СИГРЭ. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМИТЕТ SC B4 «ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПОСТОЯННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ»

АВТОР:

ЦФАСМАН Г.М.,
К.Т.Н.,
ЗАСЛУЖЕННЫЙ ЧЛЕН
СИГРЭ
ФГУП ВЭИ

В августе 2012 г. в Париже прошла 44-я сессия Международного совета по большим электроэнергетическим системам CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Electriques). Это знаковое для электроэнергетиков любой страны мероприятие. Мы продолжаем рассказ о деятельности этой организации и о результатах работы 44-й сессии. В предыдущем номере мы рассказали о деятельности исследовательского комитета A2 «Трансформаторы». В настоящем номере мы представляем статью заслуженного члена СИГРЭ, известного специалиста по проблемам передачи электроэнергии постоянным током Г.М. Цфасмана. Речь в его статье пойдет о деятельности исследовательского комитета B4 (SC B4) «Оборудование электропередач постоянного тока высокого напряжения и мощной силовой электроники».

В 2012 году число членов СИГРЭ достигло 11 910 человек, представляющих интересы 95 стран в 57 национальных комитетах

В связи с ускоренным наращиванием электрических мощностей (особенно в странах с быстро развивающейся экономикой, таких как Китай, Индия, Бразилия), а также с повышением требований к надежности энергоснабжения, качеству электроэнергии и регулированию ее перетоков при переходе к рыночным отношениям в области распределения электроэнергии в мире продолжаются интенсивные исследования, разработки и поставки оборудования как для вновь строящихся, так и реконструируемых электропередач.

Большое внимание в последние годы уделяется централизованному контролю состояния оборудования и управлению его жизненным циклом. Все эти аспекты в полной мере относятся и к оборудованию электропередач и вставок постоянного тока и устройствам регулирования перетоков активной и реактивной мощности («Гибкие электропередачи», FACTS), которые составляют тематику работы исследовательского комитета B4 СИГРЭ «Оборудование электропередач постоянного тока высокого напряжения и мощной силовой электроники».

В настоящее время в ИК B4 работают рабочие группы:

- WG B4–38: Моделирование ППТВН и ГЭПТ. Руководители – Хосе Хардини (Jose Jardini), Бразилия и Эни Гоул (Ani Gole), США;
- WG B4–47: Особые аспекты технических требований к фильтрам для ППТВН. Руководитель – Найджел Шор (Nigel Shore), Великобритания;
- WG B4–49: Оценка надежности и обзор применения существующих тиристорных устройств последовательной компенсации (TCSC) реактивной мощности. Руководитель – Стиг Нильссон (Stig Nilsson, ныне секретарь ИК B4), США;
- WG B4–51: Исследование переходных напряжений, воздействующих на преобразовательные трансформаторы ППТВН. Руководитель – д-р Янни Фу (Yanny Fu), Нидерланды;
- WG B4–53: Руководство по закупкам и испытаниям устройств СТАТКОМ. Руководитель – Дэн Келл (Dan Kell), Канада;
- WG B4–54: Руководство по продлению жизненного цикла существующих систем ППТВН. Руководитель – Р. Сэсмэл (R. Sasmal), Индия. Окончание планируется на 2013 г.;
- WG B4–55: Подключение морских ветроэлектростанций с помощью ППТВН. Руководитель – Кент Сёбринк (Kent Søbrink), Дания. Окончание планируется на 2013 г.;
- WG B4–56: Руководство по подготовке Соглашений о подключении, или «сетевых законов», для сетей постоянного тока. Руководитель – Филипп Адам (Philippe Adam), Франция. Группа очень активно работает. Подготовлены варианты опорных схем (benchmark) и оглавление двух частей документа. Окончание работы планируется на 2013 г.;
- WG B4–57: Руководство по разработке моделей преобразователей ППТВН в сетях постоянного тока. Руководитель – Кормак МакКарти (Cormac McCarthy), Ирландия. Разработано оглавление документа. Окончание работы планируется на 2013 г.;
- WG B4–58: Управление перетоками мощности и непосредственное регулирование напряжения в смешанных сетях постоянного тока. Руководитель – Керстин Линден (Kerstin Linden), Швейцария. Разработано оглавление документа. Окончание работы планируется на 2013 г.;
- WG B4–59: Управление и защита в сетях постоянного тока. Руководитель – Кис Кореман (Kees Koreman), Нидерланды. На заседании ИК группу представлял Роберт Уайтхаус (Robert Witehouse), Великобритания. Работа только начинается, сформирован состав рабочей группы (требуется расширение). Представлен первый проект оглавления документа. Окончание работы планируется на 2013 г.;
- WG B4–60: Проектирование сетей ППТВН по критериям оптимальной надежности и готовности. Руководитель – д-р Норман Маклеод (Dr. Norman Macleod), Великобритания. На заседании ИК группу представлял Алекс Гризенти (Alex Grisenti), Австрия. Работа только начинается, сформирован состав рабочей группы (требуется расширение). Представлен первый проект оглавления документа. Окончание работы планируется на 2013 г.;
- WG B4–61: Общее руководство по проектированию заземляющих электродов. Руководитель – Джингксуан Ху

