



Подкомитет Технического комитета РНК СИГРЭ по тематическому направлению В4 «Электропередачи постоянным током высокого напряжения и силовая электроника»

Отчет

о заседании исследовательского комитета В4 «Электропередачи постоянным током высокого напряжения и силовая электроника» 20 сентября 2015 года в г. Агра, Индия

Руководитель подкомитета В4 РНК СИГРЭ

О.В.Суслова

Санкт-Петербург, 2015

Оглавление

Введение	4
1. Доклад о деятельности технического комитета.....	4
1.1. Заседание технического комитета в Токио 7 мая 2015 г.....	4
1.2. Журнал “CIGRE Science & Engineering”	6
1.3. Информация о симпозиумах СИГРЭ, проходивших в 2015 г.	6
2. О развитии сайта ИК В4	9
3. Деятельность консультативных рабочих групп ИК В4	9
4. Деятельность рабочих групп ИК В4.....	10
5. Предстоящие события СИГРЭ	14
6. Предложения о создании новых рабочих групп	14
6.1. WG В4.72 «Разработка модели сети постоянного тока для исследований электромеханических и электромагнитных переходных процессов»	14
6.2. JWG В4/В1/С4.54 «Импульсные и длительные испытания на электрическую прочность кабельных систем постоянного тока».....	15
7. Взаимодействие с другими организациями	16
7.1. О деятельности технического комитета 115 МЭК «Передачи постоянного тока напряжением выше 100 кВ».....	16
7.2. О создании лаборатории для испытаний оборудования ультравысокого напряжения в Бразильском энергетическом исследовательском центре.....	18
8. Гармонизация терминологии относительно преобразователей напряжения	18
9. Планируемые и находящиеся в стадии строительства электропередачи постоянного тока	18
10. Вопросы эксплуатации объектов HVDC. Разбор аварии на ППТ Итайпу	19

Список сокращений

ППТ	Передача постоянного тока
ВПТ	Вставка постоянного тока
ПТ	Постоянный ток
LCC (Line Commutated Converter)	Преобразователь тока
ПН	Преобразователь напряжения
VSC (Voltage Source Converter)	Преобразователь напряжения
УПК	Устройство продольной компенсации
SVC (Static Var Compensator)	Устройство компенсации реактивной мощности (тиристорно-реакторное)
ИК	Исследовательский комитет
ОКЗ	Отношение короткого замыкания
КЛ	Кабельная линия
ВЛ	Воздушная линия
КВЛ	Кабельно-воздушная линия
ВЭУ	Ветроэлектрическая установка

Введение

Очередное заседание исследовательского комитета В4 «Электропередачи постоянным током и силовая электроника» состоялось 20 сентября в г. Агра (Индия). На заседании присутствовали регулярные члены исследовательского комитета от Австралии, Бразилии, Японии, Германии, Австрии, Канады, Индии, Китая, Нидерландов, Франции, Испании, Великобритании, ЮАР. Кроме членов исследовательского комитета на заседании присутствовали руководители некоторых действующих рабочих групп и ряд экспертов, в том числе из России.

На заседании обсуждались основные следующие вопросы:

1. Доклад руководителя В4 Мохамеда Рашвана о деятельности технического комитета.
2. Доклад Прието Гарсия о развитии сайта исследовательского комитета В4.
3. Деятельность консультативных рабочих групп В4.
4. Доклады о текущей деятельности рабочих групп.
5. Предстоящие события СИГРЭ
6. Предложения для создания новых рабочих групп. Другие виды активности.
7. Взаимодействие с другими организациями.
8. Гармонизация терминологии относительно преобразователей напряжения
9. Планируемые и находящиеся в стадии строительства объекты постоянного тока

Заседание в конференц-зале гостиницы Jauree Palace Hotel началось в 9:00 местного времени и закончилось в 16:30.

1. Доклад о деятельности технического комитета

1.1. Заседание технического комитета в Токио 7 мая 2015 г.

Заседание исследовательского комитета В4 началось с доклада руководителя комитета Мохамеда Рашвана об участии в заседании технического комитета СИГРЭ в Токио 7 мая 2015 года.

На заседании технического комитета обсуждалось количество вновь создаваемых и прекративших работу рабочих групп. На диаграмме (рис. 1) представлено изменение количества рабочих групп за последние годы.



Рис. 1. Количество рабочих групп начавших и завершивших свою работу в 2013 - 2015 годах

Из диаграммы видно, что число функционирующих в СИГРЭ рабочих групп составляет в среднем 225. При этом ежегодно начинают и заканчивают работу в среднем 35 групп.

Другая статистика - возраст функционирующих рабочих групп. Соответствующая диаграмма представлена на рис. 2.



Рис. 2. Возраст рабочих групп

Из диаграммы на рис. 2 видно, что возраст 70% рабочих групп превышает 2 года. С учетом того, что рабочая группа создается на срок не более двух лет, данная статистика демонстрирует сложности функционирования некоммерческих организаций. Поскольку участие в рабочих группах для многих их членов является добровольным, это участие не может быть для них приоритетом перед основной деятельностью. В результате рабочие группы редко заканчивают работу в срок обозначенный изначально.

Важным моментом, обсуждаемым на заседании технического комитета, было все более повышающееся значение вопросов распределительных сетей. На рис. 3 представлена диаграмма, на которой показана доля рабочих групп в исследовательских комитетах, чья тематика связана с распределительными сетями. Из диаграммы видно, что деятельность 55 % всех рабочих групп так или иначе связана с распределительными сетями.



