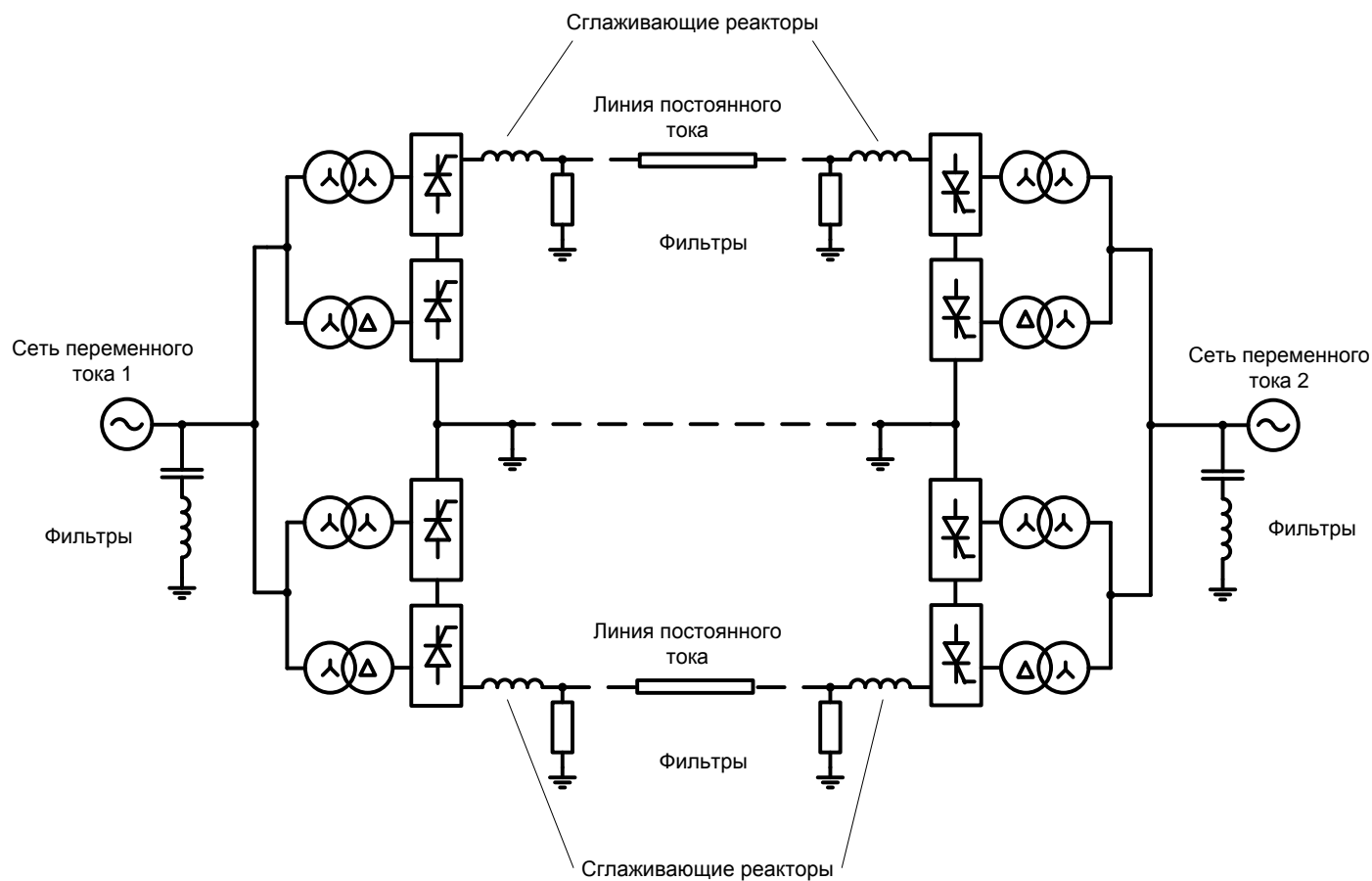


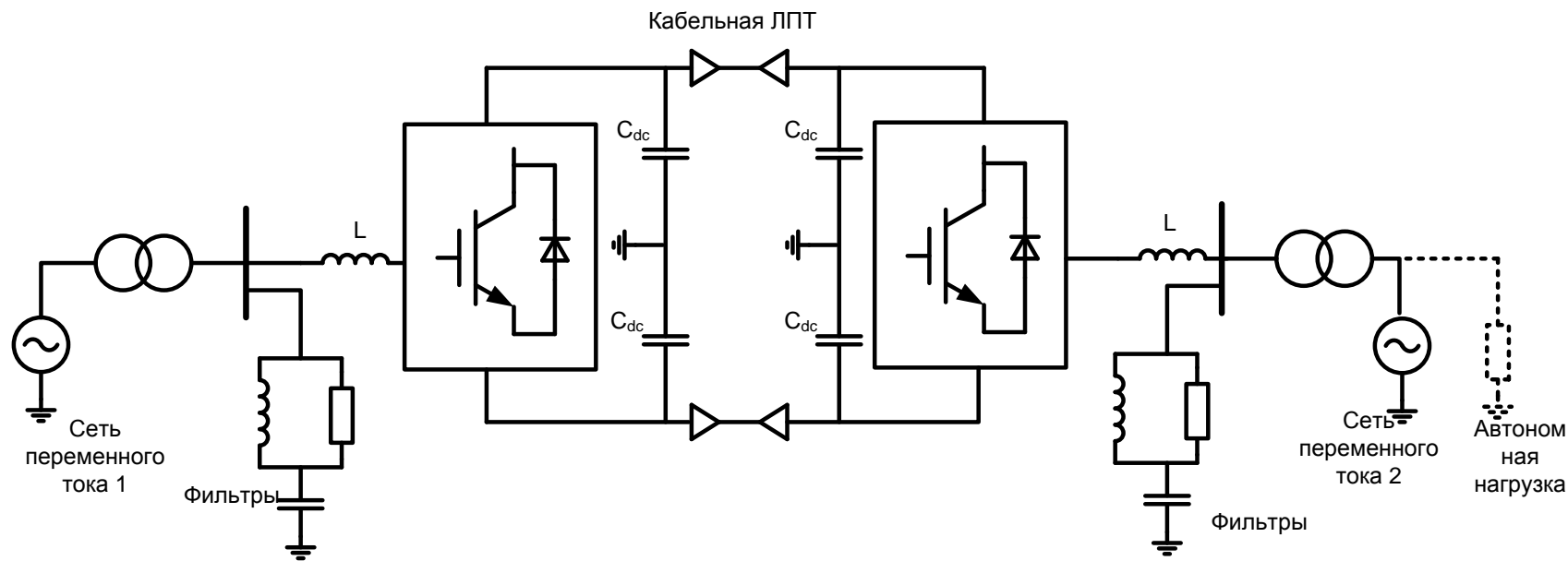
СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ – ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Суслова О.В. (ОАО «НТЦ ЕЭС»), руководитель
подкомитета В4 РНК СИРГЭ
«Электропередачи постоянным током
высокого напряжения и силовая
электроника»

Передача постоянного тока на базе преобразователей тока



Передача постоянного тока на базе преобразователей напряжения