(Jingxuan (Joanne) Hu), Канада. Работа только начата, окончание планируется на 2013 г.;

– JWG C4/C1/B4–604: Влияние встроенных ППТВН на безопасность систем, эффективность и надежность сетей переменного тока. Руководитель – Себасьян Генри (Sebasian Henry), Испания.

На сессии 2012 г. по тематике ИК B4 было представлено 26 докладов.

Доклады разбиты на три группы в соответствии с объявленными заранее предпочтительными темами (Preferential subject – PS).

1. СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПОСТОЯННОГО ТОКА (ППТВН) И ГИБКИХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА (ГЭПТ)

1.1. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЕКТОВ, ВКЛЮЧАЯ ВОПРОСЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В докладе ***B4–103*** «Планирование следующего этапа развития ППТ «Нельсон Ривер» с учетом сравнения технологий инверторов напряжения (VSC) и коммутируемых сетью преобразователей (LCC)» (D. A. N. Jacobson и др., Канада-Швеция) рассматривается возможность применения для третьего биполя ППТ «Нельсон Ривер» инверторов напряжения в сочетании с воздушной линией постоянного тока. Традиционные преобразователи, коммутируемые сетью, потребовали бы установки синхронных компенсаторов мощностью 1000 МВА вследствие слабой приемной системы на стороне инвертора при вводе полной мощности через ППТ. Исследования устойчивости переходных процессов на модели PSS/E показали, что технология VSC приемлема и позволяет отказаться от синхронных компенсаторов и сэкономить капитальные затраты и стоимость эксплуатации и обслуживания оборудования. С другой стороны, исследование показало, что восстановление после аварий на стороне постоянного тока будет более медленным, а отклонения частоты на стороне инвертора при авариях на выпрямителе больше по сравнению с вариантом LCC. Даны рекомендации по некоторому улучшению ситуации средствами системы управления.

В докладе ***B4–110*** «Новая VSC-связь Франция–Испания» (P. L. Francos, S. S. Verdugo, S. Guyomarch, Франция–Испания) детально рассматриваются характеристики будущей ППТ между Францией и Испанией и причины, по которым выбрана технология VSC. Результаты получены при исследованиях, выполненных для определения обменной мощности, стратегий управления и поведения ППТ, встроенной в систему переменного тока. Данная передача, стоимость которой оценивается в 700 млн евро, предположительно, должна войти в эксплуатацию в 2014 году и увеличить возможную обменную мощность с 1200 до 3200 МВт.

1.2. НЕДАВНО ЗАКОНЧЕННЫЕ И СООРУЖАЕМЫЕ ПРОЕКТЫ

Доклад ***B4–105*** «Новый полюс ППТ Fenno-Scan 2 с реконструкцией существующего полюса 1» (Bo L. Pääjärvi и др., Швеция–Финляндия) посвящен проекту сооружения второго полюса и реконструкции первого полюса ППТ Fenno-Scan для передачи энергии между Финляндией и Швецией. Мощность второго полюса – 800 МВт, напряжение на стороне постоянного тока – 500 кВ. Напряжение существующей воздушной линии постоянного тока будет поднято до 500 кВ. Потребуются сооружение новой и реконструкция старой преобразовательных подстанций, сооружение и реконструкция линии постоянного тока и подводного кабеля. Рассматриваются вопросы дополнительных исследований, включая те, которые относятся к линиям постоянного тока, взаимовлиянию фильтров переменного тока двух полюсов, небалансу заземляющих линий, субсинхронным резонансным явлениям, замене заземляющих электродов и проблемам выполнения системных испытаний. Проект был закончен в прошлом году и введен в эксплуатацию с 15 декабря 2011 г.

