



Научно-технический центр Единой энергетической системы



Обобщение мировых тенденций развития техники и технологий электроэнергетики
(по итогам 46-ой сессии СИГРЭ 2016 г.)

Исследовательский комитет В4
«Электропередачи постоянным током высокого напряжения и силовая электроника»

Докладчик: руководитель Подкомитета В4 РНК СИГРЭ
Ольга Суслова
АО «НТЦ ЕЭС»
e-mail: suslova@ntcees.ru



Основные направления работ ИК В4

1. Развитие технологии передачи электроэнергии постоянным током с помощью преобразователей напряжения
2. Создание технической базы для развития сложнзамкнутых сетей постоянного тока
3. ППТ ультравысокого напряжения на основе тиристорных преобразователей
4. Преобразовательная техника и ППТ для присоединения комплексов ветроэлектрических установок к энергосистемам
5. Реконструкция ППТ, FACTS, продление их жизненного цикла
6. ППТ и силовая электроника для низких и средних классов напряжения (ниже 80 кВ)
7. Применение и совершенствование различных средств силовой электроники (СТК, СТАТКОМ, УШР, активных фильтров и др.) для управления напряжением, реактивной мощностью, повышения качества электроэнергии, уменьшения потерь в сетях переменного тока.



Рабочие группы ИК В4:

преобразователи напряжения, взаимодействие с примыкающими сетями, области применения, испытания

WGB4.62. Присоединение ВЭС к слабым сетям переменного тока

WG B4.63. Процедура ввода в эксплуатацию ППТН и ВПТН

WG A3/B4.34. Технические требования и характеристики современного коммутационного оборудования постоянного тока

WG B4.64. Влияние примыкающих систем переменного тока на свойства эксплуатационные свойства ППТ и ВПТ

WG B4-67. Проблемы гармоник объектов ПТ на ПН и стратегии для их ограничения

WG B4-69. Минимизация теряемой мощности, передаваемой ППТН, при коротких замыканиях на воздушных линиях постоянного тока.

WG B4-70. Электромагнитные переходные процессы в объектах ПТ на ПН

WG B4-71. Методические рекомендации по координации изоляции преобразовательных подстанций с ПН



Рабочие группы ИК В4: сети постоянного тока

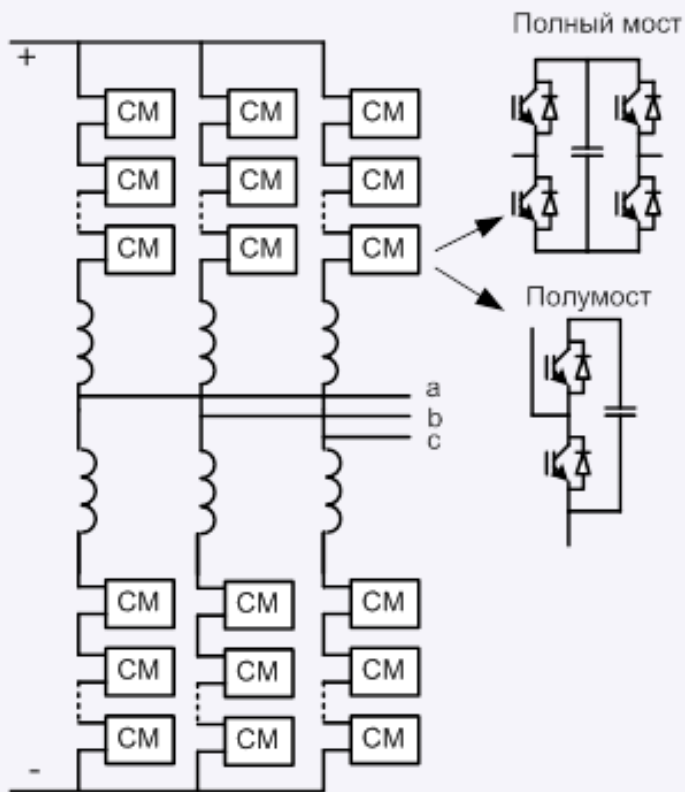
- 1. WG B4.56 - Guidelines for the preparation of “connection agreements” or “Grid Codes” for HVDC grids («Руководящие указания для подготовки «электросетевого кодекса» для сетей постоянного тока (ПТ) высокого напряжения»).**
- 2. WG B4.57 - Guide for the development of models for HVDC converters in a HVDC grid («Руководящие указания для разработки моделей оборудования в сети ПТ»).**
- 3. WG B4.58 - Devices for load flow control and methodologies for direct voltage control in a meshed HVDC Grid («Устройства и методологии для управления перетоками мощности и напряжения в сложнзамкнутых сетях ПТ»).**
- 4. JWG B4/B5.59 - Control and Protection of HVDC Grids («Регулирование и защита в сетях ПТ»).**
- 5. JWGB4/C1.65 «Recommended Voltages for HVDC Grids» («Рекомендуемые напряжения для сетей постоянного тока»)**