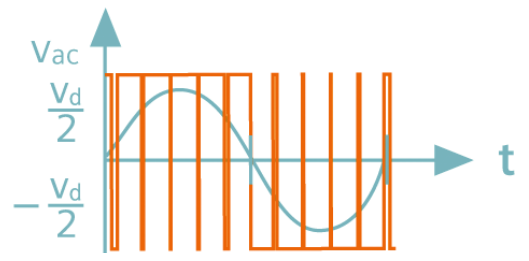
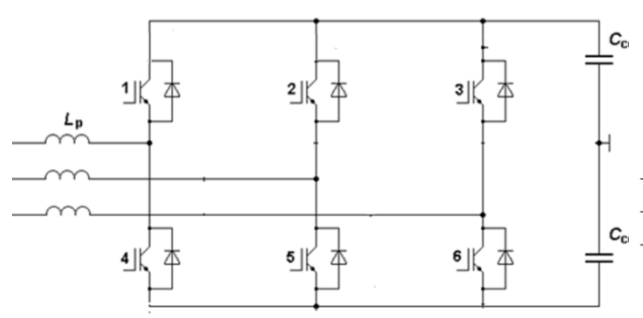


Особенности:

- Независимое регулирование активной и реактивной мощности
- Надежное электроснабжение изолированных регионов и островов, не имеющих других источников электроэнергии
- Более компактный преобразователь (по сравнению с преобразователями тока), что актуально при дефиците территории (мегаполисы, нефтяные платформы)