В докладе ***B4–106*** «Новая схема управления ППТ с коммутируемыми конденсаторами-преобразователями (CCC) при работе инвертора с постоянным напряжением на стороне переменного тока» (P. Fischer и др., Швеция) представлена новая стратегия управления, которая может быть использована в ППТ CCC при подключении к системе переменного тока с очень низким отношением короткого замыкания (SCR). Основа стратегии заключается в поддержании постоянства напряжения на шинах переменного тока инвертора. При соответствующем выборе коммутирующих конденсаторов преобразователь может выдавать или потреблять реактивную мощность от сети переменного тока. В докладе показано, что такая ППТ может удовлетворительно работать даже при практически пассивной сети переменного тока, причем инвертор эмулирует работу инвертора напряжения (VSC). Для иллюстрации работы с такой стратегией управления приведены результаты моделирования вставки постоянного тока «Рио Мадейра». Авторы резюмируют, что предлагаемая стратегия управления позволяет существенно улучшить работу CCC ППТВН.

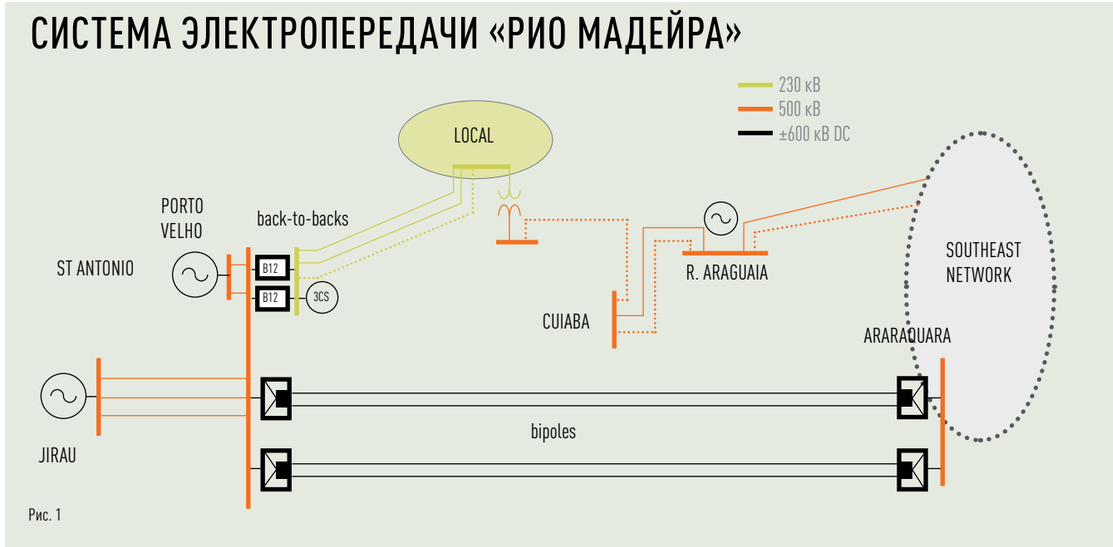


Рис. 1

Доклад ***B4–107*** «Магистральная ППТ «Каприви Линк»: сравнение результатов натурных испытаний с результатами испытаний на модели реального времени» (J. Wasborg и др., Швеция–Намибия–Южная Африка) представляет результаты заводских системных и натурных испытаний ППТ «Каприви Линк» в Намибии. Данная передача мощностью 300 МВт представляет собой один монополь с VSC и воздушной линией 950 км, работающей при напряжении –350 кВ. Был выполнен большой объем испытаний системы с подключением систем регулирования и защиты к модели реального времени. Работа системы в процессе приемочных испытаний соответствовала результатам, полученным при испытаниях на модели. В результате удалось существенно сократить длительность приемочных испытаний, поскольку не потребовалось никаких существенных изменений в настройках системы управления.

Доклад ***B4–108*** «Реконструкция ППТ «Интермаунтин» для приема дополнительной ветровой мощности 480 МВт» (H. Bjorklund, M. J. Beshir, Швеция–США) касается модернизации проекта, принятого в эксплуатацию в 1986 г., для передачи мощности 1600 МВт от угольной теплоэлектростанции в Юте в южную Калифорнию. Первоначально в проекте были предусмотрены периодические кратковременные перегрузки до 150%. Часть этой перегрузочной способности была использована в 1989 г. для повышения номинальной мощности биполя до 1920 МВт. В соответствии с политикой Калифорнии в области охраны окружающей среды потребовалось увеличить пропускную способность данного проекта до 2400 МВт для передачи дополнительной мощности в район Лос-Анджелеса от возобновляемых источников энергии. В докладе рассмотрены все стадии проекта, начиная с определения необходимых изменений и заканчивая приемкой системы.

ИНФОРМАЦИЯ

СЕССИЯ СИГРЭ

Крупнейшее международное мероприятие, посвященное вопросам электроэнергетики, проводится в Париже в последнюю неделю августа один раз в два года по четным годам.

