

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА SMART GRID (ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА)

В статье рассматриваются основные технические средства, необходимые для создания интеллектуальных сетей применительно к сетям высокого напряжения. Выделяются основные группы технических средств и подробно рассматриваются группы устройств регулирования реактивной мощности, параметров сети и другие. Также поднимается актуальный вопрос накопления электрической энергии для целей выравнивания графиков нагрузки.

ШАКАРЯН Ю.Г., заместитель генерального директора – научный руководитель ОАО «НТЦ электроэнергетики», д.т.н., профессор
НОВИКОВ Н.Л., заместитель научного руководителя ОАО «НТЦ электроэнергетики», д.т.н., профессор

В настоящее время возникли объективные предпосылки для перевооружения электроэнергетики России на новой технологической основе путем создания так называемых активно-адаптивных сетей, называемых за рубежом Smart grid («Умные сети»).

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. Подобного рода системы – насущная необходимость времени, созданием которой занимаются все ведущие страны мира.

Технические средства Smart grid (активно-адаптивных сетей) играют решающую роль в реализации этой технологии на практике. 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 ток в переменный).
7. Кабельные линии электропередачи постоянного и переменного тока на

базе высокотемпературных сверхпроводников.

8. Информационные технологии.

9. Программные средства.

Объем настоящей статьи не позволяет подробно осветить все вопросы. Информационные технологии и программные средства активно-адаптивных сетей, заслуживающие отдельной публикации, здесь не рассматриваются.

Первые три группы устройств относят к технологии управляемых систем электропередачи переменного тока – Flexible Alternative Current Transmission System (FACTS) [1,4]. Отдельные типы устройств и технологии FACTS используются также в группах устройств 4, 5 и 6.

УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ (КОМПЕНСАЦИИ) РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Эти устройства предназначены для выполнения задачи обеспечения качества электрической энергии по напряжению путем поддержания заданных уровней напряжения в контрольных точках сети. В определенных случаях, особенно для межсистемных и системообразующих связей, при дальнем 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.

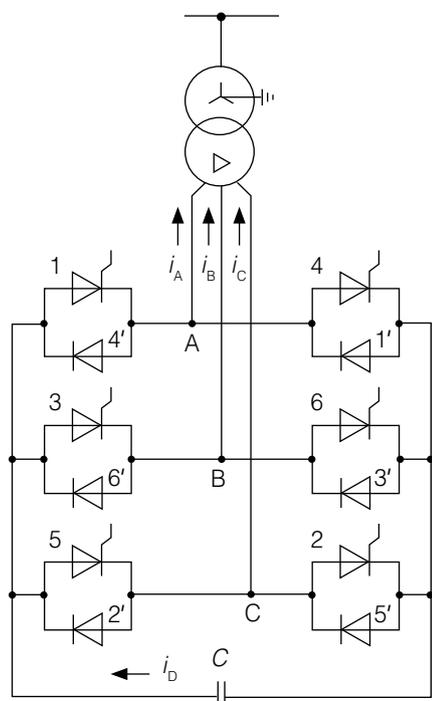


Рис. 1. Схема статического компенсатора реактивной мощности СТАТКОМ

Табл. 1. Технические характеристики устройств регулирования реактивной мощности (напряжения)