Рис. 3. Проблематика распределительных сетей в рабочих группах СИГРЭ

Другим аспектом работы, обсуждаемом на техническом комитете, была сравнительная публикационная активность исследовательских комитетов. На рис. 4 показаны диаграммы, демонстрирующие публикации комитетов.

Также на заседании технического комитета обсуждалась тема «Зеленой книги». Поступило предложение опубликовать «Зеленую книгу» комитета В4 на тему преобразователей напряжения.

1.2. Журнал “CIGRE Science & Engineering”

Новый журнал “CIGRE Science & Engineering” позиционируется как один из лидирующих в области электроэнергетики. Статьи, претендующие на публикацию в этом журнале, будут рецензироваться ведущими мировыми экспертами.

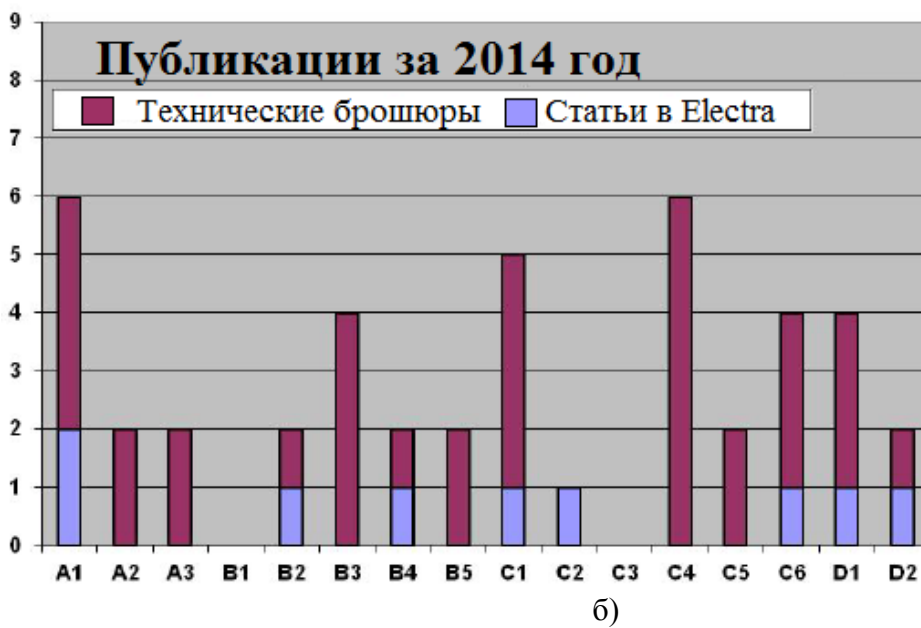
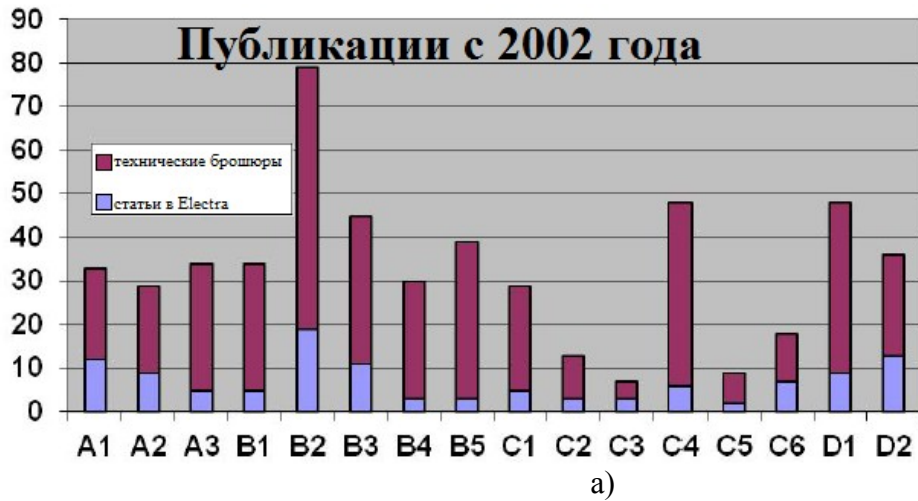
1.3. Информация о симпозиумах СИГРЭ, проходивших в 2015 г.

Симпозиум в г. Люнд, Швеция

В симпозиуме, состоявшемся в Люнде в конце мая 2015 года, приняли участие представители комитетов В4, С1, С2, С4 и С5, всего около 300 участников. Было представлено 80 докладов.

Комитет В4 в рамках симпозиума организовал шесть технических сессий и три семинара на темы:

- преобразователи напряжения: модульные многоуровневые преобразователи, их преимущества и недостатки для различных областей использования;
- перевод ВЛ переменного тока на постоянный ток; гибридные ВЛ постоянного и переменного тока;
- функционирование сетей постоянного тока (регулирование на уровне терминалов, действие защит при к.з. на стороне постоянного тока).



а - за период с 2002 по 2014 год; б - за 2014 год; в - ожидаемые в 2015 году.

Рис. 4. Публикационная активность исследовательских комитетов

На технических сессиях обсуждались следующие темы:

- Реализация новых объектов HVDC;
- Опыт эксплуатации объектов постоянного тока на преобразователях напряжения;
- Прогресс в разработке выключателей тока к.з. на стороне постоянного тока;
- Управление и защита в сетях постоянного тока;
- Дорожная карта и перспективы сетей постоянного тока;
- Устройства силовой электроники и преобразовательной техники, преобразователи DC-DC.

На шести технических сессиях были представлены двадцать пять докладов, из них только три по тематике преобразователей тока, остальные двадцать два были посвящены тематике преобразователей напряжения. Эта отражает усиление активности исследователей и производителей в области преобразователей напряжения.