Первая конференция состоялась 21-28 ноября 1921 г. – именно эта дата считается днем рождения СИГРЭ.
В ней приняли участие 12 стран. Новая международная организация была и названа соответственно: Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension (название сохранялось до 2000 г.).

Источник: сайт РНК СИГРЭ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ 600 КВ С КВАДРУПОЛЬНЫМИ ВЕНТИЛЯМИ ДЛЯ ПС «ПОРТО ВЕЛЬО»

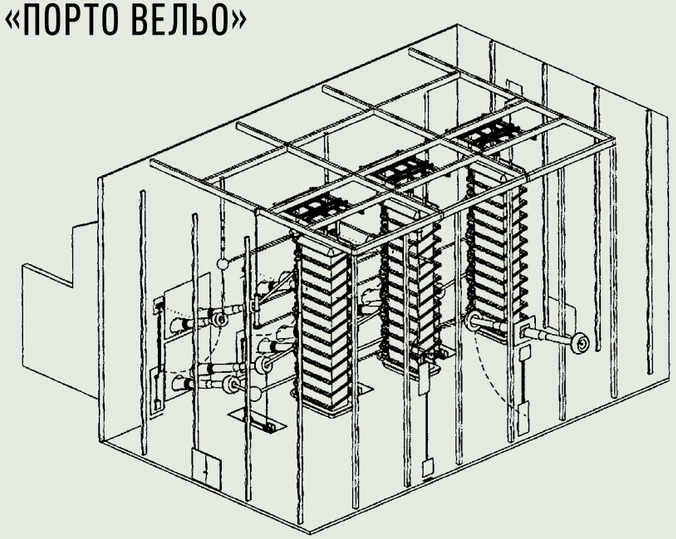


Рис. 2

В докладе ***B4–111*** «Система ППТВН «Рио Мадейра» – аспекты проекта биполя 1 и связи с Акре–Рондония» (J. F. Graham и др., ABB, Швеция–Бразилия) рассматриваются вопросы реализации оборудования по одному из двух лотов полного проекта, выполняемого фирмой ABB.

На рис. 1 показана полная схема системы электропередачи «Рио Мадейра».

Весь проект включает в себя два биполя магистральных ППТВН по 3150 МВт для связи сетей 500 кВ между районами Порто Вельо и Аракуара и две вставки постоянного тока по 400 МВт в Порто Вельо для подключения слабой сети 230 кВ в штатах Акре и Рондония.

В лот, выполняемый фирмой ABB (лот C), входят преобразовательное оборудование биполя 1, вставки постоянного тока и главный системный регулятор, координирующий работу всего оборудования обеих подстанций.

В докладе подробно рассматриваются режимы работы электропередачи, особенности выбранного оборудования и функции главного регулятора.

Интересно обоснование типов преобразовательных трансформаторов. Для ПС «Порто Вельо» возможно использование речного транспорта, поэтому для нее выбраны крупные однофазные трехобмоточные трансформаторы мощностью 630 МВА каждый. В Аракуаре доступен только дорожный транспорт, и для нее предусмотрены двухобмоточные трансформаторы мощностью по 292 МВА. Соответственно, и вентильные залы на двух подстанциях выполнены по-разному. В Порто Вельо используются квадрупольные вентили (рис. 2), на ПС «Аракуара» – сдвоенные.

Для вставок постоянного тока, работающих на очень слабую систему 230 кВ, приняты преобразователи с конденсаторной коммутацией (CCC). Кроме улучшения условий коммутации, при этом снижаются также требования к шунтовым батареям компенсации реактивной мощности.

К моменту подготовки доклада все оборудование было изготовлено и поставлено на место. Ввод передачи в работу предполагается до конца 2012 г.

К этому же объекту относится и доклад ***B4–112*** «Системный проект ППТВН ±600 кВ «Рио Мадейра» большой группы авторов из Бразилии (D. O. C. Brasil и др.). В этом докладе приводятся окончательные технические характеристики проекта, полученные в результате детального исследования, выполненного Бразильским агентством стандартизации в электротехнике (Brasilian Electricity Regulatory Agency, ANEEL), бразильским Системным оператором (ONS) и бразильской компанией планирования в энергетике (EPE). В докладе содержатся все основные данные, которые обычно требуются членам сообщества B4 и, вероятно, будут использоваться в последующих публикациях по проекту «Рио Мадейра».