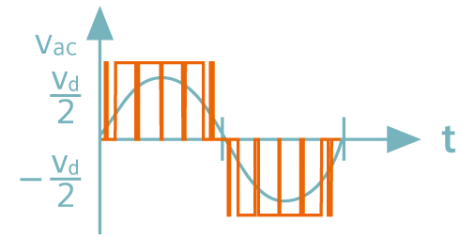
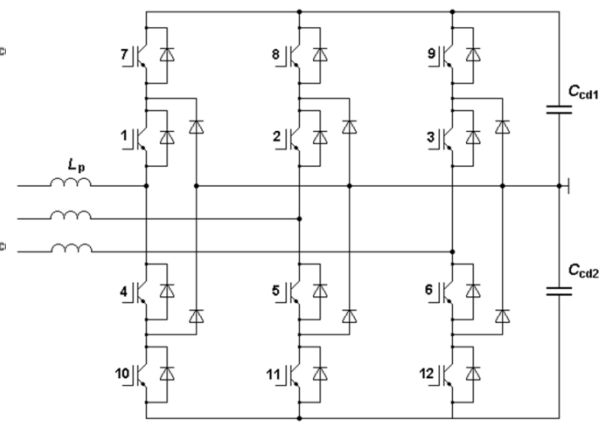
Топологии преобразователей напряжения

Двухуровневая

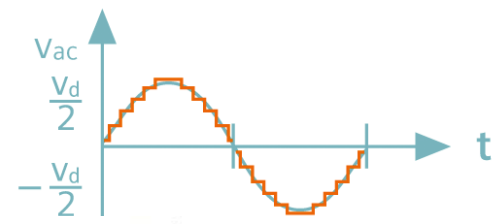
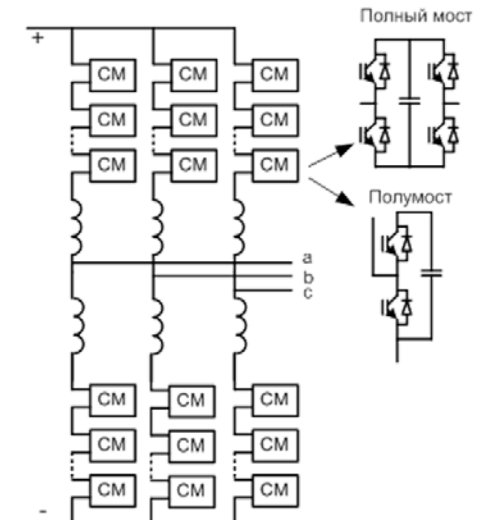


