


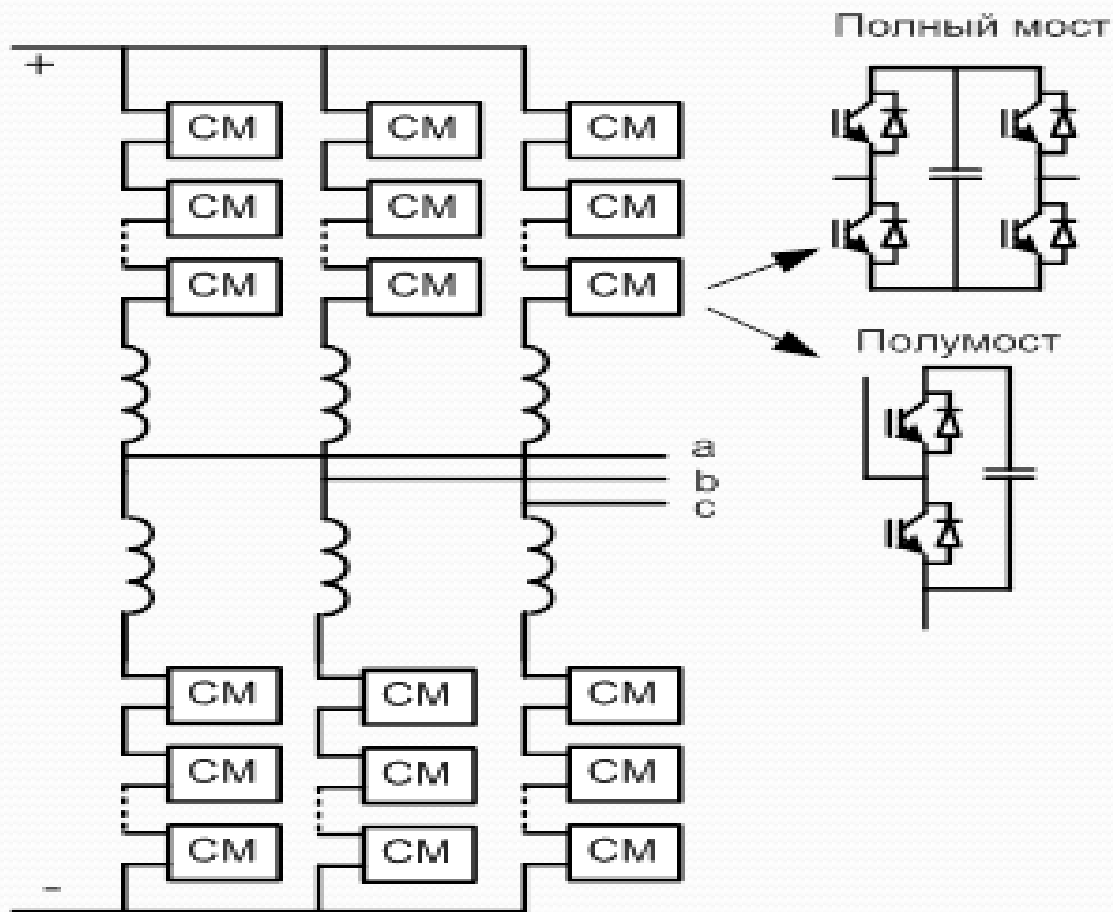
«Обобщение мировых тенденций проектирования, строительства и эксплуатации систем постоянного тока высокого напряжения и силовой электроники (по материалам 45 Сессии CIGRE)»

Постоянный член SC B4 CIGRE
“HVDC and Power Electronics”
Герасимов А.С.

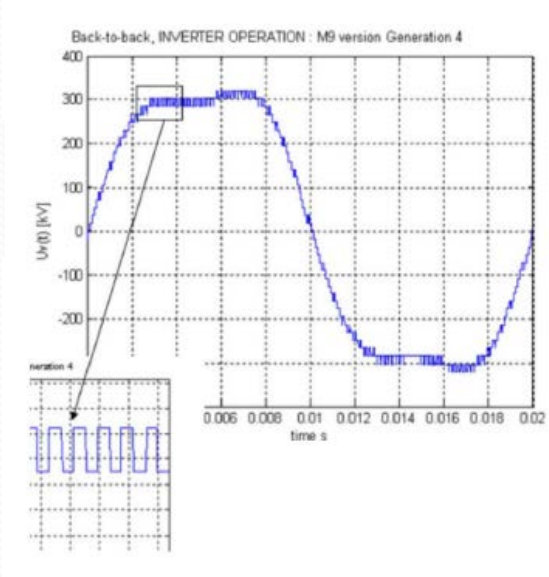
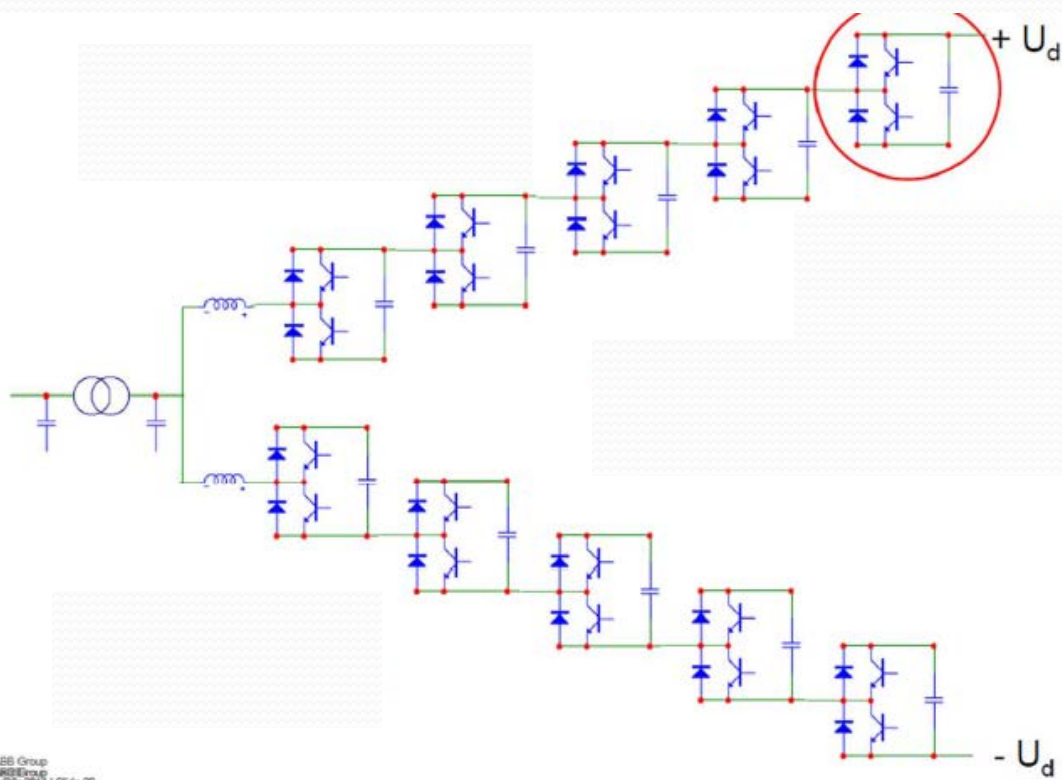


Развитие технологии передачи
электроэнергии постоянным
ТОКОМ С ПОМОЩЬЮ
преобразователей напряжения