№ п/п	Название	Характеристика устройства	Область применения	Производство
1.	Реакторные группы, коммутируемые выключателями (ВРГ)	Ступенчато-регулируемые реакторы, подключаемые к третичной обмотке автотрансформаторов (трансформаторов) посредством вакуумных выключателей с числом коммутаций 5000–10 000, временем включения/отключения выключателя $\Delta t = 0,02 - 0,12c$	Применяются для компенсации зарядной мощности линий электропередачи и узлов 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 превышающих натуральную. Предпочтительная область применения – распределительные сети. Возможны комбинации, когда параллельно ВРГ подключаются конденсаторные батареи (КБ)	Выпускаются в России и за рубежом
2.	Управляемый шунтирующий реактор с подмагничиванием постоянным током (УШР)	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. Они не предназначены для обеспечения требований по устойчивости. Предпочтительная область применения – распределительные сети. Возможна комбинация, когда параллельно УШР подключается компенсаторная батарея (КБ)	Выпускаются в России
3.	Статические тиристорные компенсаторы (СТК)	В состав СТК входит реактор с воздушным охлаждением и тиристорный вентиль с воздушным или водяным охлаждением, образующие тиристорные группы (ТРГ) с плавным регулированием угла зажигания тириستоров. 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 $\tau_{рс} = 0,01 - 0,02c$	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. Неэффективны в «слабых» сетях	Выпускаются в России и за рубежом
4.	Статический компенсатор реактивной мощности на базе преобразователя напряжения (СТАТКОМ)	Состоит из преобразователя напряжения, выполненного на силовых транзисторах, обеспечивающего генерацию и потребление реактивной мощности в диапазоне $\pm 100\%$ 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 электромеханических переходных процессах, улучшения демпфирования колебаний в энергосистеме. Применяется в любых электрических сетях, особенно эффективен в «слабых» сетях	Выпускается за рубежом, в России создан пилотный образец
5.	Синхронные компенсаторы (СК)	Является комплексом, состоящим из синхронных машин и возбuditеля. Имеется модификация СК с бесщеточным возбуждением. Способна обеспечить регулирования 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 ($\pm 100\%$) регулирования реактивной мощности. Применим в любых электрических сетях	Выпускаются в России и за рубежом
6.	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 $\pm 100\%$ колебания. Обеспечивается также возможность регулирования не только величины, но и фазы вектора напряжения в энергосистеме. Обладают высокой перегрузочной способностью (двух-трехкратная перегрузка) по току в течение 300 сек. Возможна работа с переменной частотой вращения с маховиком на валу с целью повышения пределов динамических характеристик энергосистем	Применяется для регулирования напряжения и повышения пределов статической и динамической устойчивости, увеличения пропускной способности электропередачи, улучшения демпфирования энергосистемы. Применяются в любых электрических сетях, особенно эффективен в «слабых» сетях	Выпускаются в России и за рубежом