IGBT

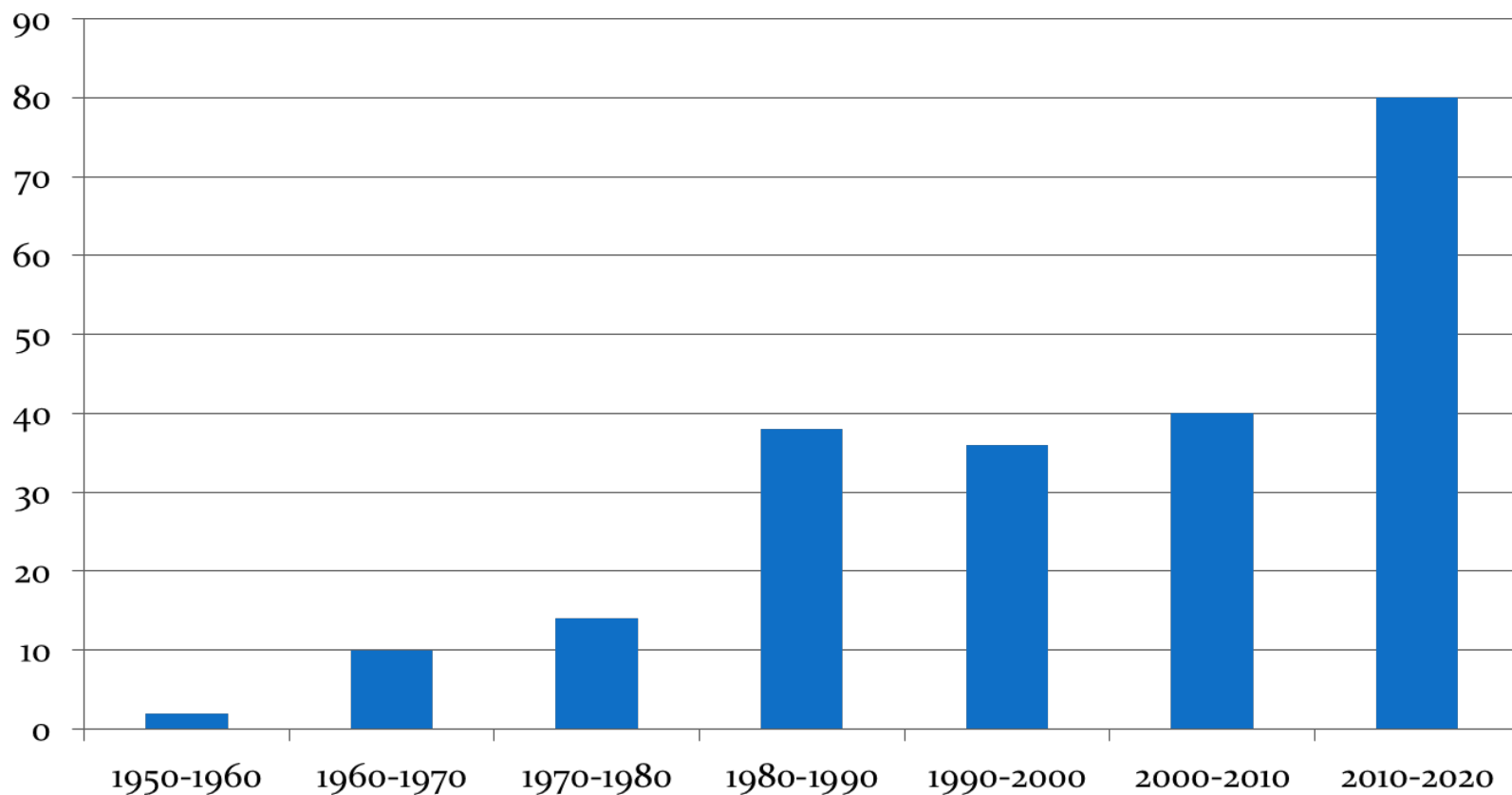
Трёхуровневая



Модульная многоуровневая



Количество введенных в эксплуатацию и планируемых к строительству объектов постоянного тока напряжением выше 50 кВ по десятилетиям



Возрастающее количество объектов постоянного тока связано со следующими особенностями развития энергосистем и ограничениями

- Значительное расстояние между генерирующими мощностями и основными потребителями в странах с протяженной территорией (Китай, Индия, Бразилия, Россия)
- Ограничения строительства новых генерирующих мощностей продиктованные, в частности, экологическими причинами
- Развитие нетрадиционных источников энергии, в частности ВЭУ и решение проблем их присоединения к единой энергосистеме
- Высокая стоимость и дефицит территории, отчуждаемой под строительство ЛЭП (на территориях с высокой плотностью населения)
- Рост токов короткого замыкания в энергосистемах мегаполисов.