Модульные многоуровневые преобразователи напряжения



Модульные многоуровневые преобразователи напряжения




Модульные многоуровневые преобразователи напряжения

Преимущества:

- Более низкий уровень потерь по сравнению с многоуровневым преобразователем
- Модульная структура
- Высокая надежность
- Низкий уровень гармонических искажений
- Преобразователь на полномостовых схемах могут блокировать КЗ на стороне постоянного тока

Объекты на ММПН

№ 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 перетоками мощности
10.	NordBalt	Литва - Швеция, 2015 г.	700 МВт	1	±300 кВ	450 км	Межгосударственная связь
11.	South West link	Новергия 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)

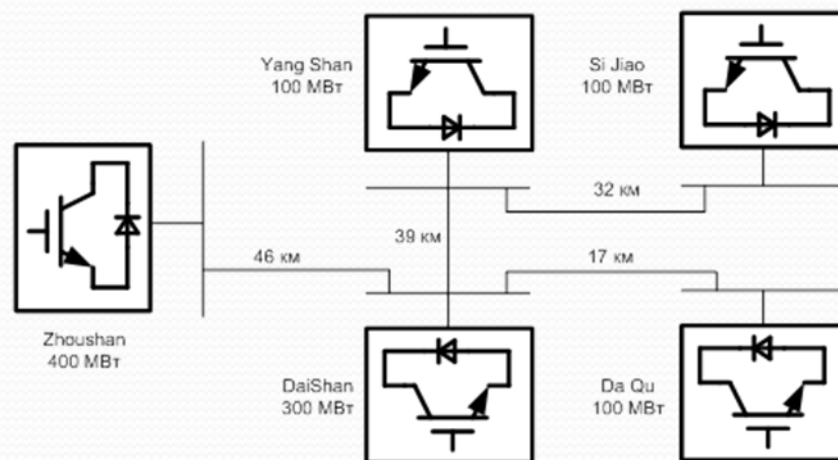


Многотерминальные передачи на преобразователях напряжения

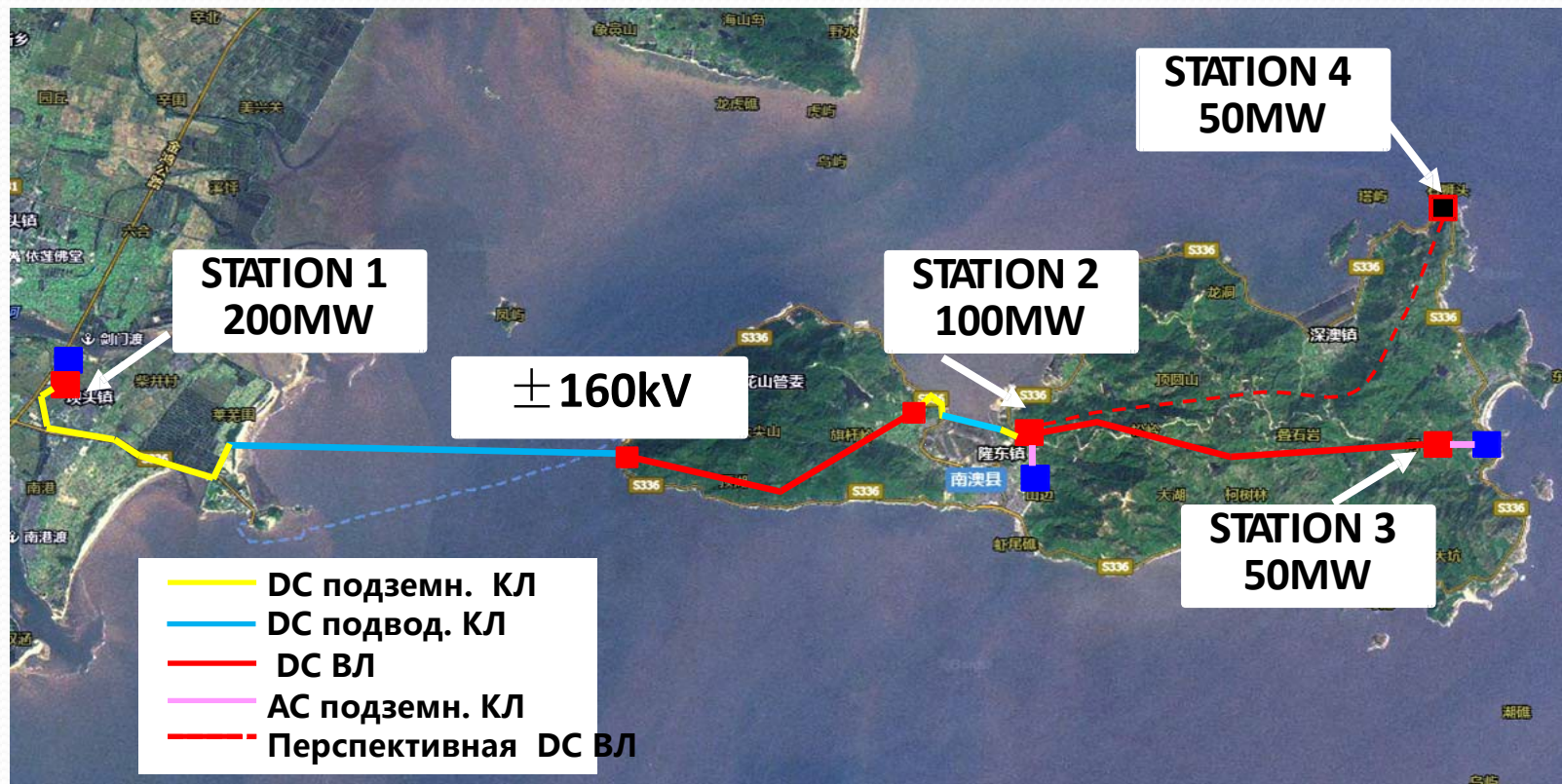
Многотерминальные передачи на преобразователях напряжения в Китае