Тематика существующих рабочих групп исследовательского комитета В4 также отражает эту тенденцию: WG В4.56 – «Методические указания для подготовки «электросетевого кодекса» для сетей постоянного тока (ПТ) высокого напряжения», WG В4.57 - «Руководящие указания для разработки моделей оборудования в сети ПТ», WG В4.58 «Устройства и методологии для управления перетоками мощности и напряжения в сложнзамкнутых сетях ПТ», JWG В4/В5.59- «Регулирование и защита в сетях ПТ», WG В4.60 – «Проектирование сетей постоянного тока с целью достижения оптимальных надежностных показателей», JWGB4/С1.65 «Рекомендуемые напряжения для сетей постоянного тока», JWG А3/В4.34 – «Технические требования и характеристики современных выключателей постоянного тока».

Тема сетей постоянного тока широко обсуждалась на симпозиуме. Необходимо понимать отличие сетей постоянного тока и мультитерминальных передач постоянного тока. Сети постоянного тока требуют наличия быстродействующих устройств защиты, в некоторых случаях – наличия последовательного реактора в цепи постоянного тока для ограничения скорости нарастания тока при к.з. Другая обсуждаемая тема - использование преобразователей DC-DC в сетях постоянного тока.

Ниже приведены основные исторические вехи использования техники постоянного тока в энергосистемах.

Преобразователи тока

- 1954 г ртутные вентили (9 объектов)
- 1978 г. тиристорные вентили с водяным охлаждением (28 лет)
- 2006 г. ППТ на преобразователях тока напряжением 800 кВ и мощностью 600 МВт

Преобразователи напряжения

- 1997 г. первый объект
- 2010 г. модульная многоуровневая схема (13 лет)
- 2015 г. потери менее 1 % и мощность 2 ГВт (5 лет)

Как видно, технологии постоянного тока на основе преобразователей напряжения достигли высоких значений в отношении классов напряжений и номинальной пропускной способности за последние 5 лет.

Симпозиум в Кейп-Тауне, Южная Африка. 21 – 26 октября.

Это совместный симпозиум СИГРЭ и МЭК. Основными темами будут HVDC, FACTS, возобновляемые источники энергии.

2. О развитии сайта ИК В4

Информацию о развитии сайта <http://b4.cigre.org/> исследовательского комитета В4 представил Эдуардо Прието. Он дал общую информацию о посещаемости сайта. Рассказал об основных изменениях за последний год: выложены документы 45 Сессии, список технических брошюр В4 с аннотациями и прямыми ссылками на скачивание, актуальный список рабочих групп, обновленный список членов В4, документы, посвященные конференциям в Бразилии, Люнде, Агре, информация о 46 сессии СИГРЭ 2016 года. В планах – создание списка публикаций в журнале Электра с аннотациями и ссылками на скачивание.

3. Деятельность консультативных рабочих групп ИК В4

В рамках ИК В4 созданы три консультативные рабочие группы.

Группа AG01. Основная роль рабочей группы – разрабатывать и корректировать стратегический (на десять лет вперед) и рабочий планы (на три года вперед). С актуальным стратегическим планом можно ознакомиться по ссылке: <http://b4.cigre.org/Technical-activities/Strategic-Plan>, с рабочим планом – по ссылке: <http://b4.cigre.org/Technical-activities/Action-Plan>.

Группа AG02. Создана для координации научно-исследовательской деятельности по сетям постоянного тока.

Группа AG03. Группа занимается созданием полного перечня проектов HVDC в мире и его обновлением. В настоящее время на сайте размещен список объектов HVDC, находящихся в эксплуатации, по состоянию на 2009 год: <http://b4.cigre.org/Publications/Other-Documents/Compendium-of-all-HVDC-projects>. Для каждого объекта приведена краткая характеристика. Актуальный список по состоянию на 2016 год находится в разработке.

Группа AG04. Характеристики систем HVDC. Представленный отчет был посвящен статистическим данным по отказам преобразовательных трансформаторов за 2013-2014 гг. Всего были получены данные по 37 объектам, из них 34 за этот период времени не сообщали об авариях, в остальных трех системах произошло 7 аварий, также сообщается о трех предотвращенных авариях. На рис. 5 представлена диаграмма распределений аварий по элементам преобразовательных трансформаторов. Статистика представлена за более длительный промежуток времени с 2003 по 2014 гг.

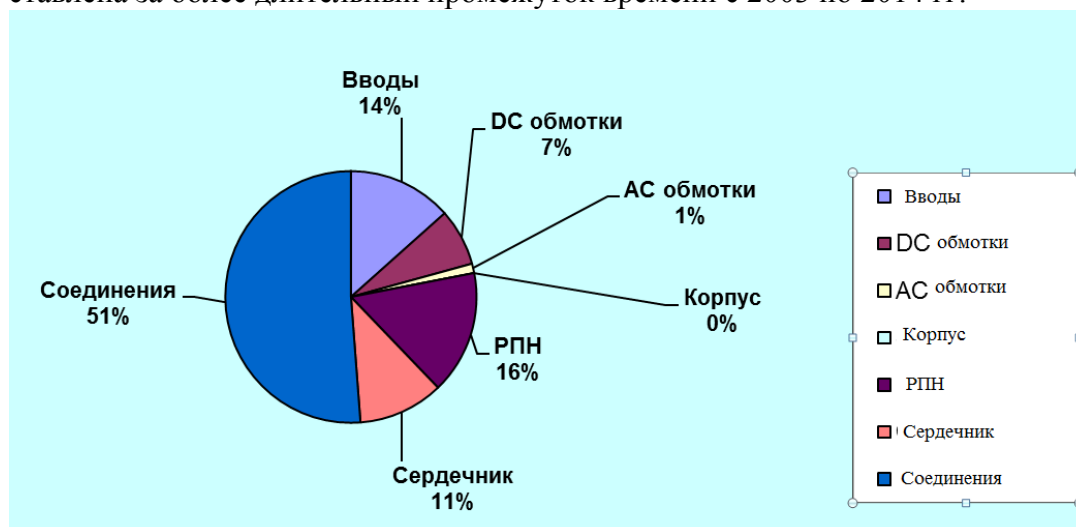


Рис. 5 Диаграмма распределений аварий по элементам преобразовательных трансформаторов за период с 2003 по 2014 гг.