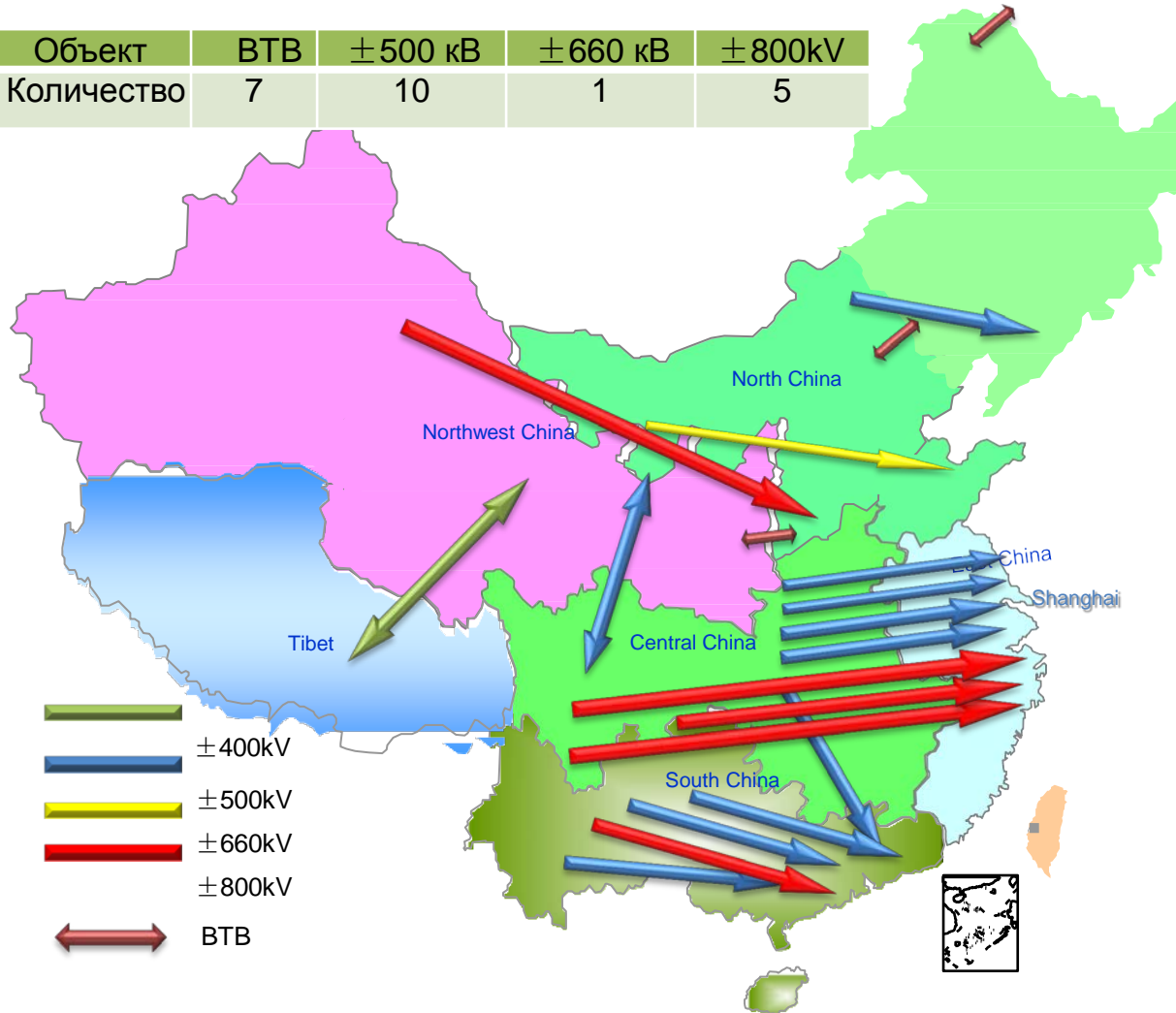
Основные тенденции развития техники электропередач постоянного тока и силовой электроники

- Создание дальних магистральных электропередач постоянного тока на напряжении ± 500 .. ± 1100 кВ мощностью до 10-12 ГВт с тиристорными преобразователями тока
- Внедрение электропередач с подводными и подземными кабелями и вставок постоянного тока с модульными многоуровневыми преобразователями напряжения мощностью до 1000 МВт
- Широкое внедрение устройств компенсации реактивной мощности, как традиционных, так и на базе технологии СТАТКОМ
- Интеграция больших ветроэлектростанций в сети переменного тока
- Создание сетей постоянного тока
- Перевод линий переменного тока на постоянный ток

ППТ ВН и УВН в Китае

- Суммарная пропускная способность 70 ГВт
- Пропускная способность ППТ ± 800 кВ около 35 ГВт

Объект	ВТБ	± 500 кВ	± 660 кВ	± 800 кВ
Количество	7	10	1	5



800kV projects	Capacity
Yunnan-Guangdong	5000MW
Xiangjiaba-Shanghai	6400MW
Jinping-Sunan	7200MW
Hami-Zhengzhou	8000MW
Xiluodu-Zhejiang	8000MW

500kV projects	Capacity
Gezhouba-Shanghai	1200MW
Tianshengqiao-Guangdong	1800MW
Three Gorges-Changzhou	3000MW
Guiyang-Guangdong I	3000MW
Three Gorges - Guangdong	3000MW
Three Gorges - Shanghai	3000MW
Guiyang-Guangdong II	3000MW
Deyang-Baoji	3000MW
Hulubeier-Liaoning	3000MW
Three Gorges - Shanghai II	3000MW