Проект Zhoushan

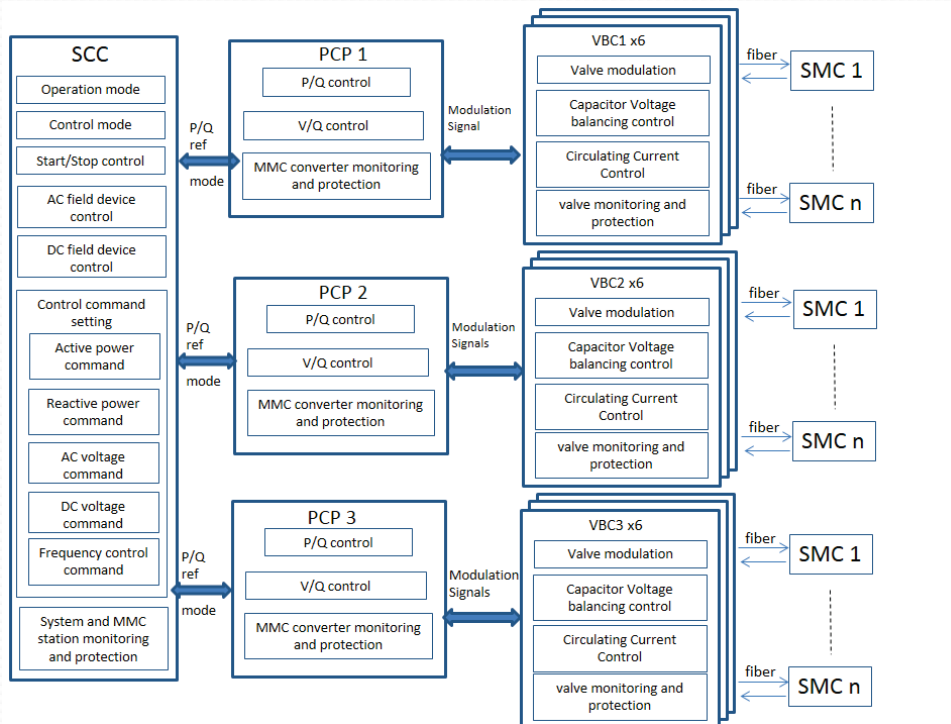
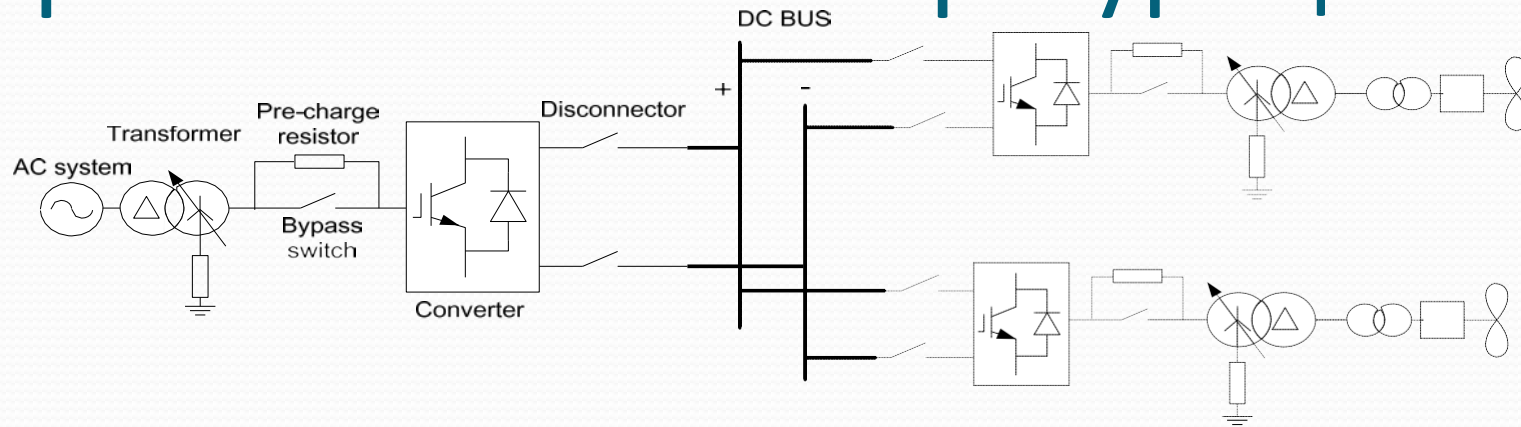
Проект	Год ввода в эксплуатацию	Число терминалов	Напряжение, кВ	Мощность, МВт	Области применения
Nanhui	2011	2	±30	18	Передача электроэнергии от ВЭС
Nan'ao	2013	3	±160	200	Передача электроэнергии от ВЭС
Zhoushan	2014	5	±200	1000	Энергоснабжение островных территорий



Проект Нанао



Проект Нанао: конфигурация



Проект Нанао: вентили

STATION 1



	VSC1
P (MW)	200
Q (MVar)	-200~100
DC VOLTAGE (kV)	± 160
DC CURRENT (A)	625
DEVICE	PP IGBT

STATION 2



	VSC2
P (MW)	100
Q (MVar)	-100~60
DC VOLTAGE (kV)	± 160
DC CURRENT (A)	313
DEVICE	IGBT

STATION 3



	VSC3
P (MW)	50
Q (MVar)	-50~35
DC VOLTAGE (kV)	± 160
DC CURRENT (A)	157
DEVICE	IGBT

Проект Нанао: эксплуатационные показатели

- **Потери в вентильной преобразовательной части**
 - <1.0% согласно проекту
- **Надежность:**
 - Только один силовой модуль вышел из строя за время эксплуатации
- **Основная проблема:**
 - отсутствие выключателей на стороне постоянного тока
 - при КЗ на стороне постоянного тока отключаются все выключатели на стороне переменного тока

Многотерминальные передачи на преобразователях напряжения в Европе (проект South West Link, Альстом)



- Трехтерминальная ППТПН
 - симметричная монополярная схема
 - 250 км
 - Кабельно-воздушная линия
- Параметры
 - 1400 МВт (2 x 720 МВт)
 - Напряжение 300 кВ
- Даты:
 - Контракт: Декабрь 2011
 - Сдача в эксплуатацию: конец 2015



Сложно-замкнутые сети постоянного тока

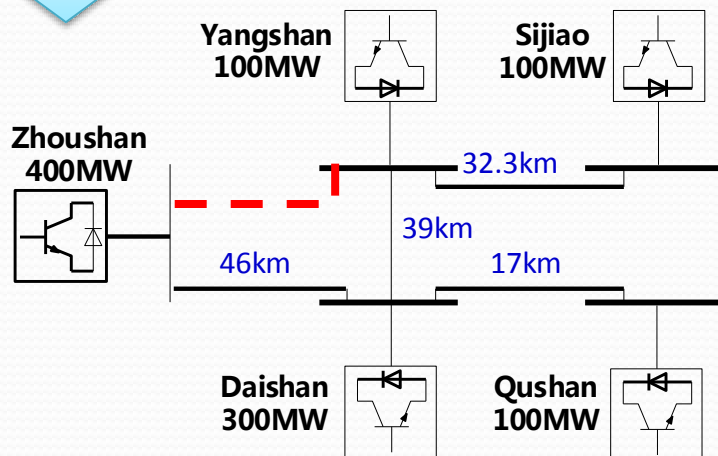
МОДЕРНИЗАЦИЯ ММППТ ZHOUZHAN



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

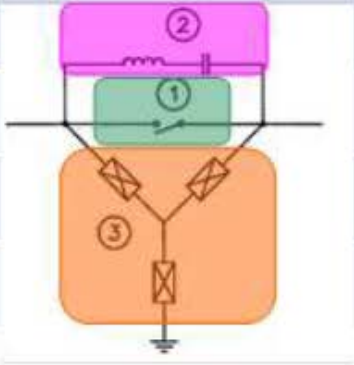
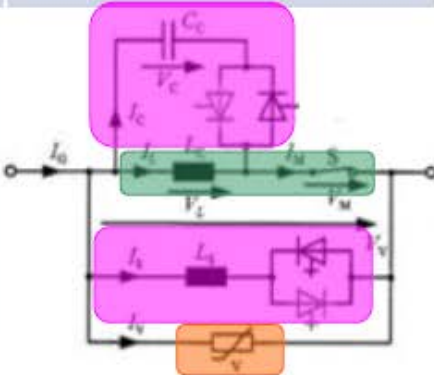
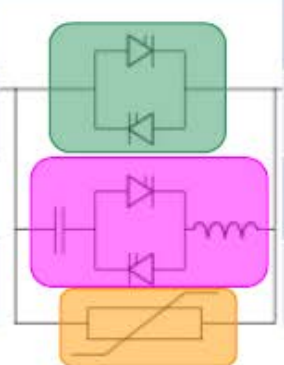
- Трансформация в сеть ПТ
- Обеспечение резервирования
- КЗ ПТ отключается выключателем ПТ

Отключение КЗ в сетях ПТ

1. Выключатель ПТ (ВКПТ)
2. Блокирующий преобразователь (БП)+коммутационное устройство на стороне ПТ (БП+КУП)
3. ППТН с полумостовыми СМ + выключатель переменного тока + КУП

Варианты	1	2	3
Время отключения КЗ	< 5мс	>30мс	>70мс
Работа в режиме СТАТКОМ	Да	Да	Нет
Потери	Средние	Высокие	Низкие
Стоимость	Средняя	Высокая	Низкая

Выключатель постоянного тока

$U_{\text{rated}} = 320 \text{ kV}$ $U_{\text{TIV}} = 500 \text{ kV}$ $I_{\text{rated}} = 2000 \text{ A}$	Механический выключатель	Гибридный выключатель	Выключатель на силовой электронике
Основная цепь	Механический выключатель	Быстродействующий разъединитель + силовая электроника	Силовая электроника
Вспомогательная цепь	L+C	Силовая электр.	Силовая электр.
			