Основные направления работ в области ППТ и силовой электроники для энергосистем по итогам 46 сессии



1. Развитие технологии передачи электроэнергии постоянным током с помощью преобразователей напряжения
2. Исследование процессов взаимного влияния ППТ и электропередач переменным током, взаимного влияния инверторов разных ППТ, электрически связанных между собой в пределах одной энергосистемы, а также минимизация отрицательных последствий этого влияния.
3. Использование вставок постоянного тока для изменения структуры энергосистемы с синхронной на асинхронную
4. Гибридные электропередачи постоянного тока
5. Создание и использование реплик систем управления HVDC/FACTS, совершенствование систем моделирования HVDC в реальном времени.
6. Новые решения для ППТ для присоединения комплексов ветроэлектрических установок к энергосистемам

Модульные многоуровневые преобразователи напряжения (ММПН)



Преимущества:

- Модульная структура
- Высокая надежность
- Возможность отключения токов КЗ
- Низкий уровень гармонических искажений
- Возможность повышения передаваемой мощности и класса напряжения (на сегодняшний день достигнуты следующие параметры: $P_{ном}$ до 1,4 ГВт, $U_{дном}$ до 500 кВ)

Объекты с применением ММПН : ППТН Хіамен (Китай)



Назначение	Энергоснабжение потребителей острова Хіамен
Конфигурация	Биполярная + металлический возврат
Напряжения примыкающих энергосистем	230кВ
Частота	50Гц
Пропускная способность	1000МВт
Напряжение ПТ	± 320 кВ
Кабель	XLPE; 10,7 км
Перегрузочная способность	1.1~1.2о.е. (2ч) 1.15~1.3о.е. (5ч)
Период строительства	12/2014 ~ 12/2015

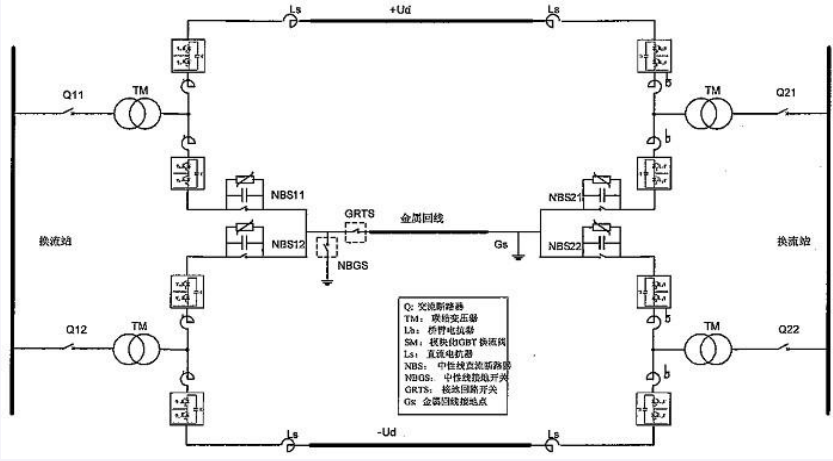
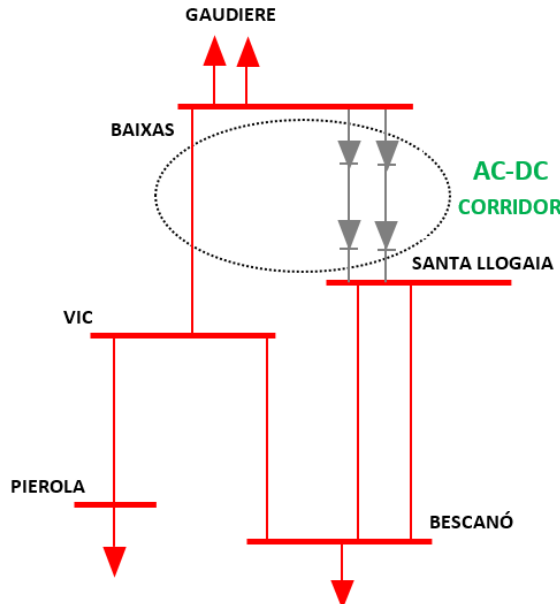