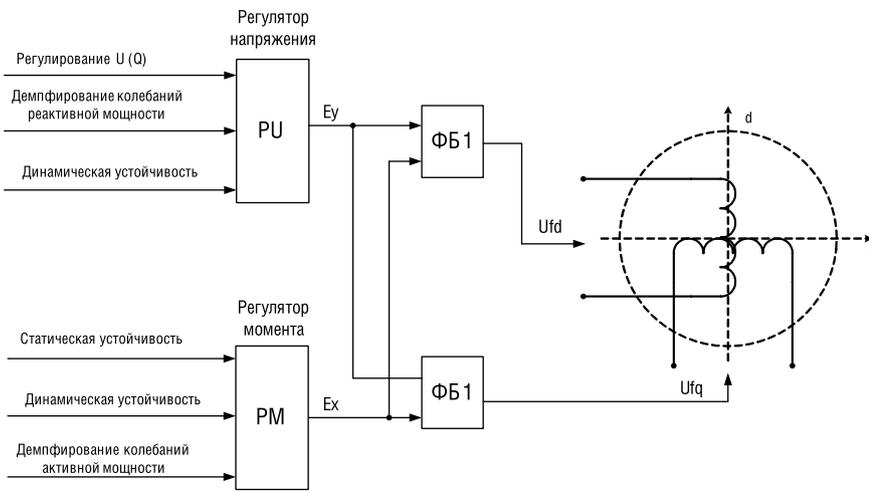


Рис. 2. Функциональная структура регулирования асинхронизированной машины

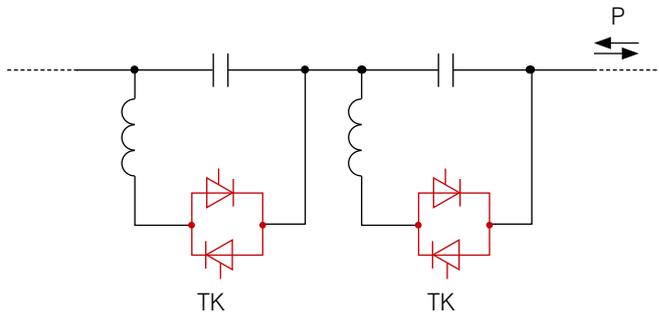


Рис. 3. Функциональная схема УПК

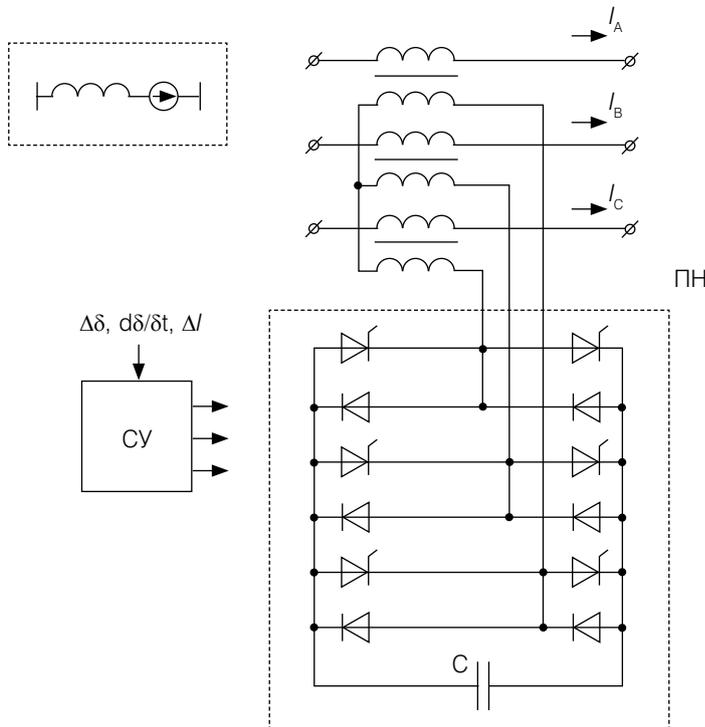


Рис. 4. Управляемое устройство продольной компенсации (УПК)

$\Delta\delta$; $d\delta/dt$; ΔI – сигналы регулирования; СУ – система управления;

ПН – преобразователь напряжения на запираемых тиристорах; I_A , I_B , I_C – токи ВЛ.

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 (рис. 1). Схемы и принцип действия БСК, ВРГ, УШР и СТК подробно описаны в литературе [1] и здесь не описываются. На рис. 1 приведена схема СТАТКОМа – базового элемента статических устройств FACTS.

К электромашинным устройствам относятся синхронные компенсаторы (СК), асинхронизированные компенсаторы (АСК). СК является хорошо известным на практике устройством и здесь не описывается. Асинхронизированный компенсатор содержит на роторе две обмотки и специальную (векторную) систему регулирования возбуждения, функциональная структура которой приведена на рис. 2.

Основные особенности и предпочтительные области их применения приведены в табл. 1.

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.

- неуправляемые устройства продольной компенсации (УПК);
- управляемые устройства продольной компенсации (УПК);
- фазоповоротные устройства (ФПУ).

Неуправляемые устройства продольной компенсации подробно описаны [1] и здесь не приведены. На рис.3 и рис.4 приведены функциональные схемы УПК.

Бесплатная электронная версия журнала предоставлена компанией

. Другие номера журнала на сайте редакции:

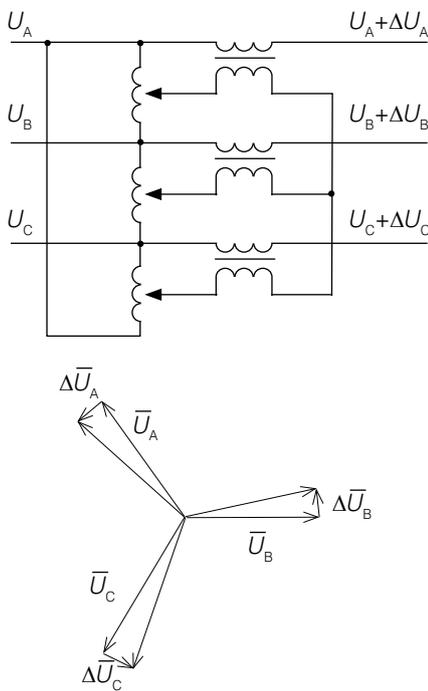


Рис. 5. Фазоповоротное устройство

Основные особенности и предпочтительные области их применения приведены в табл. 2.