1.3 ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ППТВН С ИНВЕРТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ, С КОММУТАЦИЕЙ СЕТЬЮ И ППТВН УЛЬТРАВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ (ППТУВН)

В докладе ***B4–101*** «Продление жизненного цикла ППТ «Нельсон Ривер» (N. S. Dhalival, J. R. McNichol, R. A. Valiquette, Канада) приводятся сведения о мерах по продлению жизни одного из самых старых проектов ППТВН (два его биполя введены в эксплуатацию в 1970 и 1984 гг.) и причины, по которым была необходима его модернизация. Последняя включала в себя замену ртутных вентилей биполя 1, модернизацию системы охлаждения биполя 2, поставку резервных преобразовательных трансформаторов, замену трубопроводов тиристорных вентилей биполя 2, замену сглаживающих реакторов обоих биполей и реализацию программы обслуживания по критерию надежности. Обсуждается также влияние старения оборудования на коэффициент готовности передачи. До 1998 г. только работы по техническому обслуживанию оборудования давали 4,38% неготовности. Принятие программы обслуживания по критерию надежности позволило снизить расчетный коэффициент неготовности до 0,62%, что соответствует показателям лучших новых систем ППТ.

Доклад ***B4–102*** «Распространение нарушений коммутации в системах ППТ с несколькими точками подключения» (S. Zoroofi и др., Канада–Дания) посвящен исследованию восприимчивости к распространению нарушений коммутации инверторов в существующих ППТ, работающих в «кольцевом режиме», когда часть терминалов ППТ работает выпрямителями, а часть – инверторами. В системах ППТ с несколькими точками подключения одиночное КЗ может вызвать нарушения коммутации в нескольких системах. В работе указывается, что в «кольцевом режиме» возмущение может распространяться через выпрямитель и вызывать нарушения коммутации в близлежащих инверторах.

Доклад ***B4–109*** «Надежность и опыт эксплуатации проектов ППТВН в SGCC» (Ji Xiaotong, Китай) представляет данные о надежности находящихся в эксплуатации систем ППТ в Государственной сетевой корпорации Китая (SGCC). В SGCC в эксплуатации находятся десять систем ППТВН и еще три в марте 2011 г. находились в процессе строительства. Основное внимание в докладе уделено статистике частоты отказов с 2003 г. по 2010 г. Приведены также данные по коэффициентам энергетической готовности (94,15% в целом по компании) и вынужденной неготовности (0,12%) в 2010 г. При этом почти половина (47%) вынужденных отказов связана с системами управления и защиты преобразователей, 20% – с трансформаторами и сглаживающими реакторами, 13% – с линиями постоянного тока, по 7% – с системами охлаждения вентилей и с защитами на стороне переменного тока и лишь 6% – с другим оборудованием, включая вентильное оборудование преобразователей. Отмечается важная роль эффективного администрирования и высокой квалификации персонала для обеспечения надежности.

В соответствии со сложившейся в ИК B4 практикой административной группой AG B4–04 от имени комитета представлен обзорный доклад ***B4–113*** «Обзор надежности систем ППТВН в мире за 2009–2010 гг. » (M. G. Bennett, N. S. Dhaliwal, A. Leirbukt). Собраны и обобщены данные по надежности 34 систем с тиристорными вентилями за 2009 г. и 35 систем за 2010 г. Еще существующие в мире системы с ртутными вентилями постепенно выводятся из работы, и данные по их надежности больше не собираются. Распределение общего времени вынужденной энергетической неготовности из-за отказов различного оборудования показано в табл. 1.

2. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ППТВН И ГЭПТ

Наиболее интересными в настоящее время являются разработки в области технологии электропередач постоянного тока ультравысокого напряжения (UHVDC, ППТУВН) и при-

ИНФОРМАЦИЯ

ИСТОРИЯ СИГРЭ

Во второй сессии, состоявшейся 26 ноября – 1 декабря 1923 г., приняли участие 19 стран, в том числе СССР. Именно на этой сессии было подтверждено ранее принятое решение проводить конференции один раз в два года в Париже и выбран месяц – июнь (с 1968 г. – август). На этой же сессии было рекомендовано организовывать национальные комитеты.

До 1939 г. установленный порядок проведения сессий не нарушался. Первая послевоенная сессия, 11-я по счету с момента создания СИГРЭ, состоялась 27 июня – 6 июля 1946 г., и после этого сессии проводились уже по четным годам.

В 1972 г., после 50 лет существования СИГРЭ, впервые количество участников сессии превысило 2000 человек из 56 стран. В 2012 г. – свыше 3200 делегатов из 84 стран.

С 1994 г. в программу сессии входит техническая выставка. В 2012 г. на технической выставке 44-й сессии СИГРЭ приняли участие 198 экспонентов и около 6500 посетителей.

Источник: сайт РНК СИГРЭ

Рис.3

менения преобразователей типа инверторов напряжения (VSC, ИН).