Схема ППТН Хіамен

Объекты с применением ММПН : Inelfe (Франция –Испания)

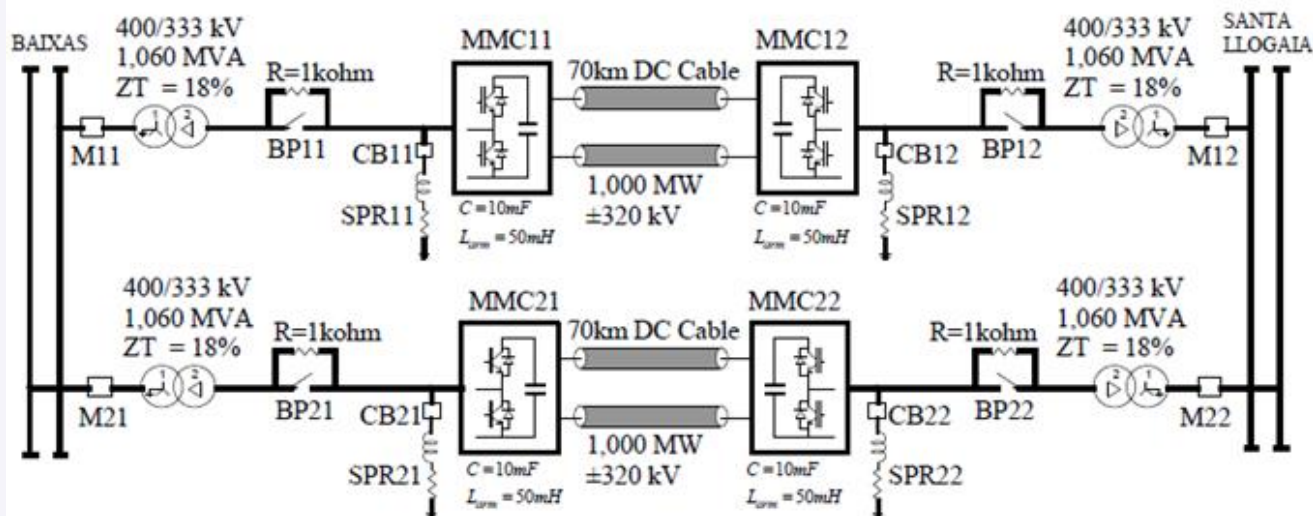
Параметры	Значение
Номинальная передаваемая мощность	2x1000 МВт
Конфигурация	Симметричная биполярная
Напряжения	±320 кВ, АС – 400 кВ
Длина КЛ	65 км
Ввод в эксплуатацию	2015 г.



Алгоритм управления
загрузкой ППТН

$$P_{HVDC} = P_0 + K \cdot \Delta\delta$$

$\Delta\delta$ – разность углов векторов напряжений на шинах двух преобразовательных подстанций, синхронизация измерений углов осуществляется посредством GPS.