К электромашинным устройствам относятся асинхронизированные компенсаторы, включаемые в сеть последовательно, через согласующий трансформатор.

УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ

Обеспечивают заданное регулирование величины и фазы вектора на-

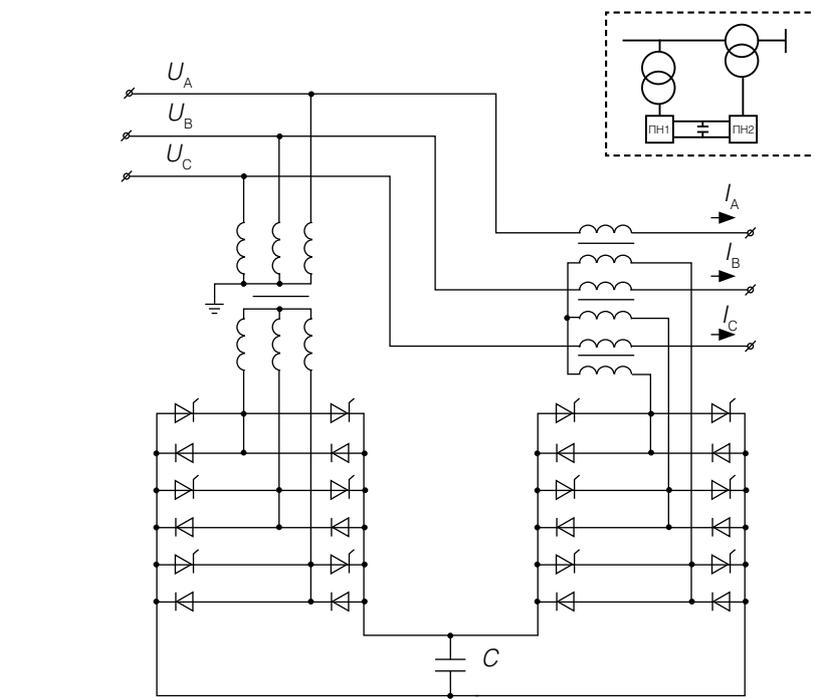


Рис. 6. Объединенный (параллельно-последовательный) регулятор потоков мощности (ОРПМ)

пряжения в местах их подключения (векторное регулирование), изменяя (оптимизируя) за счет этого управленческие потоками мощности, как в статических, так и в динамических режимах. Эти устройства создаются либо на базе двух СТАТКОМов (рис. 6), либо двух АСК, соединенных параллельно-последовательно.

УСТРОЙСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ К.З.

Устройства предназначены для ограничения уровней токов к.з. и сохране-

ния живучести электроэнергетической системы. В схемах питания мегаполисов эти проблемы особо актуальны в связи с высокой плотностью нагрузки, значение 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 бы-

Табл. 2. Характеристики и области применения устройств продольного включения

№ п/п	Название	Характеристика устройства	Область применения	Производство
1.	Неуправляемые устройства продольной компенсации (УПК)	Содержат конденсаторы для компенсации индуктивного сопротивления линии электропередачи	Применяется для повышения пределов передаваемой мощности, повышения степени статической и динамической устойчивости электропередачи При наличии параллельно располагаемой ВЛ обеспечивается перераспределение потоков мощности	Широко используется за рубежом. В России УПК оснащена одна подстанция
2.	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	За рубежом применяется широко, освоено промышленное производство. В России производство УУПК отсутствует
3.	Фазоповоротное устройство (ФПУ)	Устройство переключает посредством выключателей или тиристорных ключей отпайки трансформаторов, обеспечивающее регулирование фазы напряжения	Применяется для оптимизации в установленных режимах потоков мощности по параллельным ЛЭП, повышения пропускной способности. Как правило, не предназначен для динамической стабилизации режимов работ электропередачи	