Подробное описание аварий в преобразовательных трансформаторах с 2003 по 2012 г представлено в Технической Брошюре 617.

4. Деятельность рабочих групп ИК В4

Присутствующие руководители рабочих групп или их представители доложили о текущем положении дел в рабочих группах.

Рабочая группа JWG В4/В5.59- «Регулирование и защита в сетях ПТ»

Руководитель Kees Koreman.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в марте 2013 года. Ожидаемая дата окончания работы - март 2016 года. В итоговой брошюре рассмотрены следующие основные вопросы (по содержанию): функции системы защит в сетях постоянного тока, явление короткого замыкания в сетях ПТ, методы ограничения короткого замыкания в сетях постоянного тока, основные принципы построения защит, основные принципы и компоненты локальной системы регулирования и защиты, определение места аварии.

Рабочая группа В6.61 "Методические указания для проектирования электродов".

Руководитель – Джоан Ху.

Техническая брошюра завершена и готова для внутренних рецензий.

Рабочая группа В4.62 "Присоединение ветроэлектрических установок к слабым сетям переменного тока"

Руководитель Nalin Pahalawaththa.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в марте 2013 года. Ожидаемая дата окончания работы – декабрь 2015 года. Цель работы – выявить проблемы, связанные с оборудованием, при подключении ВЭУ к слабым сетям переменного тока, возможные причины этих проблем и пути их решения. В ходе работы использовались общие модели ВЭУ, FACTS и преобразователей, но они могут быть адаптированы, если необходимо исследовать другие проблемы, представляющие интерес.

Рабочая группа В4.63 "Ввод в эксплуатацию объектов постоянного тока на преобразователях напряжения"

Руководитель Лес Брант.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в феврале 2013 года. Ожидаемая дата окончания работы – середина 2016 года. Основные проблемы, которые решались при разработке документа:

- Для испытаний преобразователей напряжения различных топологий необходимо создать общий документ;
- Сформулировать общие определения касательно испытаний и ввода в эксплуатацию;
- Учесть разнообразную специфику объектов постоянного тока на преобразователях напряжения, включая ветроэлектрические установки, многотерминальные передачи, передачи для питания офшерных платформ;
- Определить длительность различных испытаний и др.

Рабочая группа В4.64 «Влияние примыкающих систем переменного тока на свойства эксплуатационные свойства ППТ и ВПТ»

Руководитель Jef Veerten.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в феврале 2013 года. Работа над брошюрой пока продолжается. Ожидаемая дата окончания работы не обозначена.

Вопросы, прорабатываемые рабочей группой:

- Определение понятий отношение короткого замыкания, эффективное отношение короткого замыкания, критическое эффективное отношение короткого замыкания;
- Характеристика типов преобразователей, производимых промышленностью на сегодняшний день;
- Характеристики генерации;
- Характеристики нагрузок в системе переменного тока;
- Регулирование реактивной мощности с помощью преобразователя напряжения;
- Влияние устройств параллельной компенсации на функционирование передач (вставок) постоянным током высокого напряжения;
- Особенности работы сети переменного тока, включающей несколько преобразователей;
- Выводы: определение границ области применения оценки по ОКЗ, и предложение альтернативных методов оценки.

Рабочая группа JWGB4/C1.65 «Рекомендуемые напряжения для сетей постоянного тока».

Руководитель Александр Паризот.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в феврале 2013 года. Ожидаемая дата окончания работы – начало 2016 года. Основные результаты работы:

- Предложен список рекомендуемых значений;
 - Предложено определение напряжения постоянного тока в установившемся режиме;
 - Аргументы для системных инженеров в пользу выбора предложенных значений напряжений постоянного тока.
- Также рассмотрены вопросы:
- Стандартные напряжения переменного тока и их история;
 - Анализ объектов постоянного тока, находящихся в эксплуатации и их классов напряжений в зависимости от их типа;
- Перевод линий переменного тока на постоянное напряжение, анализ возможных значений напряжения постоянного тока;
- Выбор напряжений постоянного тока с точки зрения перспективного планирования;
- Обзор технических ограничений для уровней напряжений в энергосистемах переменного тока;
- Обзор преобразователей DC/DC;
- Другие проблемы сетей постоянного тока, помимо рекомендуемых значений напряжений.

Рабочая группа WG В4.66 «Особенности фильтрации гармоник на подстанциях ППТ, расположенных в непосредственной близости друг от друга».

Руководитель Фернандо Каттан.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в июле 2014 года. Ожидаемое окончание работы в конце 2016 года. Вопросы, прорабатываемые в документе:

- Обсуждение технических аспектов в области фильтрации гармоник на подстанциях ППТ, расположенных в непосредственной близости друг от друга;
 - Обзор методов расчета и моделирования для изучения взаимного влияния гармоник в системах, содержащих несколько подстанций постоянного тока высокого напряжения;
 - Решение технических проблем, которые могут быть причиной проектирования фильтров без учета близко расположенных других преобразовательных подстанций;
 - Обсуждение возможных подходов к координации проектирования фильтров;
 - Формулирование рекомендаций для определения пределов гармонических составляющих при функционировании преобразовательных подстанций, находящихся в непосредственной близости;
- Составление инструкций для параллельных измерений и верификации;
Представление рекомендаций для внесения в электросетевые стандарты.