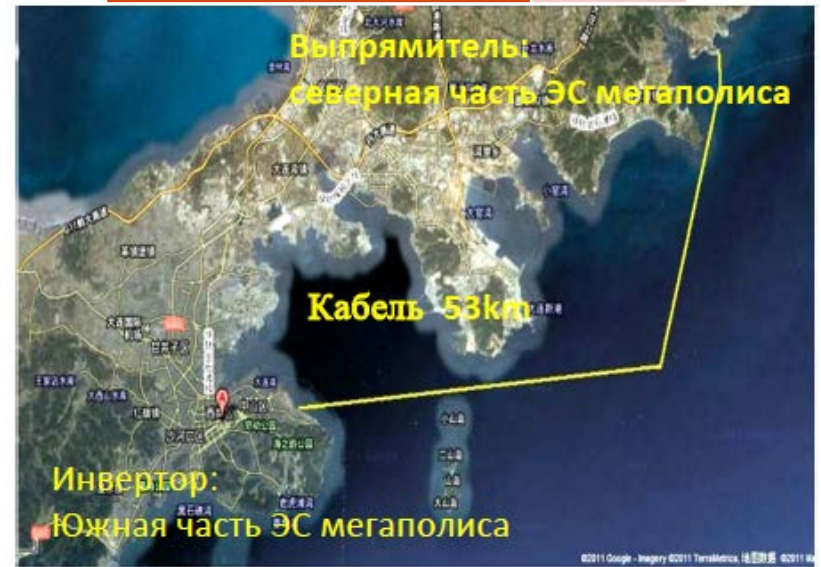
ППТ с кабельными линиями на преобразователях напряжения

ППТ Ксиамен:
электроснабжение
островных территорий

Параметр	Значение
Пропускная способность, МВт	1000
Напряжение	±320 кВ
Длина КЛ, км	15 км

ППТ Далиан: электроснабжение
мегаполиса

Параметр	Значени е
Пропускная способность, МВт	1000
Напряжение	±320 кВ
Длина КЛ, км	53 км



ППТ с кабельными линиями на преобразователях напряжения

ППТ Trans Bay Cable: энергоснабжение мегаполиса

Параметр	Значение
Пропускная способность, МВт	400
Напряжение	± 200 кВ
Длина КЛ, км	88 км



На густонаселенной территории Сан-Франциско проблематично найти места для строительства новых электро-станций и отчуждения под воздушные или подземные кабели.

Кабельная передача постоянного тока, проложенная по дну залива, шунтирует существующую сеть переменного тока и позволяет осуществить ввод электроэнергии прямо в центральную часть Сан-Франциско

Интеграция мощных ветроэлектростанций в сети переменного тока

№ п/п	Название проекта	Страна и год ввода	Мощность	Количество параллельных цепей	Напряжение	Длина линии (кабель)	Основная причина применения
1	Trans Bay Cable	США 2010 г.	400 МВт	1	±200 кВ	85 км	Транспорт электроэнергии
2	Borwin2	Германия, 2014г.	800 МВт		±300 кВ	200 км	Сбор мощности от ВЭС
3	Inelfe	Франция-Испания 2014 г.	2x1000 МВт	2	±320 кВ	64 км	Межгосударственная связь
4	Dolwin1	Германия, 2013 г.	800 МВт	1	±320 кВ	165 км	Сбор мощности от ВЭС
5	Dolwin2	Германия, 2015 г.	924 МВт	1	±320 кВ	135 км	Сбор мощности от ВЭС
6	Helwin1	Германия, 2014 г.	576 МВт	1	±260 кВ	130 км	Сбор мощности от ВЭС
7	Helwin2	Германия, 2015 г.	690 МВт	1	±320 кВ	130 км	Сбор мощности от ВЭС
8	Sylwin1	Германия, 2014 г.	864 МВт	1	±320 кВ	164 км	Сбор мощности от ВЭС
9	Mackinac	США, 2014 г.	200 МВт	1	70 кВ	0 км (ВПТ)	Стабилизация напряжения, управление потоками мощности
10	NordBalt	Литва - Швеция, 2015 г.	700 МВт	1	±300 кВ	450 км	Межгосударственная связь
11	South West link	Новая Зеландия 2014-2016	2x720 МВт	2	±300 кВ	180 км- КЛ, 70 км ВЛ	Межгосударственная связь (трехтерминальная передача)
12	Nanao	Китай 2013	200 МВт		±160 кВ		Передача электроэнергии в ВЭС (трехтерминальная)
13	Zhoushan	Китай 2014	400 МВт		±200кВ	134 км	Энергоснабжение островных территорий (четырёхтерминальная)

Создание сетей постоянного тока (на примере ППТ Zhoushan (Китай))



