явиться одним из важных направлений в области энергетической политики России.