Рабочая группа WG B4.67 «Гармоники преобразовательных подстанций на преобразователях напряжения».

Руководитель Найджел Шо.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в июле 2014 года. Ожидаемое окончание работы – конец 2016 г. – середина 2017 г. Основные вопросы:

- Оценка современных и перспективных технологий ПТ с применением преобразователей напряжения (ПН) с точки зрения гармоник.
- Оценка свойств ПН как источника гармоник и способов их моделирования – как источников тока, напряжения или как - то еще.
- Оценка гармонического импеданса ПН и его влияние на существующие гармоники в примыкающей сети.
- Каким образом гармоники ПН регламентированы документами МЭК.
- Определение необходимости проведения фундаментальных исследований в рассматриваемой области.

Рабочая группа WG B4.68 «Пересмотр технической брошюры ТВ-92 Гармоники и фильтрация постоянного тока».

Руководитель Найджел Шо.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в июле 2014 года. Ожидаемая дата окончания работы –конец 2016 г.

Основные вопросы:

- Пересмотр брошюры ТВ92, определение неточностей и мест, где необходимо внести пояснения;
- Пересмотр брошюры ТВ92, на предмет определения, какие разделы могут быть расширены или добавление новых разделов;
- Новая информация должна быть добавлена, как минимум, по следующим вопросам:
расчеты взаимодействия со слаботзащищенной коммуникацией,
кабели постоянного тока,
измерения и тестирование,
высокочастотные явления в ППТ на преобразователях напряжения и др.

Объединенная рабочая группа WG A3/B4.34 «Технические требования и спецификации современного выключающего оборудования постоянного тока».

Руководитель С.М. Фрэнк.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в июле 2014 года Ожидаемая дата окончания работы – конец 2016 г.

Задачи рабочей группы:

- Обзор технических требований выключателей постоянного тока примирительно к разным объектам ПТ, таким как многотерминальные сети ПТ, системы для присоединения офшерных ВЭУ;

- Исследование технических возможностей и предельных параметров существующих и перспективных выключателей, прогноз по возможным отключающим способностям и техническим характеристикам;

- Облегчить разработку новых выключателей постоянного тока.

Руководитель отметил возникшие проблемы при работе над документом: нехватка информации о системах защиты и о требованиях к выключателям в сложнотокмоуемых сетях постоянного тока.

Объединенная рабочая группа JWG C4/B4.38 «Моделирование энергосистем для исследования гармоник».

Руководитель профессор Зиа Эмин.

В рабочей группе заняты 47 экспертов.

Задачи рабочей группы:

- Сбор и анализ информации по моделированию электроустановок для целей анализа гармонических искажений;

- Определение недостатков существующих моделей и возможных путей их развития;

- Формирование рекомендаций по моделированию нелинейных нагрузок (преобразовательных подстанций, устройств ветрогенерации и др.) в пределах системных вопросов.

- Разработка рекомендаций по общему подходу к этим исследованиям и выбору инструмента исследований. Определение недостатков существующих методов анализа и выдача рекомендаций по их улучшению.

Рабочая группа В4.69 «Минимизация потерь передаваемой мощности ППТ с использованием ПН при авариях на линии постоянного тока».

Руководитель Денис Вудфорд.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в конце 2014 года. В рабочей группе заняты более 40 экспертов.

В процессе деятельности будут сформированы четыре модели ППТ в PSCAD для исследования стратегий при проходящих к.з на линии постоянного тока. Для моделирования будет использована ППТ на многоуровневых ПН со следующими параметрами: напряжение ± 320 кВ, номинальный ток – 2 кА, воздушно-кабельная линия состоит из участков: 350 км – воздушная линия, 50 км- кабельная линия, 100 км – воздушная линия.

Рабочая группа В4.70 «Методические указания по электромагнитным переходным процессам в преобразователях напряжения».

Руководитель Себастьян Деннетъере.

Создание рабочей группы было одобрено Техническим комитетом СИГРЭ в конце 2014 года. В рабочей группе заняты более 40 экспертов.

Задачи рабочей группы:

- Описание типовых переходных процессов, которые могут происходить в или рядом с ППТ на модульных многоуровневых преобразователях напряжения;

- Определение технических решений, позволяющих избежать или подавить эти процессы и роль в этом системы защит;

Разработка методических указаний для исследований и анализа электромагнитных переходных процессов;

Представление вывода о том, что электромагнитные процессы в преобразователе оказывают влияние на требования к характеристикам кабеля.

5. Предстоящие события СИГРЭ

Мохамед Рашван кратко остановился на подготовке Исследовательского комитета к 46 Сессии СИГРЭ в августе 2016 г. Он отметил, что активность по направлению В4 очень высокая. Комитетом было получено к рассмотрению более 60 работ.

В 2017 году совместный коллоквиум исследовательских комитетов В4, D1 и А3 пройдет с 30 сентября по 6 октября в Канаде, г. Виннипеге.

6. Предложения о создании новых рабочих групп

6.1. WG В4.72 «Разработка модели сети постоянного тока для исследований электромеханических и электромагнитных переходных процессов»

Др. Тинг Ан (Китай) представила предложение по созданию новой рабочей группы «Разработка модели сети постоянного тока для исследований электромеханических и электромагнитных переходных процессов».