По данной тематике принято пять докладов (***B4–201*** ...***B4–205***).

2.1. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПОДСТАНЦИИ ППТВН

В докладе ***B4–201*** «Прогресс в разработке технологии ППТУВН ±1100 кВ» (Liu Zehong и др., Государственная сетевая компания, Китай) представлены результаты исследования реализуемости системы ППТУВН ±1100 кВ в Китае. Потребность в реализации подобного проекта связана с необходимостью передачи до 200 ГВт мощности из генерирующих районов Тибета и Синкиянга к центрам нагрузки, расположенным на расстоянии более 2500 км.

На рис. 3 показана предполагаемая трасса электропередачи.

Обсуждаются основные концепции проекта, включая координацию изоляции. При исследовании учтен опыт разработки и эксплуатации ППТ ±800 кВ Xiangjiaba–Shanghai. По результатам исследования принят вариант с аналогичной топологией – две последовательно соединенные преобразовательные группы по 550 кВ. Представлены результаты изучения ограничения перенапряжений и выбора ограничителей, внешней изоляции и воздушных промежутков, конструкции преобразовательных трансформаторов и проходных вводов. Рассмотрена методика сборки трансформаторов на объекте, поскольку по условиям транспортировки по автомобильной или железной дороге невозможно доставить на место целый трансформатор. Сборку предлагается осуществлять в помещении вентильного зала, поскольку условия этого помещения по герметичности, поддержанию температуры и влажности не хуже, чем на трансформаторных заводах. Общий вывод работы: ППТУВН такого класса напряжения технически вполне может быть реализована.

Доклад ***B4–202*** «Вычислительно эффективная схема выбора субмодулей для регулятора балансирования напряжений в модульном многоуровневом преобразователе» (G.T. Son и др., Корея) посвящен одному из наиболее сложных аспектов построения системы управления инверторами напряжения для ППТ с топологией многоуровневых модульных преобразователей. Проблема заключается в том, что с ростом рабочего напряжения и, соответственно, числа субмодулей интенсивность вычислений в балансирующем регуляторе становится критичной с точки зрения производительности процессора. В работе предлагается алгоритм сортировки, минимизирующий число изменений состояния субмодулей и улучшающий вычислительную эффективность в смысле требуемого времени процессора.

В докладе ***B4–204*** «Требования к преобразователям постоянного тока в постоянный для реализации больших сетей постоянного тока» (C.D. Barker и др., «Альстом», Великобритания) представлен ряд возможных конфигураций преобразователей постоянного тока в постоянный, которые могут потребоваться при реализации больших сетей постоянного тока. По мнению авторов, такие преобразователи могут потребоваться в следующих случаях:

- связь двух независимо созданных сетей постоянного тока с разными рабочими характеристиками;
- подключение сборных шин постоянного тока большого парка морских ветровых станций непосредственно к электропередаче постоянного тока с более высоким рабочим напряжением;
- подключение традиционной ППТ с тиристорными преобразователями (LCC) к будущим сетям постоянного тока.

Для построения требуемых преобразователей предлагается несколько модульных многоуровневых схем преобразования.

В докладе ***B4–205*** «Демонстрационный инвертор напряжения мощностью 24 МВт для оценки различных топологий преобразования» (C.C. Davidson и др., «Альстом», Великобритания) представлена информация о демонстрационной установке вставки постоянного тока на инверторах напряжения, реализованной на одном из предприятий-изготовителей. Назначение установки – подтверждение работоспособности проекта модульного многоуровневого преобразователя и его возможных вариантов. Рассматривается также возможность будущего расширения установки для испытания других типов преобразователей. Приведено подробное описание системы управления преобразователя.

2.2. ОБОРУДОВАНИЕ ГЭПТ

Доклад ***B4–203*** «Разработка высокоэффективного D-STATCOM с использованием переключающих приборов на карбиде кремния» (M. Tkasaki, A. Kuzumaki, S. Irokawa, Япония) посвящен выбору топологии, подходящей для преобразователей типа D-STATCOM в диапазоне мощности порядка 100 кВА, основной областью применения которых является распределенная генерация от возобновляемых источников, таких как ветровые генераторы и солнечные батареи. Широко применяемые для преобразователей большой мощности многоуровневые модульные преобразователи здесь неэффективны, так как реализация большого числа модулей приводит к увеличению стоимости и большим потерям.