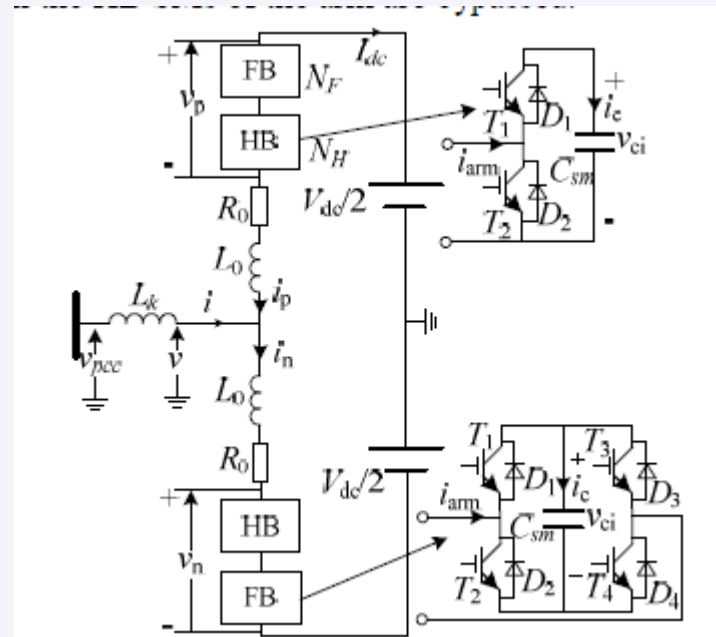
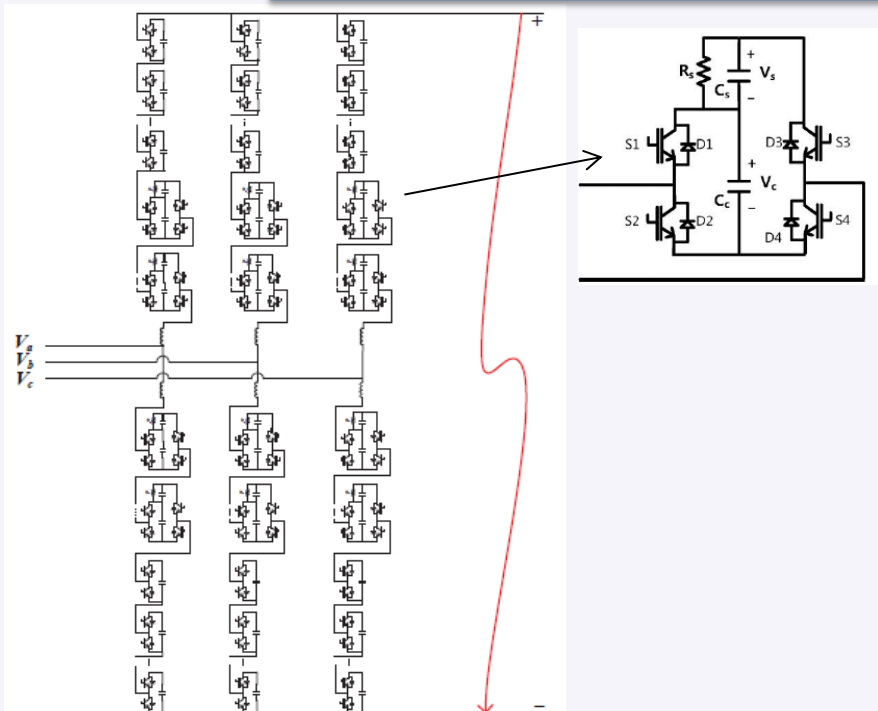
Совершенствование структур ММПН

Проблемы

- Преобразователь с полумостовыми модулями :
- + Возможность отключать ТКЗ на стороне постоянного тока
- - Повышенные потери, высокая стоимость

Решение

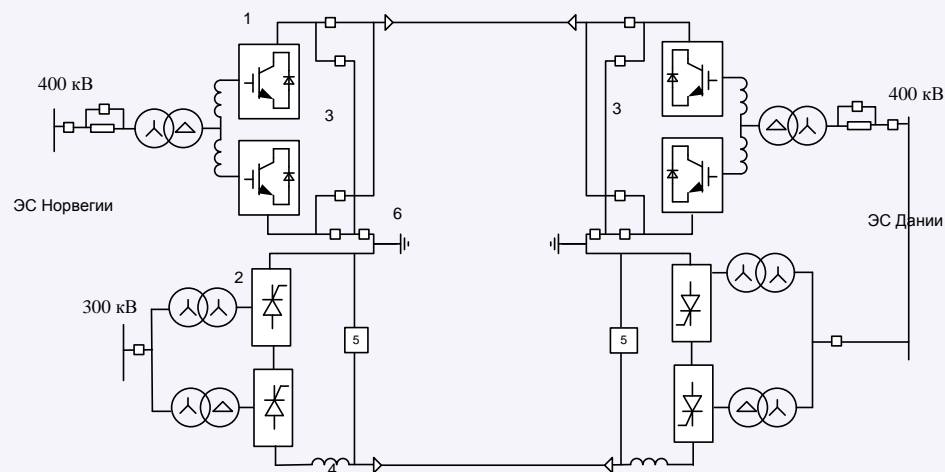
- Гибридные ММПН, содержащие в одном плече полумостовые и полномостовые модули:





Гибридные электропередачи постоянного тока: ППТ Скагерак 3,4

	Полюсы 1&2	Полюс 3	Полюс 4
Мощность, МВт	2x250	500	700
Напряжение, кВ	250	350	500
Ток, А	1000	1430	1400
Преобразователи	LCC	LCC	VSC
Подводная КЛ, км	127	127	140
ВЛ, км	113	113	-
Подземная КЛ, км	-	-	104
Год сдачи в эксплуатацию	1976-1977	1993	2014



Преимущества:

наличие преобразователя напряжения позволяет улучшить переходные процессы при КЗ в примыкающей сети, снизить риск нарушения коммутаций в преобразователе тока и дальнейшего развития аварийных процессов после нарушения коммутаций, обеспечить стабилизацию напряжения в примыкающей сети, оптимизировать систему фильтрации.

Особенности:

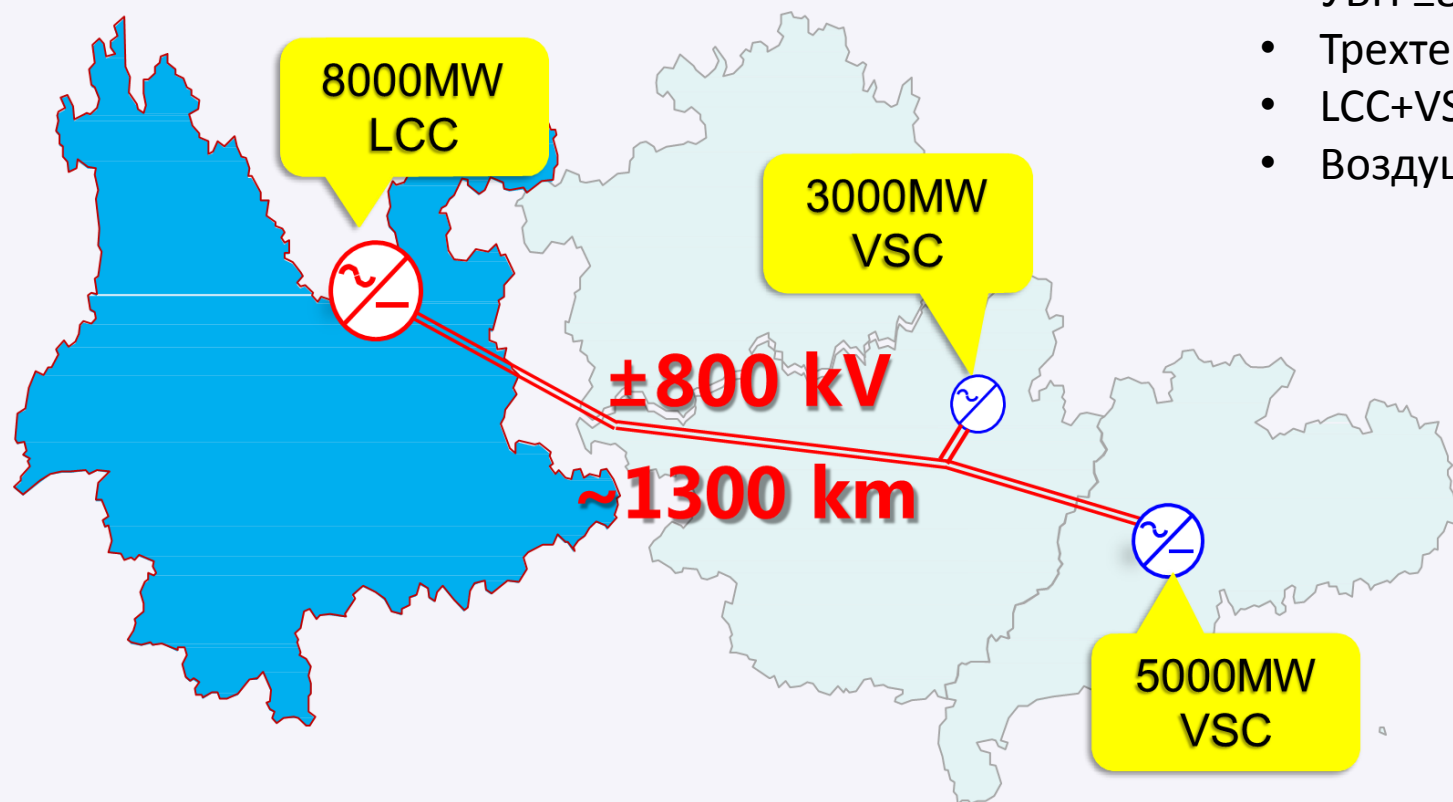
для осуществления реверса необходима система выключателей.