Сеть постоянного тока состоит из нескольких преобразовательных подстанций, объединённых линиями постоянного тока. Преимущества сети – обеспечение резервирования, повышение надежности энергоснабжения. Сети постоянного тока – наиболее эффективное решение для присоединения офшорных ВЭУ к энергосистемам, энергоснабжения объектов, находящихся далеко в открытом море, а также для объединения сетей переменного тока в глобальном масштабе. Развитие сетей постоянного тока становится важным направлением для развития сетей «smart grids». Рабочая группа В4-57 разработала тестовую модель сети ПТ в 2014 году, результаты опубликованы в ТВ 604. Тестовая модель содержит три системы постоянного тока: двухтерминальную передачу, 4-х терминальную радиальную сеть, 5-и терминальную сложнозамкнутую сеть ПТ. Она содержит 11 ПН, 2 преобразователя DC/DC, 2 уровня напряжения ($\pm 400\text{kV}$ и $\pm 200\text{kV}$.) Основная цель модели – обеспечить общую базу для рабочих групп В4, необходимую для выполнения работ по тематике сетей ПТ. Эта модель была разработана в основном для исследованиях совместной работы офшорных ветроэлектрических установок, связанных системой постоянного тока, и ее трудно использовать для других объектов, таких как сети ПТ на преобразователях тока, гибридные сети, объединение систем переменного тока посредством сетей постоянного тока и др. В настоящее время исследователи используют свои модели, и результаты исследований, даже для одинаковых объектов, могут отличаться.

В настоящее время такие организации как European Commission, Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC), UK Energy Research Centre, Natural Environment Research Council, Chinese Government, State Grid Corporation of China (SGCC), State Grid Research Institute (SGRI) занимаются материальной поддержкой крупных исследовательских проектов, в том числе и на межгосударственном уровне.

Очень важно разработать модель сети ПТ, которая бы обеспечивала единую платформу для исследований сетей постоянного тока, предназначенных для разных целей. Модель может быть использована исследователями из разных стран и организаций. Наличие такой модели сэкономило бы их время на создание собственных моделей, обеспечило бы корректное сравнение результатов исследований, а также помогло бы сфор-

мировать стандарты для сетей постоянного тока.

Для обеспечения общей платформы для целей исследования различных сетей постоянного тока, китайским институтом SGRI были разработаны семь моделей сетей ПТ разных размеров. С их помощью можно исследовать сети ПТ различного назначения, в том числе на преобразователях тока, гибридные (LCC и VSC), объединение систем переменного тока посредством сетей постоянного тока, офшеры для объединения ветро-электрических установок, других возобновляемых источников энергии. Большая модель содержит 22 преобразователя, 5 преобразователей DC/DC, 5 уровней напряжения и предназначена для изучения электромеханических переходных процессов. Модели малого размера можно использовать для исследования электромагнитных процессов, модели среднего размера можно использовать как для исследования электромагнитных, так и электромеханических переходных процессов. Разработанные модели использовались в проектах SGRI, они были опробованы в совместных с другими организациями проектах.

Модели, описанные выше, имеют определенную специфику Китайской энергосистемы, и это является ограничением для использования их на международном уровне для энергосистем других стран.

Цель предлагаемой рабочей группы – используя за основу описанную выше модель SGRI, разработать новый набор моделей, охватывающий все разнообразие сетей ПТ, пригодный для использования исследователями различных энергосистем и для различных типов исследований. В работе необходимо учесть результаты рабочих групп В4-52, В4-57, В4-58 и В4-59. В моделях должны присутствовать все типы преобразователей: LCC и VSC (ПТ и ПН).

Задачи рабочей группы:

1. Обзор сетей ПТ, возможные конфигурации и применение.
2. Описание общих моделей сетей постоянного тока, используемых при различных видах исследований.
3. Разработка и верификация новых моделей, охватывающих все разнообразие сетей ПТ, пригодных для различных типов исследований, базирующихся на результатах п. 1 и 2, моделях SGRI, результатах рабочих групп В4-52, В4-57, В4-58 и В4-59.

Рабочая группа начинает работу в январе 2016, предположительное окончание работы – март 2018.

6.2. JWG В4/В1/С4.54 «Импульсные и длительные испытания на электрическую прочность кабельных систем постоянного тока»

Маркус Залцер (ABB) внес предложение о создании рабочей группы **«Импульсные и длительные испытания на электрическую прочность кабельных систем постоянного тока»**.

В 1991 г в СИГРЭ была организована рабочая группа, областью деятельности которой было исследование перенапряжений в кабеле постоянного тока и возможностей их ограничений. В результате 1994 г. была выпущена брошюра ТВ 86.

На тот момент времени изучались кабели с бумажной изоляцией (с вязкой пропиткой, с пропиткой маслом) и преобразователи типа преобразователей тока. Изучались внутренние и внешние перенапряжения.

В последние годы в электропередачах ПТ получили распространение кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, что отмечается в брошюре СИГРЭ ТВ496. Эти кабели уже выпускаются на напряжения до 500 кВ и применяются в передачах на преобразователях тока и напряжения.

Однако, в брошюре ТВ496 в основном исследуется влияние аварийных режимов в преобразователе на кабельную систему, определяется процедура испытаний на статическое импульсное выдерживаемое напряжение. Испытания на выдерживаемое импульсное грозовое напряжение определяются в ТВ496 как опциональные, они могут быть выполнены по требованию заказчика.

В последнее время увеличилось число проектов ППТ, содержащих:

- воздушно-кабельные линии;
- модульные многоуровневые преобразователи напряжения;
- три и более терминала.