Пример			

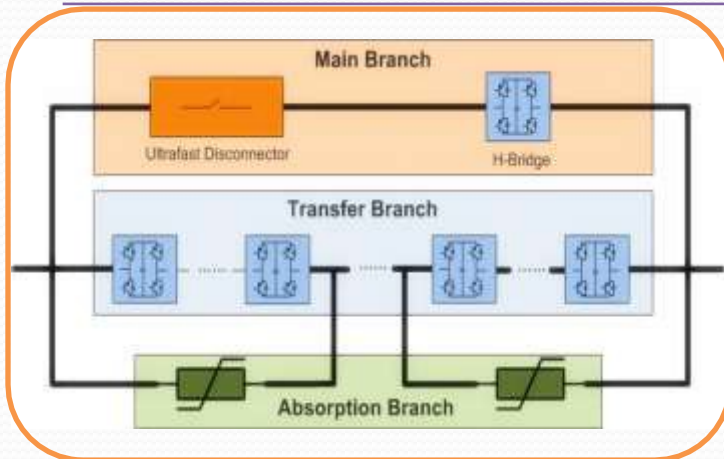
Выключатель постоянного тока

$U_{\text{rated}} = 320 \text{ kV}$ $U_{\text{TIV}} = 500 \text{ kV}$ $I_{\text{rated}} = 2000 \text{ A}$	Механический выключатель	Гибридный выключатель	Выключатель на силовой электронике
Основная цепь	Дугогасящая камера	Быстродействующий разъединитель + силовая электроника	Силовая электроника
Вспомогательная цепь	L+C	Силовая электр.	Силовая электр.
Потери	~ 100 W	~ 10 kW	~ 1 MW
Система охлаждения	No	No	Yes
Минимальное время отключения	~ 30 ms	~ 1 ms	~ 0.1 ms

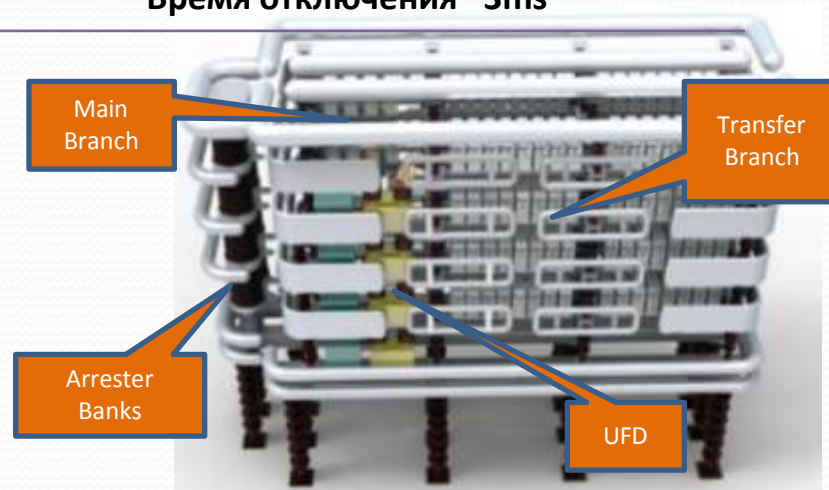
Выключатель постоянного тока

(разработчик – Китайская государственная энергетическая корпорация)

Напряжение	200кВ	Номинальный ток	1.2кА
Скорость нарастания	3.6кА/мс	Потери	<0.01%@1000 MW
Отключаемый ток	18кА	Время отключения	3мс



Схема



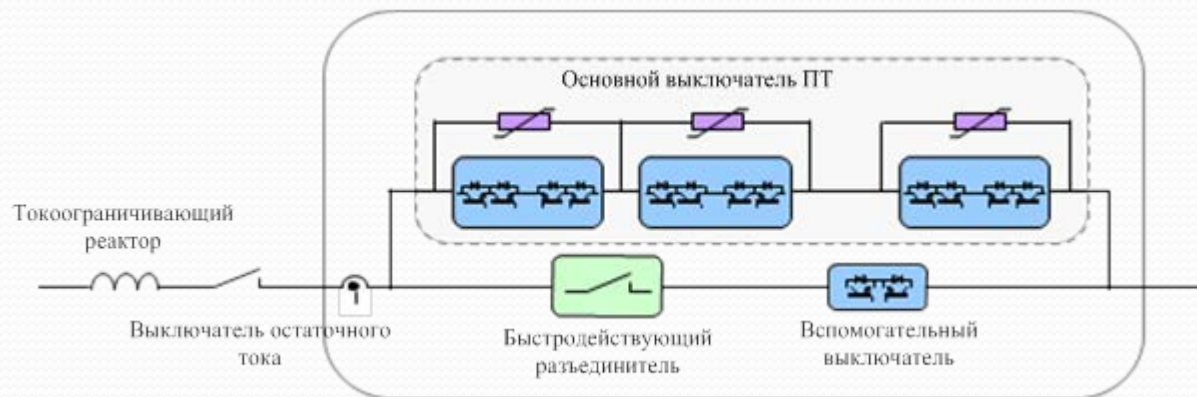
Прототип


- Три ветви: быстродействующий разъединитель, полномостовые силовые модули и разрядники
- Может работать в реверсивных схемах

Выключатель постоянного тока

(разработчик ABB)