1- преобразователь напряжения, 2 - преобразователь тока, 3 – система выключателей для реверса полюса 4, 4- реактор на стороне постоянного тока, 5- фильтр постоянного тока, 6- заземляющий электрод



Гибридные электропередачи постоянного тока (Китай)

- УВН ± 800 кВ
- Трехтерминальная
- LCC+VSC
- Воздушная линия





Предстоящие мероприятия ИК В4

Дата	Мероприятие
30.09 – 6.10.2017	<p>Заседание SC В4 и совместный коллоквиум CIGRE SC В4, D1 & A3 в Канаде г. Виннипег, Манитоба. Сайт коллоквиума: http://cigrewinnipeg2017.com/.</p> <p>От российского подкомитета В4 заявлены три доклада:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Additional functions of the upgraded TCSR with split windings Authors: Alexander Matinyan, Maxim Peshkov, Victor Karpov, Nikita Alekseev (R&D center at Federal Grid Company of Unified Energy System)2. One-side spectral method for line fault location in HVDC line Authors: Ivanova Elena (JSC "НИИПТ")3. The uniform filter compensating device for HVDC. Authors: Georgy Mustafa, Stanislav Gusev («NPP LM Inverter») <p>Все заявленные доклады прошли рецензирование и одобрены.</p>
Октябрь 2019 г.	Заседание SC В4 и коллоквиум CIGRE SC В4 состоится в Южной Африке

Предпочтительные темы SC B4 для обсуждения на 47 сессии



PS1 / Системы HVDC и их применение:

- Планирование и реализация новых проектов HVDC, включая потребность, обоснование, проектирование, интеграцию ветроэнергетики, экологические и экономические оценки.
- Применение новых технологий в HVDC, сетях HVDC / многотерминальных HVDC.
- Модернизация и перевооружение существующих систем HVDC.
- Опыт эксплуатации преобразовательных станций, включая морские платформы.

PS2 / MVDC/LVDC и силовая электроника для распределительных электрических сетей

- Развертывание технологии среднего напряжения постоянного тока в распределительных системах.
- Применение технологий силовой электроники в проектах распределения электроэнергии, включая экономику и надежность.
- Новые концепции и конструктивные решения.
- Силовая электроника для присоединения источников и накопителей энергии к энергосистемам.

PS3 / FACTS и другая силовая электроника для электропередач:

- Планирование и реализация новых проектов, включая потребность, обоснование, устройства FACTS для возобновляемых источников энергии, экологические и экономические оценки.
- Применение новых технологий в FACTS и другом оборудовании силовой электроники.
- Модернизация и перевооружение существующих FACTS и других систем силовой электроники.
- Опыт эксплуатации.