Эти новые особенности и объекты не учитывались при написании брошюр ТВ86 и ТВ496, в частности:

- Для воздушно-кабельных линий необходимо пересмотреть порядок испытаний на уровень импульсного грозового напряжения. Требования по этому параметру для ВКЛ могут зависеть от многих факторов: длины кабеля, конструкции опоры, условий заземления, частота молний и др.

- Использование модульных многоуровневых преобразователей может повлиять на требуемые характеристики кабеля и методы их испытаний. Для этого случая необходимо пересмотреть испытания на перенапряжения, в частности форму и длительность импульсов.

- В многоподстанционных системах ПТ, сетях ПТ могут появиться новые виды и формы перенапряжений.

Предметная область предлагаемой рабочей группы :

Обзор импульсных и длительных перенапряжений в кабелях постоянного тока с целью выдачи рекомендаций по:

1. Методам тестирования на определение уровня импульсного грозового напряжения для воздушно-кабельных линий, основанных на специфических особенностях объекта ПТ;
2. Пересмотр формы и длины импульсов для ППТ на многоуровневых ПН;
3. Пересмотр формы и длины импульсов для многотерминальных ППТ и сетей ПТ.

Рабочая группа начинает работу в январе 2016, предположительное окончание работы – март 2017.

7. Взаимодействие с другими организациями

7.1. О деятельности технического комитета 115 МЭК «Передачи постоянного тока напряжением выше 100 кВ»

Отчет о деятельности технического комитета 115 МЭК и взаимодействии с ИК В4 был представлен Янни Фу (Кема, Нидерланды).

Область деятельности ТК-115 – стандартизация в области передач постоянного тока напряжением выше 100 кВ: особенности проектирования, технические требования, строительство и ввод в эксплуатацию, надежность, эксплуатация и ремонт.

Эта предметная область связана со многими областями деятельности ИК В4.

Документы, выпущенные ТК 115 в течение 2012 – 2014 гг.:

1. IEC TS 61973:2012 Edition 1.0 (2012-04-05). Совместная работа с ИК F22.

Акустический шум преобразовательной подстанции передач и вставок постоянного тока.

2. IEC TS 62344:2013 Edition 1.0 (2013-01-24)

Проектирование электродов преобразовательных подстанций передач и вставок постоянного тока.

3. IEC TS 62672-1:2013 Edition 1.0 (2013-11-04)
Надежность систем постоянного тока. Часть 1. Системы постоянного тока с преобразователями тока.

4. IEC TR 62681:2014 Edition 1.0 (2014-08-12)
Электромагнитные процессы в воздушной линии постоянного тока.

Документы, над которыми ведется работа:

1. IEC TR 62978 Ed. 1.0. Рекомендации по управлению для повышения рентабельности ППТ.

IEC TS 63014 Ed. 1.0

Требования к оборудованию распределительных устройств постоянного тока: Часть 1. Преобразователи тока.

В настоящее время в комитете действуют следующие рабочие группы:

WG 4	Guidelines on Asset Management of HVDC Installations (Рекомендации по управлению для повышения рентабельности ППТ)
WG 5	System design of HVDC project (Системное проектирование объектов ПТ)
WG 6	Guideline for HVDC system operation procedures (Рекомендации по процедурам эксплуатации объектов ПТ)
WG 7	DC side harmonics & filtering in LCC HVDC transmission systems (Фильтрация гармоник на стороне ПТ в ППТ на преобразователях тока)
WG 9	System requirements for DC yard equipment (Системные требования по оборудованию распределительных устройств ПТ)
WG 10	Planning of HVDC systems (Планирование систем ПТ)
JWG 22	Atmospheric and altitude correction Managed by TC 42 (Атмосферная и высотная коррекция, разработанная ТК 42)

Консультационные рабочие группы

AG 1	Road map on standardization of HVDC technology (Дорожная карта по стандартизации технологий ПТ)
AHG 3	To draft a proposal on “Control and protection in HVDC systems” Проект по предложению «Управление и регулирование в системах постоянного тока»

Комитет ТК 115 работает в сотрудничестве со следующими организациями:

TC 8	Systems aspects for electrical energy supply Системные аспекты энергоснабжения
SC 8A	Grid Integration of Large-capacity Renewable Energy (RE) Generation Интеграция с сетью возобновляемых источников энергии
SC 22F	Power electronics for electrical transmission and distribution systems Силовая электроника для передающих и распределительных сетей
TC 36	Insulators Изоляторы

<u>TC 38</u>	Instrument transformers Трансформаторы
<u>TC 42</u>	High-voltage and high-current test techniques Методика тестирования высоковольтного и высокоточного оборудования
<u>TC 99</u>	System engineering and erection of electrical power installations in systems with nominal voltages above 1 kV a.c. and 1,5 kV d.c., particularly concerning safety aspects Правила безопасной эксплуатации установок свыше 1 кВ AC и 1,5 кВ DC
<u>CIGRE/SC B4</u>	HVDC and Power Electronics HVDC и силовая электроника

7.2. О создании лаборатории для испытаний оборудования ультравысокого напряжения в Бразильском энергетическом исследовательском центре

Руководитель Национального комитета СИРГЭ Бразилии Во Вей Пинг представил презентацию о Бразильском энергетическом исследовательском центре (Cepel – Electric Energy Research Center), где создается новая внешняя лаборатория для исследования оборудования ультравысокого напряжения. На сегодня Cepel имеет в своем составе крупнейшие высоковольтные лаборатории в Латинской Америке.

Внешняя лаборатория для испытаний оборудования ультравысокого напряжения будет введена в эксплуатацию в 2016 г. В ней будут проводиться исследования электрооборудования постоянного напряжения до ± 1000 кВ и переменного напряжения до 1200 кВ.