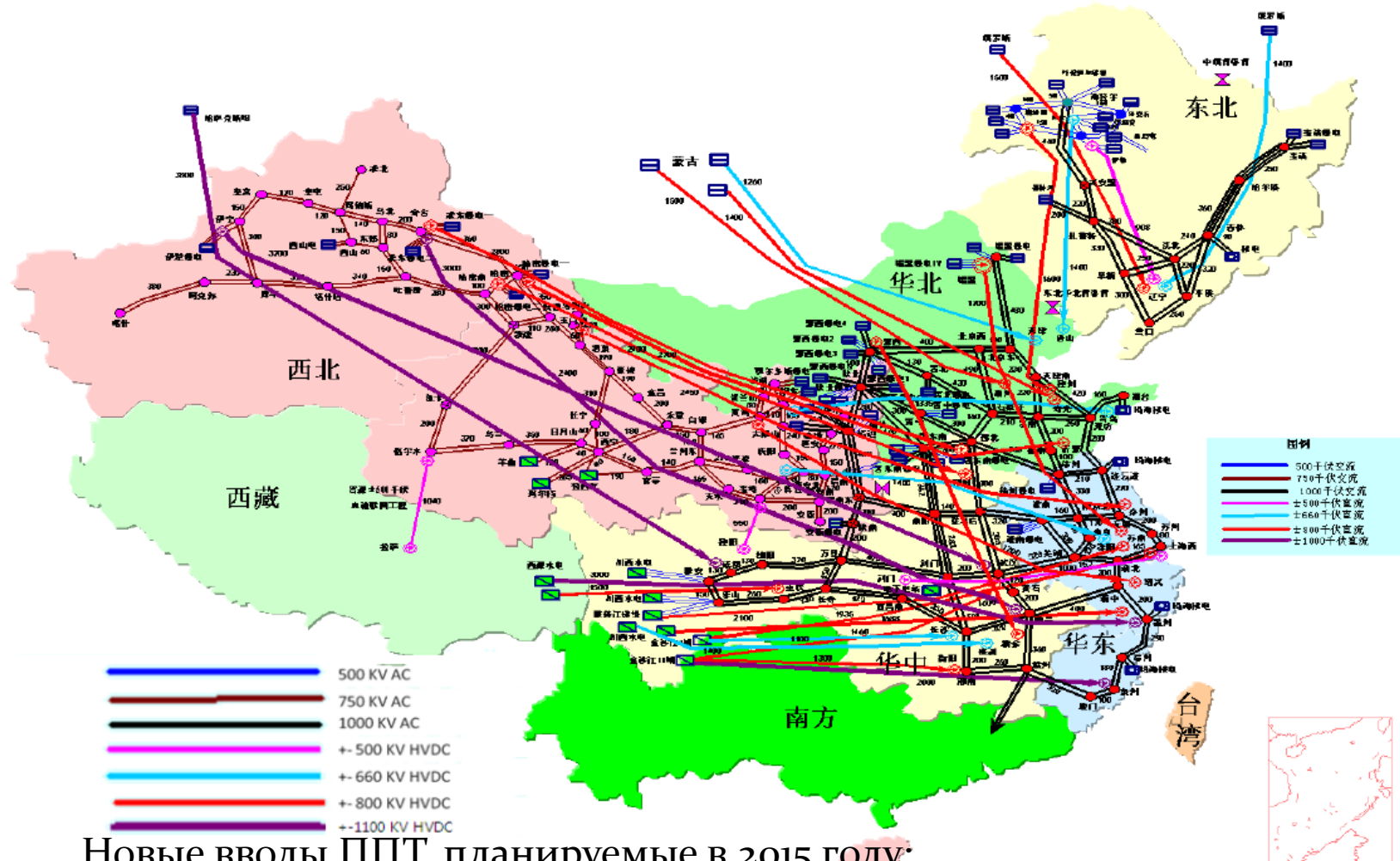
Номинальное напряжение одной ячейки	80 кВ	Номинальный ток	1.2 кА
Отключаемый ток	16 кА	Время срабатывания	2 мс





Развитие ППТ ультравысокого напряжения в странах с протяженной территорией

ППТ УВН в Китае



Новые вводы ППТ, планируемые в 2015 году:

- 13 линий +/- 800 кВ
- 1 линия +/- 1100 кВ

Всего к концу 2015 года в КНР планируется в работе 50 ППТ общей протяженностью 30,000 км

Неравномерное распределение энерго ресурсов и потребления



- Гидро и угольные ЭС в северной и юго-западной части Китая
- Центры потребления – в центральной и восточной частях
- Использование ППТ УВН для передачи мощности на дальние расстояния