В эксплуатации	4 th Июля 2014
Мощность	400/300/100/100/100 MW
Напряжение	± 200 кВ

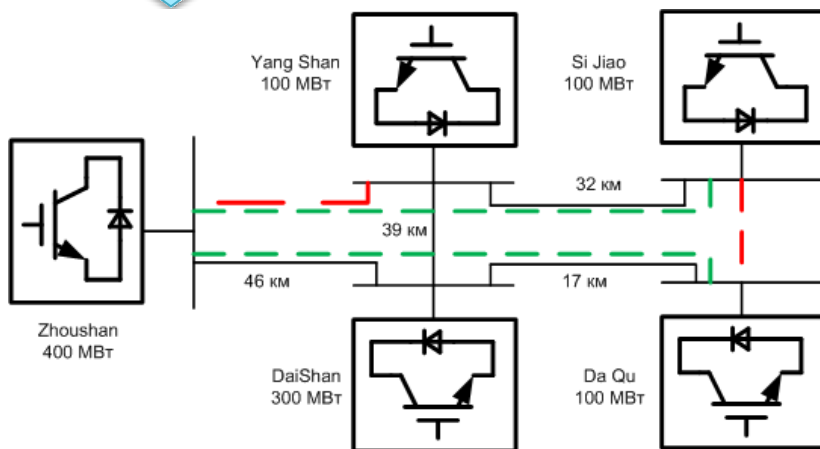
Текущее состояние

- Энергоснабжение островов
- 5-терминальная радиальная сеть
- Нет резервирования
- КЗ ПТ отключается на стороне АС



Модернизация

- Трансформация в сеть ПТ
- Обеспечение резервирования
- КЗ ПТ отключается выключателем ПТ

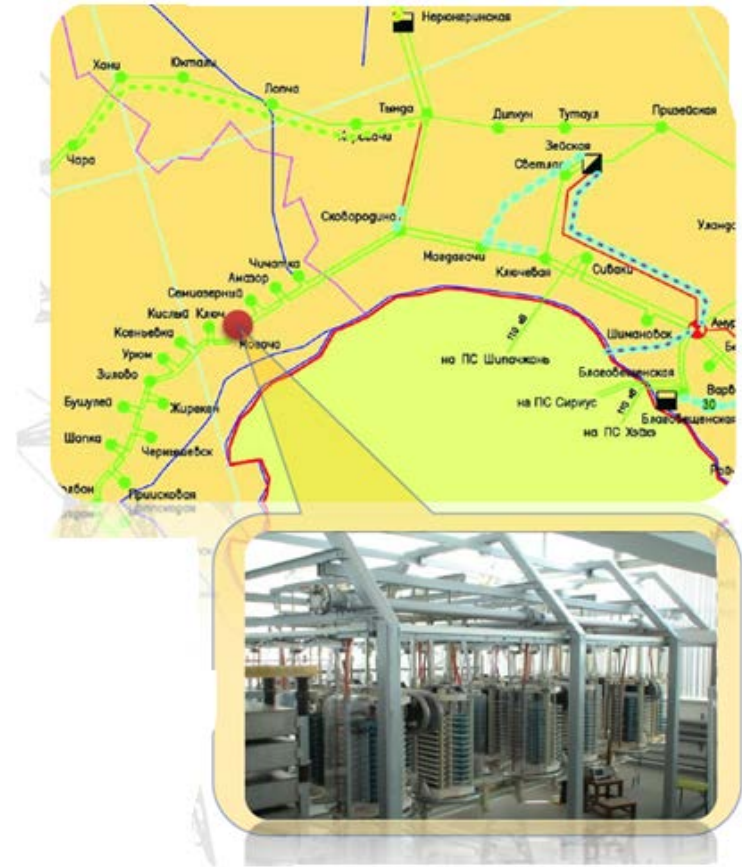


ППТ (ВПТ) в России

N	Наименование	Год ввода	Мощность, МВт	Напряжение, кВ	Длина ВЛ (КЛ), км
1	Кашира - Москва	1950	30	±100	120
2	Волгоград – Донбасс	1962 - 1965	720	±400	473
3	Экибастуз – Центр (Тамбов)	1992 – 1995	6000	±750	2400
4	Выборгская ПП	1983 - 2002	1050/1400		0
5	ВПТПН Могоча	2015	200		0
6	ППТ ЛАЭС-2 – ПС Выборг	2019	1000	±300	67+46