Актуальные для России ТН ИК В4 на основе ранжированного списка предпочтительных тем



N	Тема		Оценка
1.	Системы HVDC и области их применения	Планирование и реализация проектов HVDC, включая технико-экономическое обоснование, схемные решения, присоединение возобновляемых источников энергии, экологические аспекты	4,02
2.		Применение новых технологий в HVDC, сетях постоянного тока, многотерминальных электропередачах постоянного тока высокого напряжения	4,4
3.		Реконструкция и модернизация	3,69
4.		Опыт эксплуатации	4,36
5.	FACTS и другая силовая электроника для электропередач	Планирование и реализация проектов FACTS, включая технико-экономическое обоснование, схемные решения, присоединение возобновляемых источников энергии, экологические аспекты	4,42
6.		Применение новых технологий	4,79
7.		Реконструкция и модернизация	4,08
8.		Опыт эксплуатации	4,69
9.	Постоянный ток и силовая электроника для распределительных электрических сетей	Применение для присоединения возобновляемых источников энергии, улучшения качества электроэнергии и увлечения эффективности использования капиталовложений	4,05
10.		Новые схемные решения, алгоритмы управления и регулирования	4,74



Спасибо за внимание!



Приложение

Обобщенные технические показатели объектов с преобразователями напряжения



	ППТ с применением преобразователей напряжения	
Вид преобразователя	Двухуровневый, трехуровневый	ММС (модульный многоуровневый)
Напряжение	до ± 200 кВ	до ± 300 кВ (± 525 кВ – на стадии строительства)
Номинальная мощность	до 500 МВт	до 1000 МВт
Длина линии	450 км (730 км – на стадии строительства)	
Площадь преобразовательной подстанции	180x115x24 м (500 МВт)	165x95x15 м (500 МВт)
Возможности по регулированию активной мощности	Непрерывное быстродействующее регулирование	
Потребление реактивной мощности	Может потреблять и выдавать реактивную мощность в заданном диапазоне	
Регулирование напряжения на стороне переменного тока	Быстрое регулирование, время регулирования < 100 мс	
Реверс	Изменение направления тока	
Примыкающая сеть	ОКЗ $< 1 \times R_{ном}$	
Питание автономной нагрузки, «black start»	Да	
Среднее значение потерь в преобразовательных подстанциях при номинальной мощности	1,4 – 2,2	0,98

Объекты с применением ММПН



Название проекта	Страна и год ввода	Пропускная способность, МВт	Напряжение, кВ	Длина линии (кабель)	Основная причина применения
Borwin	Германия, 2014	800	±300	200 км	Сбор мощности от ВЭС
Dolwin1	Германия, 2013	800	±320	165 км	Сбор мощности от ВЭС
Dolwin2	Германия, 2015	924	±320	135 км	Сбор мощности от ВЭС
Helwin2	Германия, 2015	690	±320	130 км	Сбор мощности от ВЭС
Sylwin1	Германия, 2014	864	±320	164 км	Сбор мощности от ВЭС
Mackinac	США, 2014	200	70	0 км (ВПП)	Стабилизация напряжения, управление перетоками мощности
NordBalt	Литва - Швеция, 2015	700	±300	450 км	Увеличение надежности энергоснабжения потребителей, коммерческое назначение
South West link	Новергия 2014-2016	2X720	±300	180 км- КЛ, 70 км ВЛ	Межгосударственная связь (трехтерминальная передача)
NordLink	Норвегия-Германия 2020	2x1,400	±525	624 КЛ	Межгосударственная связь
North Sea Network	Норвегия – Англия 2022	2x1,400	±525	730 КЛ	Межгосударственная связь

Области применения объектов постоянного тока с преобразователями напряжения



- Надежная, экономичная и полностью управляемая передача электроэнергии по кабельным воздушно-кабельным линиям напряжением ± 320 кВ мощностью до 1 ГВт
- Связь несинхронно работающих энергообъединений через вставки постоянного тока
- Межгосударственные электропередачи коммерческого назначения
- Присоединение к энергосистемам генераторов с нестабильным уровнем генерации, зависящим от условий окружающей среды – нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ) (ветропарки, солнечные, приливные и другие установки генераторов)
- Надежное электроснабжение автономных нагрузок и изолированных энергосистем
- Для энергоснабжения офшорных нефтяных и газовых платформ. На сегодняшний день в мире функционируют шесть ППТ для энергоснабжения офшорных нефтяных и газовых платформ, одна находится в стадии строительства.
- Регулирование реактивной мощности, улучшение качества напряжения в точках присоединения
- Создание многотерминальных электропередачи постоянного тока, сетей постоянного тока
- Связь микросетей, сетей с распределенной генерацией.