Она будет снабжена оборудованием для тестирования и исследования:

- короны, радио помех, выдерживаемое напряжение и др. для гирлянд изоляторов;
- линейное выдерживаемое напряжение;
- коммутационное и грозовое напряжение (AC и DC)
- свойств проводов (корона и др).

Презентация, посвящённая созданию этой лаборатории, находится в приложении 1 к настоящему отчету.

8. Гармонизация терминологии относительно преобразователей напряжения

Далее было заслушано выступление Малкольма Мичина о необходимости гармонизации терминологии относительно преобразователя напряжения, используемой в отчетах рабочих групп.

9. Планируемые и находящиеся в стадии строительства электропередачи постоянного тока

Представители компаний ABB, Alstom, Siemens рассказали об объектах постоянного тока, находящихся в стадии реализации на текущий момент и недавно введенных в эксплуатацию (табл. 1). Презентации приведены в приложении 2.

10. Вопросы эксплуатации объектов HVDC. Разбор аварии на ППТ Итайпу

Руководитель Национального комитета СИРГЭ Бразилии Во Вей Пинг рассказал об аварии, случившейся в апреле 2014 года на ППТ Итайпу, в результате которой сгорели несколько вентиля преобразовательного моста. Причиной аварии стало короткое замыкание в конденсаторе, расположенном в вентиле 3, и последующая утечка горячего масла. Восстановление преобразователя после аварии длилось целый год. Презентация приведена в приложении 3.

Таблица 1

Объекты ПТ, находящиеся на стадии проектирования и строительства и недавно введенные в эксплуатацию

Наименование	Год ввода	Страна	Тип	Напряжение	Мощность	Длина ВЛ (КЛ), км	Стоимость контракта
Альстом							
Rio Madeira		Бразилия	ППТ на LCC	±600 кВ	3150 МВт	2375 ВЛ	300 MEuro
Champa-Kurukshetra I/II,	2014-2015	Индия	ППТ на LCC	±800 кВ	2 x 3,000 МВт	1300 ВЛ	370 M€
Tres Amigas Super-Station	2018	США	ВПТ на LCC и VSC		750 МВт VSC 2 x 750 МВт VSC 3 x 920 МВт LCC		
South West Link	2015	Швеция	ППТ на VSC	±300 кВ	2 x 720 MW	250 (ВЛ+КЛ)	240 M€
DolWin 3	2017	Германия	ППТ на VSC	±300 кВ	900 МВт	83 +79 КЛ	1 billion Euro
France – Italy		Франция, Италия		±300 кВ	2 x 600 MW	190 КЛ	320MEuro
Buk-Dangjin - Godeok	2018	Южная Корея	ППТ на LCC	500 кВ	1500 МВт	34 КЛ	
Lower Churchill	2017	Канада	ППТ на LCC	±350 кВ	900 МВт	КЛ+ВЛ	
Melo	2015	Уругвай	ВПТ на LCC		500 МВт		
McNeill	2015	Канада	ВПТ на LCC		150 МВт		
Wardah I and Wardah II	2015	Индия	УПК	АС 400 кВ	±1162 Мвар		
La Merlatière	2013	Франция	SVC	АС 225 кВ	±250 Мвар		
Jacques Cartier	2012	Канада	УПК	АС 735 кВ	660 Мвар,		
Kangasala	2009	Финляндия	SVC	АС 400 кВ	200/+240 Мвар,		
West Wharton	2015	США	SVC	АС 230 кВ	260/+40 Мвар		

Наименование	Год ввода	Страна	Тип	Напряжение	Мощность	Длина ВЛ (КЛ), км	Стоимость контракта
ABB							
NordBalt	2016	Литва-Швеция	ППТ на VSC	±300 кВ	700 МВт	2 x (10 + 399 + 40) КЛ	
Gotland	2018	Швеция	ППТ на VSC	±300 кВ	500 МВт		
North Sea Network	2021	Норвегия - Англия	ППТ на VSC	±525 кВ	2x1,400 МВт	730 КЛ	
Johan Sverdrup	2019	Норвегия	ППТ на VSC	±80 кВ	2x100 МВт	200 КЛ	
NordLink	2020	Норвегия-Германия	ППТ на VSC	±525 кВ	2x1,400 МВт	624 КЛ	
Maritime Link	2017	Канада	ППТ на VSC		500 МВт		
Caithness Moray	2018	Шотландия	ППТ на VSC		1200 МВт	160 КЛ	
ÅL-link	2015	Финляндия-Швеция	ППТ на VSC	±80 кВ	100 МВт	158 КЛ	
Troll A 3&4	2015	Норвегия	ППТ на VSC	±66 кВ	2x50 МВт		
DolWin2	2015	Германия	ППТ на VSC	±320 кВ	900 МВт	135 КЛ	
Skagerrak 4	2014	Норвегия - Дания	ППТ на LCC и VSC (гибридная)	500 кВ	700 МВт	140+104 КЛ	
LitPol Link	2015	Польша-Литва	ВПТ на LCC	±70 кВ	500 МВт		
North-East Agra	2015-2016	Индия	ППТ на LCC	±800 кВ	6000 МВт	1750 ВЛ	

Приложение 1.

Создание испытательной лаборатории ультравысокого напряжения на базе энергетического исследовательского центра (Cepel – Electric Energy Research Center), Бразилия

Приложение 2

Отчеты представителей компаний Alstom и ABB о текущей деятельности в области разработок объектов постоянного тока

Приложение 3

Описание аварии, произошедшей в апреле 2014 года на ППТ Итайпу, и устранения ее последствий