В качестве перспективных переключающих приборов рассматриваются приборы на карбиде кремния (SiC). Прототипный преобразователь мощностью 33,5 кВА выполнен на по-

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО ВРЕМЕНИ ВЫНУЖДЕННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ НЕГОТОВНОСТИ ИЗ-ЗА ОТКАЗОВ РАЗЛИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Вид оборудования	Доля общего времени вынужденной неготовности, %	
	2009-2010 гг.	1983-2008 гг.
Оборудование переменного тока в том числе трансформаторы и реакторы	83,1 79,0	64,2
Вентильное оборудование	3,3	11,5
Системы управления и защиты	8,9	8,0
Оборудование постоянного тока	4,7	15,4
Другое оборудование	0,9	0,9

Таблица 1

ИНФОРМАЦИЯ

44-Я СЕССИЯ СИГРЭ

С 26 по 31 августа 2012 года в Париже во Дворце конгрессов состоялась 44-я сессия СИГРЭ. В состав российской делегации вошли 120 человек. Глава делегации – председатель РНК СИГРЭ Б.И. Аюев.

В рамках сессии СИГРЭ проведены круглые столы и пленарные заседания, на которых участники представили презентации и доклады своих научных исследований в различных областях энергетической и технической политики. На 44-й сессии от Российского национального комитета СИГРЭ было представлено 13 докладов.

Параллельно с сессией СИГРЭ была организована и проведена техническая выставка, на которой, наряду с передовыми технологиями, были представлены новое оборудование, материалы и вспомогательный инструмент.

За прошедшие два года с момента 43-й сессии к работе международного комитета присоединились более 1000 молодых ученых-инженеров, тем самым число членов СИГРЭ достигло 11 910 человек, представляющих интересы 95 стран в 57 национальных комитетах.

ВАРИАНТЫ СХЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ D-STATCOM

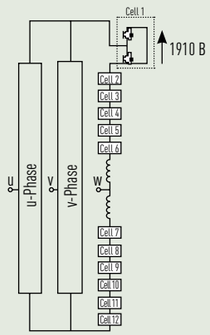
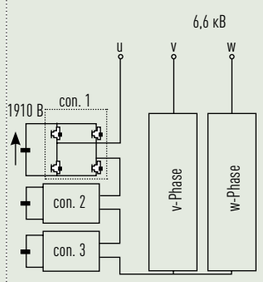
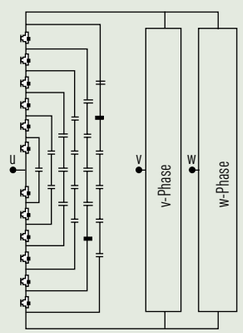
	WY CPWM	Y-CPWM	Flying Capacitor MC
Схема			
Число приборов	72	6	36
Эквивалентная частота	48 кГц	24 кГц	24 кГц
Число конденсаторов	36	9	273
Емкость конденсаторов	155 μF (1910 В)	103 μF (1910 В)	13.5 μF (1910 В)
Энергия в конденсаторах	10 кДж	1,69 кДж	6,72 кДж
Объем	61,7 л	13,0 л	46,0 л

Рис.4

левых SiC-транзисторах с p-n переходом на 1,2 кВ, 30 А и SiC-диодах Шоттки 1,2 кВ, 7,5 А. В ближайшее время ожидается появление коммерческих полевых транзисторов SiC с изолированным затвором на 3,3 кВ, что позволит создать преобразователь на 100 кВА, 6,6 кВ.

Рассмотрены три варианта топологии преобразователей (рис. 4):

1. Схема двойной звезды с каскадным двухуровневым преобразователем (WY-CPWM).
2. Звезда с каскадным двухуровневым преобразователем (Y-CPWM).
3. Схема с плавающими конденсаторами (MC).

По минимальному объему и требуемому количеству вентилей выбрана схема Y-CPWM.

Суммарные потери в прототипном преобразователе при номинальной реактивной мощности составили 0,95%. При этом в преобразователе теряется всего 0,4%.

3. ПРИМЕНЕНИЕ ППТВН И ГЭПТ

3.1.СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА И МНОГОКОНЦЕВЫЕ ППТ

В докладе ***B4–301*** «Многоконцевая сеть ППТВН с управляемыми перетоками мощности» (E. Veilleux и B.-T. Ooi, Канада) представлена концепция построения регулятора перетоков мощности для многоконцевой сети постоянного тока. Регулятор представляет собой преобразователь с двунаправленными тиристорами, который включен в линию постоянного тока для управления перетоком мощности в сети постоянного тока. Рассмотрены характеристики и достоинства использования такого регулятора в трехконцевой сети. Далее демонстрируется развитие до семи терминалов в сети с преобразователями типа инверторов напряжения. Численным моделированием показана правильная и устойчивая работа такой сети.