Сооружение вставки постоянного тока на ПС Могоча для объединения энергосистем Сибири и Востока

- ❑ **Цель проекта:** объединение на параллельную работу ОЭС Востока и ОЭС Сибири, повышение надежности электроснабжения потребителей, Забайкальской железной дороги, покрытие дефицита мощности в восточной части ОЭС Сибири
- ❑ **Продукт:** Вставка постоянного тока мощностью 200 МВт на базе современных преобразователей типа СТАТКОМ
- ❑ **Участники:** ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «НИИПТ», НПЦ «Энерком –Сервис», ЗАО «ИКС «Союз – Сети»
- ❑ **Статус:** пуско-наладочные работы, начало системных испытаний



ППТ ЛАЭС 2- ПС Выборгская

- ❑ **Цели проекта:** обеспечение выдачи мощности от ЛАЭС-2, повышение надежности электроснабжения северных районов Санкт-Петербурга и Ленинградской области, обеспечение передачи электроэнергии в энергосистему Финляндии, разгрузка сети Санкт-Петербурга от транзитного потока мощности и сокращения потерь электроэнергии в энергосистеме, повышение устойчивости и надежности по условиям аварийных ситуаций в системообразующей сети ОЭС С.-Запада, минимизация отчуждения земли под воздушную линию
- ❑ **Особенность:** ППТ проектируется как трехподстанционная, обеспечивающая выдачу мощности на шины 400 кВ и шины 330 кВ двух разных энергосистем, не имеющих синхронной связи
- ❑ **Участники:** ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «НИИПТ», ФПГ «КЭР»
- ❑ **Статус:** завершена стадия рабочего проектирования
- ❑ **Планируемый срок реализации:** 2019 г.

Предпосылки для развития объектов постоянного тока в энергосистеме РФ:

- ❑ большая протяженность территории страны;
- ❑ неравномерное распределение энергоресурсов и промышленности (наибольшие запасы минерального топлива и гидроресурсов – в Сибири, наибольшее сосредоточение населения и промышленности – в Европейской части);
- ❑ большое число островных территорий и других труднодоступных районов;
- ❑ обеспечение надежного электроснабжения мегаполисов, например Москвы, при снижении токов короткого замыкания до допустимого уровня
- ❑ проблема энергоснабжения оффшорных платформ
- ❑ проблема обеспечения электроснабжения небольших энергосистем, функционирующих отдельно от ЕЭС России
- ❑ наличие избыточных энергоресурсов, обеспечивающих возможность создания значительного экспортного потенциала в электроэнергетической отрасли
- ❑ наличие большого научно-практического опыта у российских ученых и инженеров в области разработки и строительства объектов постоянного тока

Проблемы при разработке и сооружении объектов ПТВН

- ❑ Отсутствие современной отечественной нормативной базы на проектирование и испытания объектов постоянного тока и их элементов
- ❑ Отсутствие современных испытательных комплексов для испытаний преобразовательного оборудования и воздушных линий постоянного тока.
- ❑ Длительные сроки реализации

Реальным средством улучшения стоимостных показателей объектов постоянного тока и сроков реализации их является разработка типовых решений и методических рекомендаций по выбору схем, заказу, приемке, проведению заводских и системных испытаний, организация эксплуатации и технического обслуживания оборудования.

Актуальные темы исследований и работ по направлению «Электропередачи постоянным током высокого напряжения и силовая электроника»:

- ❑ разработка и реализация модульных многоуровневых преобразователей напряжения;
- ❑ разработка и создание цифровых и гибридных моделей реального времени для проведения различного рода исследований, заводских и системных испытаний;
- ❑ участие в работе МЭК (секретариат ПК 22 F «Силовая электроника для электрических передающих и распределительных систем») по стандартизации оборудования и систем силовой электроники;

Актуальные направления исследований и работ по направлению В4 РНК СИГРЭ «Электропередачи постоянным током высокого напряжения и силовая электроника»:

- участие в разработках методических рекомендаций по исследованиям, планированию, проектированию, приемке, проведению заводских и системных испытаний, организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и др. в форме методических брошюр СИГРЭ;
- регулярный мониторинг характеристик объектов ПТ, сбор информации о надежности показателей;
- проведение семинаров, научно-практических конференций по различным аспектам, связанным с исследованиями, разработкой и эксплуатацией объектов постоянного тока высокого напряжения.

Спасибо за внимание!