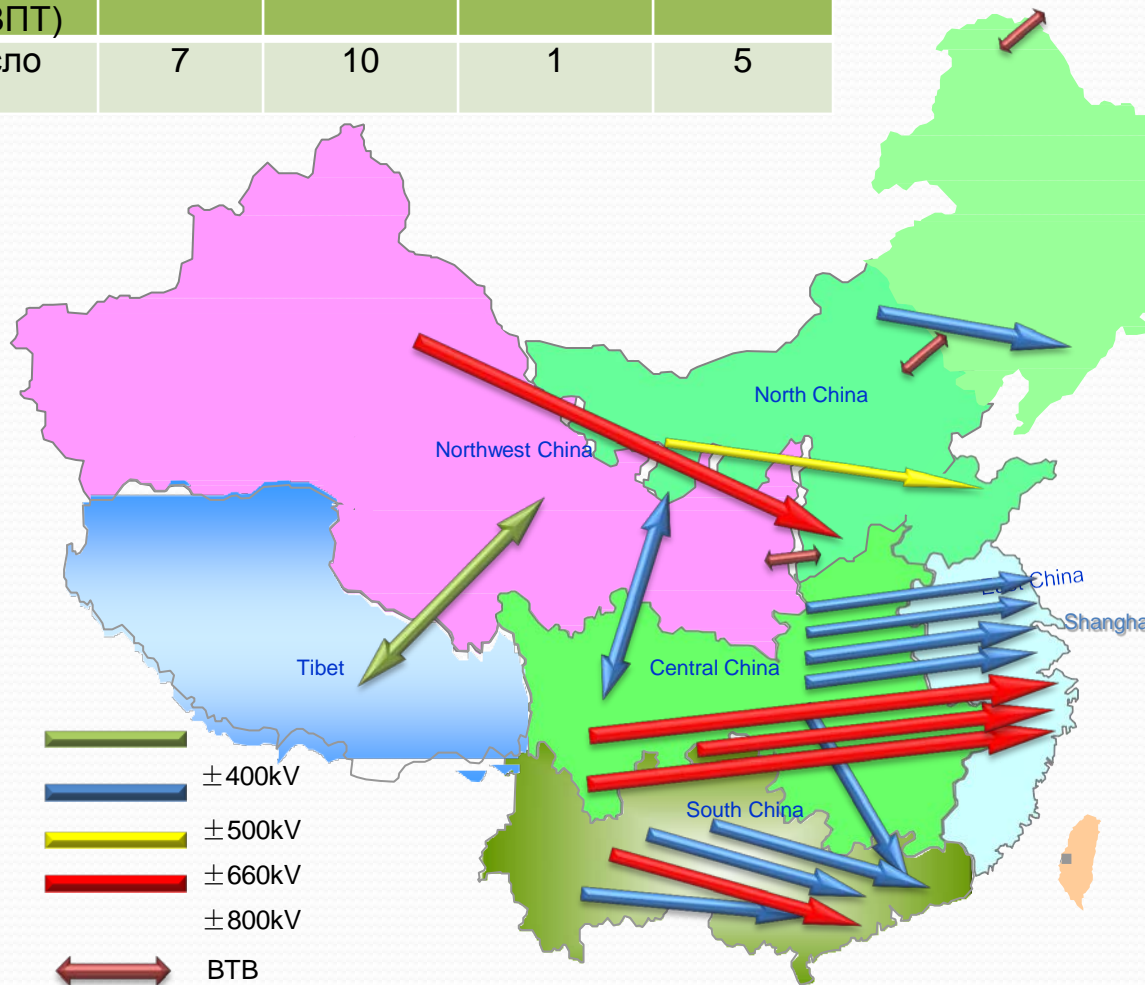
ППТ УВН в Китае

- Мощность ППТ $\pm 800\text{kV}$ около 35 ГВт
- Общая мощность ППТ 70 ГВт

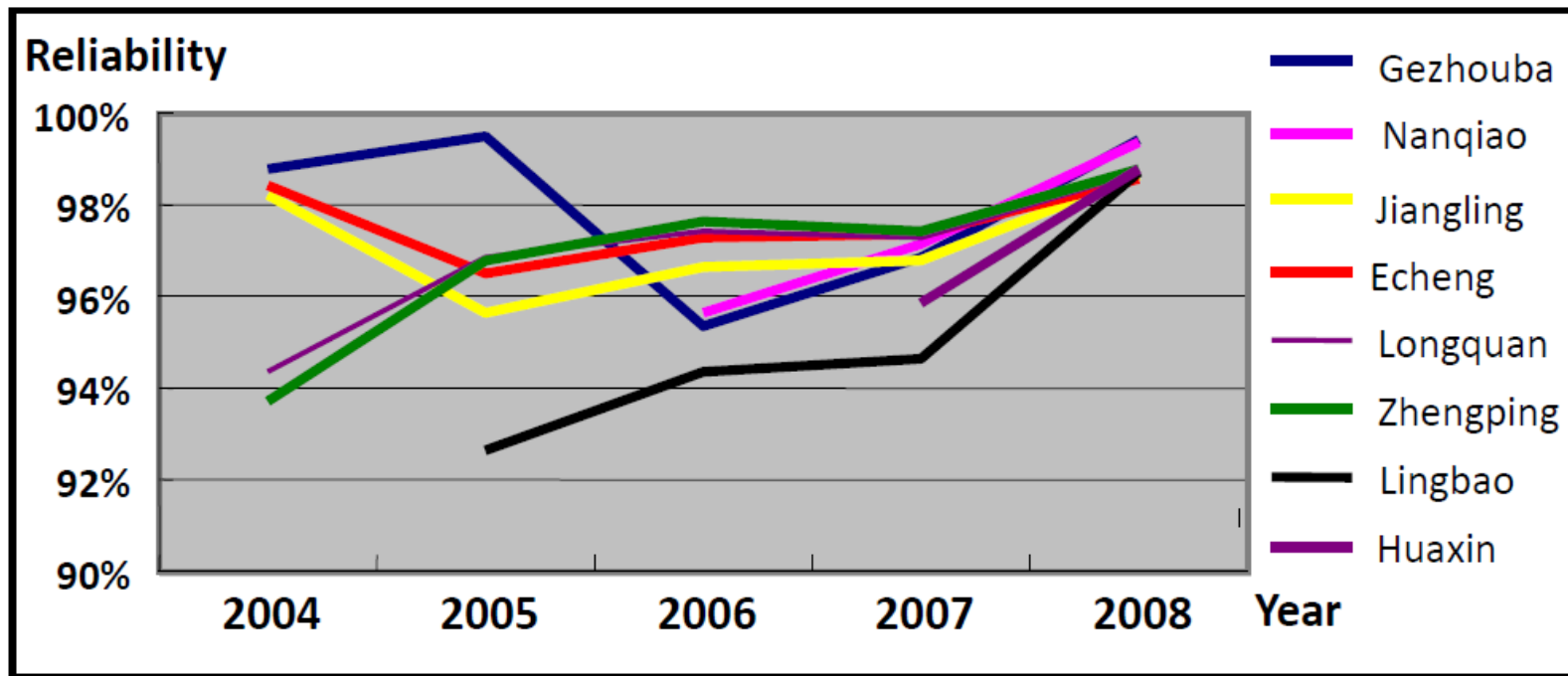
ППТ (ВПТ)	ВТВ	$\pm 500\text{kV}$	$\pm 660\text{kV}$	$\pm 800\text{kV}$
Число	7	10	1	5

800kV projects	Capacity
Yunnan-Guangdong	5000MW
Xiangjiaba-Shanghai	6400MW
Jinping-Sunan	7200MW
Hami-Zhengzhou	8000MW
Xiluo-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 УВН в Китае



Надежность электропередач постоянного тока достигла и стабилизировалась на уровне 99%

ППТ УВН в Китае

Новые и планируемые к вводу ППТ* 2013-2015 гг.

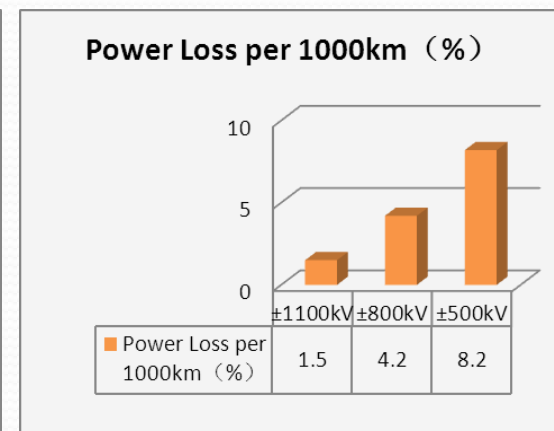
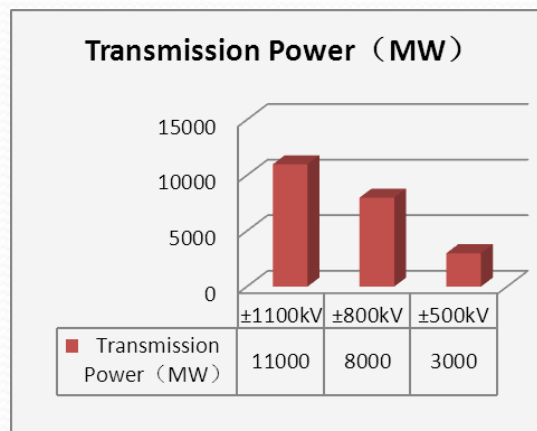
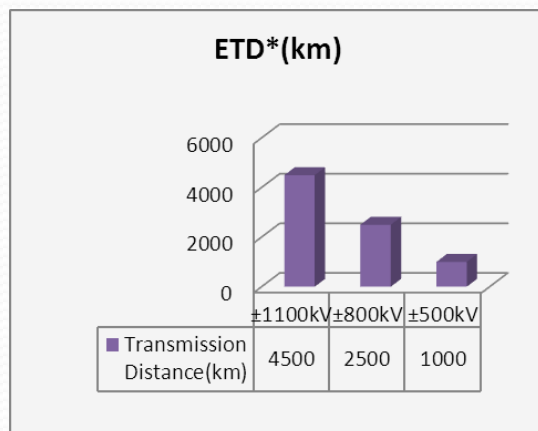
No.	Commercial operation	Project name	Voltage (kV)	Capacity (MW)	Distance (km)
1	2015	Northern Hami-Chongqing	±800	8000	2223
2	2015	Ningdong-Zhejiang	±800	8000	1900
3	2015	Ximeng-Jiangsu (Taizhou)	±800	8000	1690
4	2015	Gansu(Jiuquan)-Hunan	±800	8000	2490
5	2015	Mengxi-Hubei	±800	8000	1400
6	2015	Zhundong-Sichuan	±1100	10000	2600
7	2015	Humeng-Shandong	±800	8000	1600
8	2014	Xiamen island in-feed	±320	1000	Approx. 10 Subsea cable
9	2014	Zhoushan multi-terminal (5)	±200	1000	141 Subsea cable
10	2014	Xiluodu-Zhejiang	±800	8000	1688
11	2014	Southern Hami-Zhengzhou	±800	8000	2200
12	2013	Nan'ao multi-terminal (3)	±160	200	9
13	2013	Nuozhadu-Guangdong	±800	5000	1451
14	2013	Xiluodu-Guangdong	±500	6400	1251
15	—	Dalian city in-feed	±320	1000	47.6 Subsea cable