В докладе ***B4–307*** «Техническое руководство для первых сетей постоянного тока» Европейская исследовательская группа, учрежденная по инициативе Германской комиссии по электрическим, электронным и информационным технологиям, представляет свои первые результаты. Работа группы была сфокусирована на радиальной сети (многоконцевая ППТ),

включающей только преобразователи напряжения (VSC). В докладе дается функциональное описание результатов исследования таких вопросов, как принцип регулирования потока мощности, ток короткого замыкания, выявление и устранение повреждений.

Доклад ***B4–308*** «Объединенная сеть постоянного тока: управление и защита в многоконцевых системах ППТВН» (J. Descloux и др., RTE, Франция) относится к исследованию технической реализуемости многоконцевой VSC ППТВН в регионе Северного моря, связывающей несколько морских ветроэлектростанций с несколькими подстанциями сети переменного тока на берегу. Представлены результаты численного моделирования такой системы с упором на вопросы регулирования и защиты. Исследование выполнено с пятью терминалами в структуре объединенной сети постоянного тока. Показана управляемость такой системы в стационарных режимах и в динамике. В предположении, что доступны высокоскоростные каналы связи, система защиты основана на дифференциальном принципе, который представляется перспективным для многоконцевых сетей постоянного тока.

3.2. ОБОРУДОВАНИЕ ГЭПТ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Доклад ***B4–305*** «Поддержка соответствия сетевым стандартам при подключении возобновляемых источников энергии к линиям электропередачи с применением преобразователей типа D-STATCOM» посвящен исследованию возможности D-STATCOM обеспечивать соответствие требованиям сети переменного тока в точке подключения возобновляемых источников к распределительной сети. Такая возможность демонстрируется на примере проекта подключения ветровой станции к существующей распределительной сети. Удовлетворить требованиям местной энергосистемы удалось только с использованием D-STATCOM мощностью ±6 МВАр.

3.3. ВСТРОЕННЫЕ СИСТЕМЫ ППТВН, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕВОД ЛИНИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА РАБОТУ В СОСТАВЕ ППТВН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ СЕТЕЙ

В докладе интернациональной группы ***B4–303*** «Применение ППТВН для противоаварийного управления в гибридной связи на постоянном и переменном токе между энергосистемами Евросоюза и Содружества Независимых Государств» (А. Арестова, А. Гробовой, Россия; L. Bizumic, R. Chekaoui, Швейцария; F. Villella, Бельгия; U. Hager, Германия) показаны преимущества использования ППТ с преобразователями напряжения (VSC) при объединении двух обширных энергосистем ЕС и СНГ, в частности, во время повреждений с просадками напряжения – отсутствие нарушений коммутации и обеспечение поддержания напряжения. Численным моделированием показано, что с помощью распределенных в пространстве измерений и специальных алгоритмов управления можно существенно улучшить устойчивость системы за счет модуляции мощности ППТ.

Доклад ***B4–304*** «Интегрированная многоконцевая сеть переменного и постоянного тока в бассейне Западного Средиземноморья – разработка, планирование и проблемы проекта» (M. Rebolini и др., Италия; R. Touileb и др., Алжир) представляет результаты исследования проекта гибридной сети переменного/постоянного тока для связи энергосистем Северной Африки и Европейского союза через Италию и Алжир. Детально обсуждаются различные аспекты планирования системы. Обосновывается необходимость дальнейших исследований технических и технологических аспектов проекта.

Использование силовой электроники для обеспечения интеграции больших возобновляемых источников энергии в сети переменного тока

В докладе ***B4–306*** «Проекты BorWin2 и HelWin1 – технология крупномасштабных многоуровневых преобразователей напряжения для построения морских ветровых электростанций» (V. Hussennether и др., Германия–Италия) дается обзор различных аспектов проекта и электрических параметров двух реализуемых в настоящее время больших проектов VSC ППТВН. Кроме описания модульных многоуровневых преобразователей (ММП), освещается и ряд других новых концепций проекта. Один из примеров – использование ММП для поглощения ветровой энергии во время отключения при коротких замыканиях в сети. Другой пример – параллельное соединение вынесенных в море трансформаторов для повышения коэффициента готовности системы.

Доклад ***B4–309*** «Tres Amigas – гибкая связь для обмена энергией возобновляемых источников между тремя асинхронными энергосистемами в США» (N. M. Kirby и др., США–Великобритания) посвящен многоэтапному проекту сооружения шести вставок постоянного тока. Проект начинается с сооружения преобразовательных подстанций с использованием технологии преобразователей напряжения (VSC). На более поздних этапах, по мере увеличения мощности системы, вставки постоянного тока будут выполняться по технологии преобразователей, коммутируемых сетью (LCC).