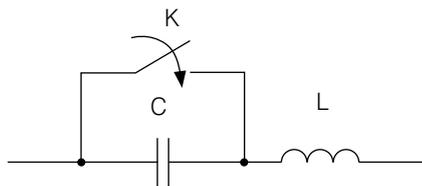


Рис. 7. Полупроводниковый токоограничитель

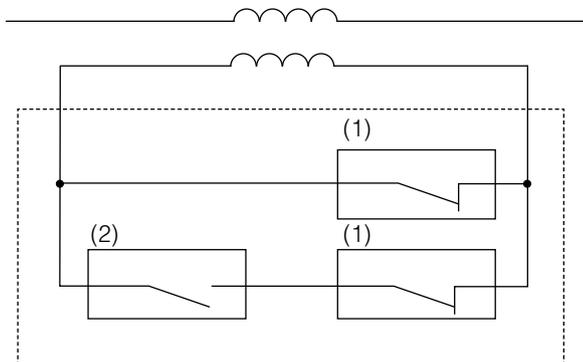


Рис. 8. Токоограничитель на основе быстродействующих коммутационных элементов (БКЭ)

стродействием и большим сопротивлением в режимах к.з.

К первым устройствам 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 (рис. 7), на базе быстродействующих коммутационных элементов взрывного действия (рис. 8), на базе использования 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 КЗ тиристорный ключ шунтирует емкость и индуктивность L ограничивает ток КЗ.

Устройство глубокого ограничения токов короткого замыкания, реализованного на основе магнитосвязанного реактора с быстродействующим коммутатором в его вторичной обмотке, приведено на рис. 8.

Основу токоограничителя составляет быстродействующий коммутационный элемент, состоящий из трех основных элементов:

- быстродействующее разъединительное устройство;
- плавкий предохранитель, включенный параллельно;
- блок логических схем с трансформатором тока.

В нормальном режиме ток протекает через медную шину, расположенную в патроне разъединителя. Ток в предохранителе ~0,1 % от этого тока.

При КЗ по сигналу блока логических схем при определенном значении тока пиротехническим составом рвется шина, после чего ток полностью переходит на плавкий предохранитель, что практически исключает коммутационные переключения. Блок логических схем по сигналу РЗА дает команду на замыкание контактов быстродействующего замыкателя, благодаря чему устройство возвращается в первоначальное состояние.

Элемент КЭ состоит из нормально замкнутого (1) и нормально разомкнутого (2) контактов. Количество элементов определяется условиями эксплуатации.

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 на уровне 2015 г.

В таблице 3 приведены основные характеристики упомянутых выше устройств глубокого токоограничения (ТОУ).



Рис. 9. Аккумуляторные батареи большой емкости (Япония)

Табл. 3. Сравнение основных показателей ТОУ

Параметр	СП токоограничения	ПП токоограничения	КЗ токоограничения
$U_{ном1}$, кВ	3,6–154	110	6–200
$I_{ном1}$, кА	До 4	4	10
$t_{срзав}^*$, 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 КЗ	Свойство материала	Система управления	Система управления
Состояние	Создаются макетные и опытные образцы	Выпускаются компанией «Сименс»	Создан и испытан опытный образец напряжением 20 кВ, промышленное производство не освоено

* имеется в виду собственное время действия устройства

Табл. 4. Опыт применения АББЭ

Тип электролита	Объект	Мощность, МВт	Время работы, мин	Год установки
Серно-кислотный	1. BEWAG, электроснабжение Зап. Берлина;	8.5	20	1990
	2. Резервирование и поддержание частоты малоомощной сети Пуэрто-Рико;	20	15	1998
	3. Чинно (Калифорния), различные объекты для исследования возможностей регулирования нагрузки, частоты, напряжения и реактивной мощности	10	240	1986
Никель-кадмиевый	GVEA, обеспечение бесперебойного электроснабжения прибрежных районов Аляски вблизи г. Анкоридж	40	15	2003
Серно-натриевый	Ветряная станция Rokkacho, Япония, всего внедрено 100 объектов	34	600	2008 (самый крупный)
Цинк-бромный	ПС Detroit Edison Site, Мичиган. Для поддержания напряжения собственных нужд	0.4	480	2001
Ванадий-редоксный	Один из крупных высокотехнологичных заводов в Японии. Выравнивание графика нагрузок	1.5	60	2001

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.

НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

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 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 емкости (АББЭ) (рис. 9.), 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 осуществля-

ется довольно масштабное практическое применение АББЭ [2, 3].

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 энергоемкости (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 мощности до 300–400 МВт и второго типа мощности 800–1600 МВт. Первый тип агрегатов имеет большой 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

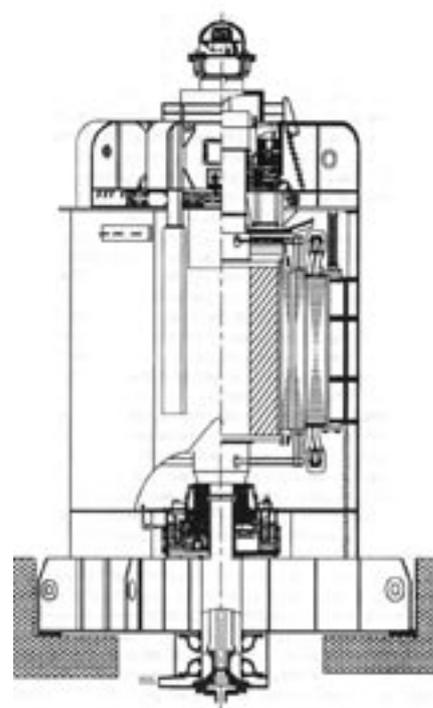


Рис. 10. Проект маховикового накопителя на основе АС машины вертикального исполнения мощностью 200 МВт



Рис. 11. Проект «Beacon Power Smart Energy Matrix» на основе супермаховиков

*В первом случае мощность преобразователя равна мощности машин, во втором – пропорциональна глубине регулирования

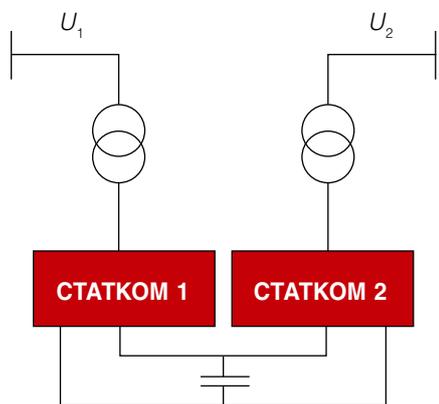
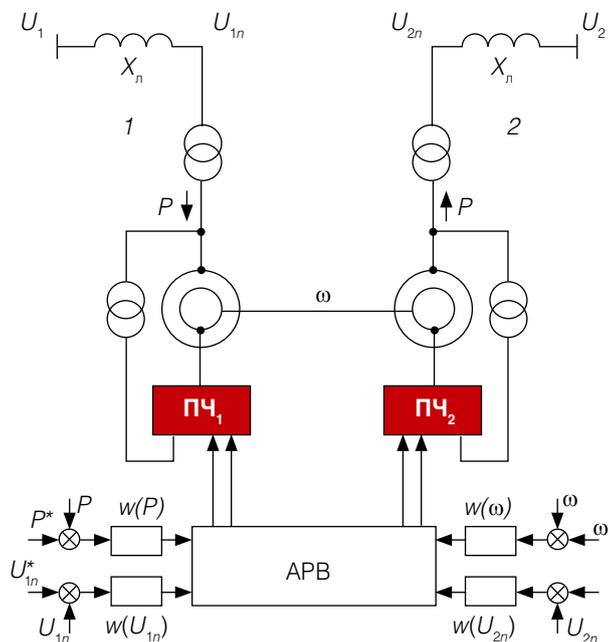


Рис. 12. Вставка постоянного тока на основе СТАТКОМов (ВПТН)

Рис. 13. Структурная схема агрегата, состоящего из двух асинхронизированных машин (АС ЭМПЧ). ПЧ1, ПЧ2 – преобразователи частоты; P^* , U_{1n}^* , U_{2n}^* , ω^* – задания (уставки) соответствующих переменных



маховикового накопителя на основе асинхронизированной машины вертикального исполнения мощностью 200 МВт (рис. 10).

Возможно выполнение накопителя энергии на основе супермаховиков.