* Красным цветом выделены ППТ на преобразователях напряжения

Необходимость создания ППТ

УВН ± 1100 кВ

- Гидроресурсы в Тибете в угольные ресурсы в Ксиньянге до 160 ГВт (110 ГВт гидро & 50 гВт угольные ТЭЦ)
- Расстояние от Тибета и Ксиньянга до центров нагрузки превышает 2500 км
- Потери в линии 2500 км составляют 10% на напряжение ± 800 кВ и 4% на напряжение ± 1100 кВ при одинаковом токе (5кА)

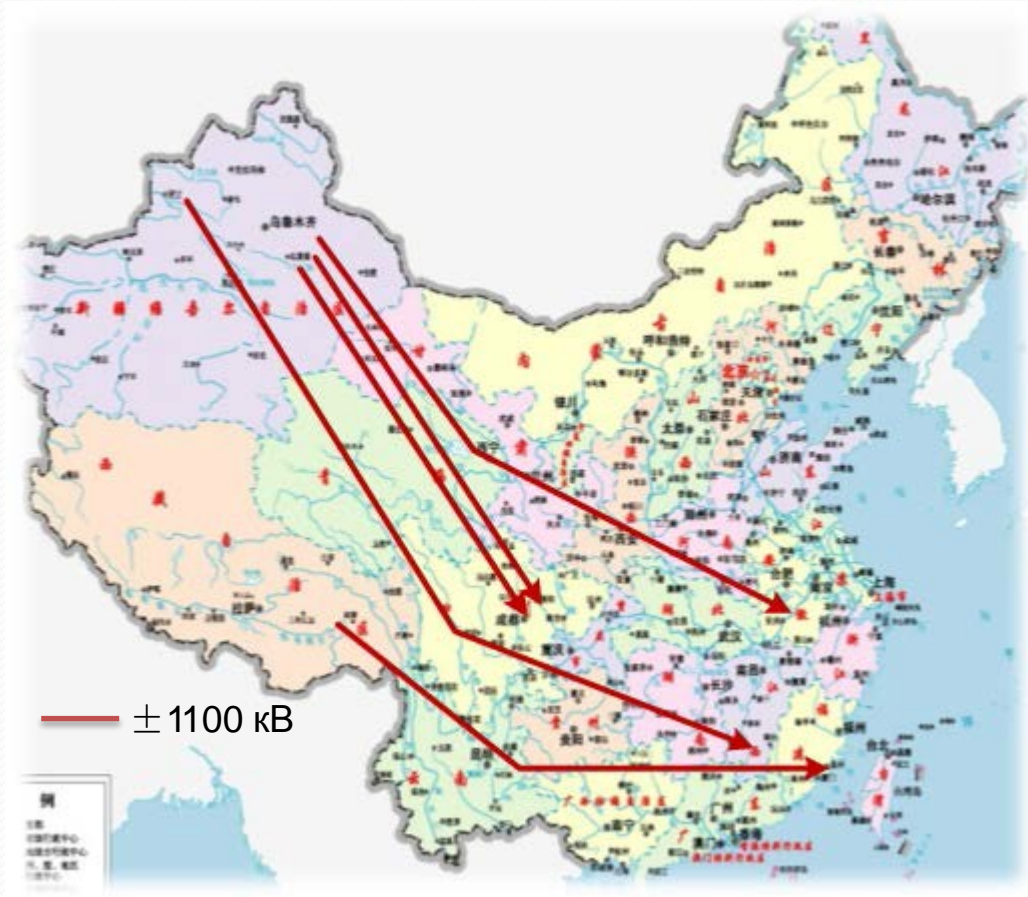


1.ETD*: Economical Transmission Distance

2.Economical Transmission Distance is determined based on 8% line losses

Проекты ППТ ±1100 кВ, намеченные к реализации до 2020 г в Китае

Выпрямительная ПС	Инверторная ПС
ZhunDong	ChengDu
ZhunDong	WanNan
ZhunDong	MianYang
YiLi	GanZhou
Tibet	QuanZhou



Основные параметры ППТ УВН ± 1100 кВ Zhundong Wuhan (ВЛ 3200 км)

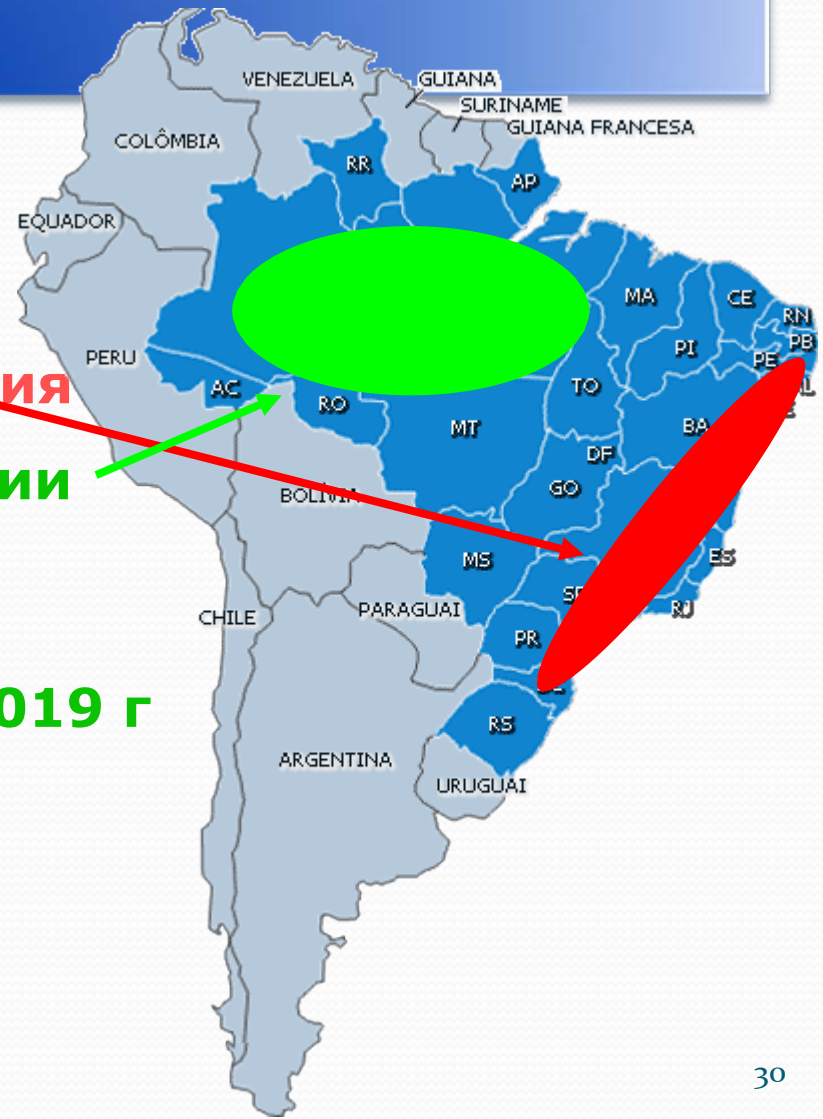
Наименование параметров	Параметры	
	Выпрямитель	Инвертор
Номинальная мощность, МВт	11000	11000
Номинальное напряжение, кВ	1100	1100
Номинальный ток, кА	5	5
Номинальное напряжение сети переменного тока, кВ	750	500
Число 12-пульсных мостов	4	4
Мощность трансформатора, МВА	563,79	539,66
Реактанс трансформатора, %	20	22
Число отпаяк РПН	+28/-6	+25/-5
Напряжение холостого хода на один шестипульсный мост, кВ	319.03	309.21
Угол зажигания/угол погасания, град.	15/17	15/17
Индуктивность сглаживающего реактора в полюсе, мГн	60*2	60*2