Супермаховик изготавливается из сверхпрочного углеродного волокна, получаемого на основе нанотехнологий, и имеет удельную энергоёмкость 5–15 МДж/кг или 1,4–4,17кВт·час/кг, что недостижимо для всех известных накопителей энергии – электрохимические аккумуляторы, конденсаторы, пружины.

Это объясняется тем, что супермаховик можно разогнать до огромных скоростей.

На рис. 11. приведено матричное расположение супермаховиков в здании. Параметры: мощность – 13,5 МВт; энергия запасаемая – 1,35 МВт·ч при 13,5 МВт; размер – 18,3 x 12,8 м; вес – 81,6 т.

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 восстановления электроснабжения после ликвидации нарушений;

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

Табл. 5. Характеристики устройств преобразователей тока

№ п/п	Название	Характеристика устройства	Область применения	Производство
1.	Вставка постоянного тока на обычном тиристоре (ВПТ)	Вставка на базе выпрямителя и инвертора, построенная на базе однооперационных тиристоров. Требуется для работы источники реактивной мощности от 50 до 100 % установочной мощности ВПТ	ВПТ применяется для несинхронного объединения энергосистем. Не эффективен в электрических сетях, имеющих дефицит реактивной мощности. Не возможен автономный режим работы	Освоено в России и за рубежом
2.	Вставка постоянного тока на основе СТАТКОМов (ВПТН)	Вставка на базе двух СТАТКОМов, объединенных общим звеном постоянного тока и включаемых в расщелку линий электропередачи, связывающих две электрические системы. Обеспечивают 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.	Освоено за рубежом, в России ведутся проектные работы
3.	Электромашинные преобразователи частоты	Две асинхронизированные машины с жестко связанными валами, работающие при различных частотах энергосистемы являются электромеханическим аналогом вставки постоянного тока, состоящей из двух СТАТКОМов. Обладает высокой перегрузочной способностью. В отличие от ВПТН обе части энергосистемы электрически не связаны	Область применения АС ЭМПЧ такая же, что и ВПТН. Особенно эффективен АС ЭМПЧ при питании нагрузок, чувствительных к посадкам напряжения, и потребителей с импульсной нагрузкой	Производство отсутствует

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 (рис. 12–13).

Сравнительные характеристики этих устройств приведены в табл. 5.

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 метров, 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.

Конструкция одной фазы ВТСП кабеля переменного тока приведена на рис.14.

Перспективным направлением является использование сверхпроводящих кабелей для передачи энергии на постоянном токе. В этом случае расход сверхпроводника уменьшается 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 пере-

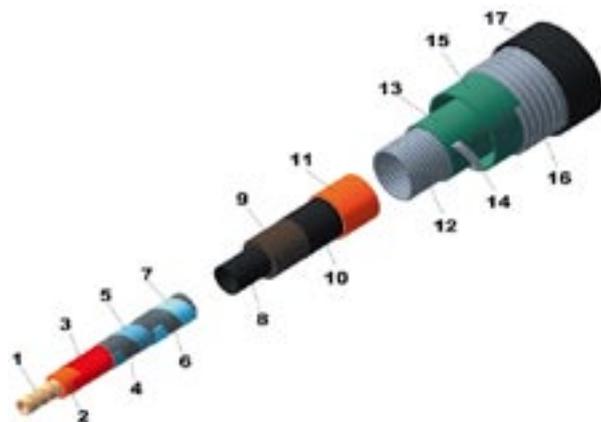


Рис. 14. Конструкция сверхпроводящего силового кабеля длиной 30 метров. 1, 2, 3 – центральный несущий элемент–формер; 4, 5, 6, 7 – сверхпроводящий токонесущий слой – два повива; 8, 9, 10 – изоляция; 11–экран; 12, 13, 14, 15, 16 – криостат: внутренняя гофрированная труба, тепловая изоляция, внешняя гофрированная труба; 17 – защитная оболочка

даваемую 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.

Выводы

1. В настоящее время технологические платформы (основные средства) Smart grid (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.

2. Использование созданных устройств совместно с информационными технологиями позволит начать поэтапную практическую работу по созданию Smart grid. Внедрение интеллектуальных интерактивных технологий в развитии электрической сети (технологии интеллектуальной сети) должно явиться одним из важных направлений в области энергетической политики России.

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.