ППТ УВН в Бразилии

Проблема: неравномерное распределение генерации и нагрузки по территории страны
Решение: ППТ УВН

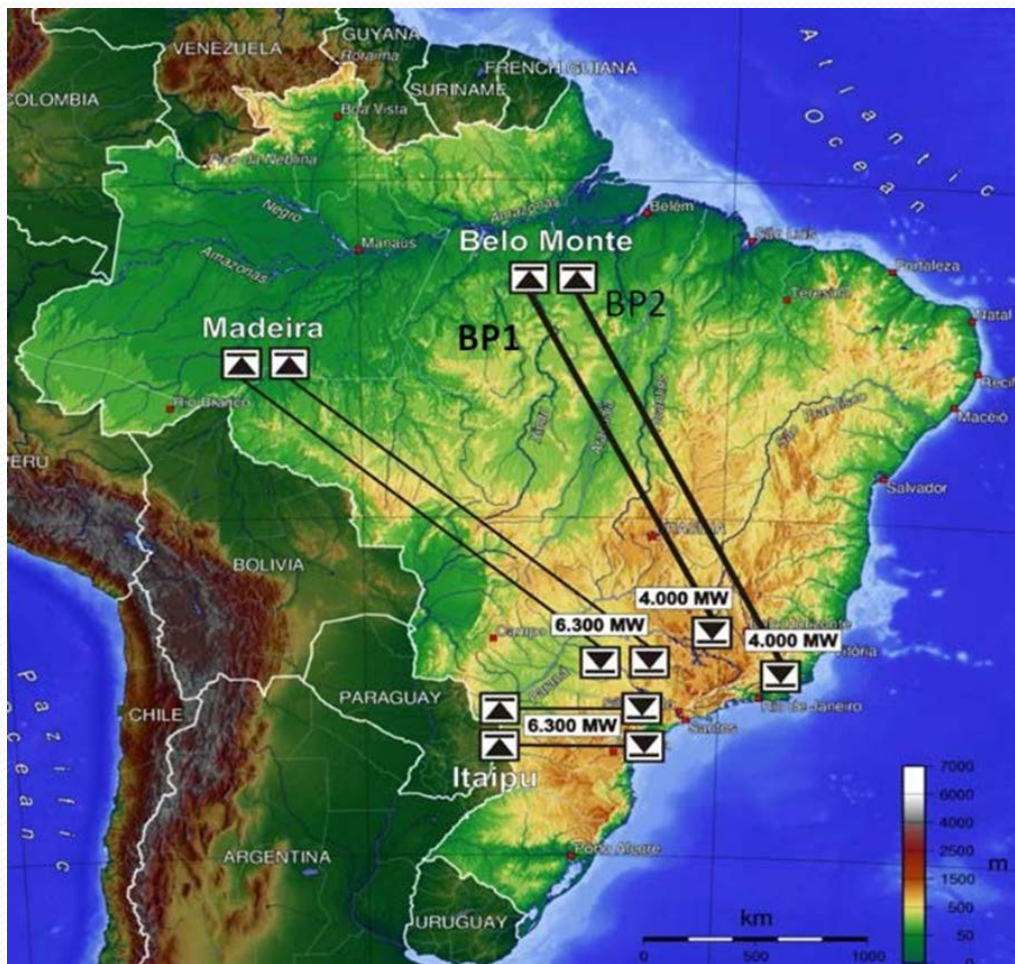
- Центры потребления
- Центры генерации

ГЭС Бело-Монте :
Мощность – 11233 МВт
Строительство с 2010 по 2019 г



ППТ УВН в Бразилии, планируемые к реализации до

2019 г



ППТ Бело Моте

BP1: 4000 МВт / ± 800kV / LCC / 2092 km

Тендер - 2014 г

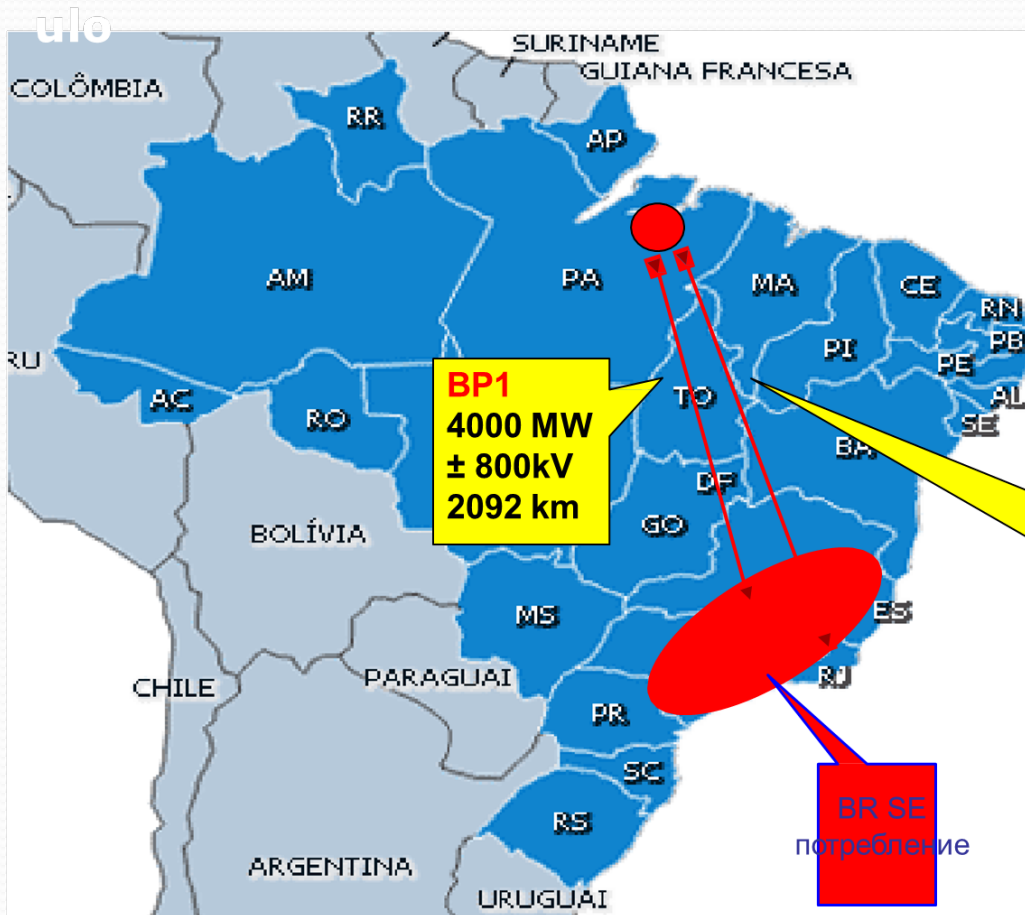
Производители: консорциум китайских и двух бразильских компаний

Окончание строительства 2017 г.

BP2: 4000 Вт / ± 800kV / LCC / 2439 km

Тендер - 2015 г.

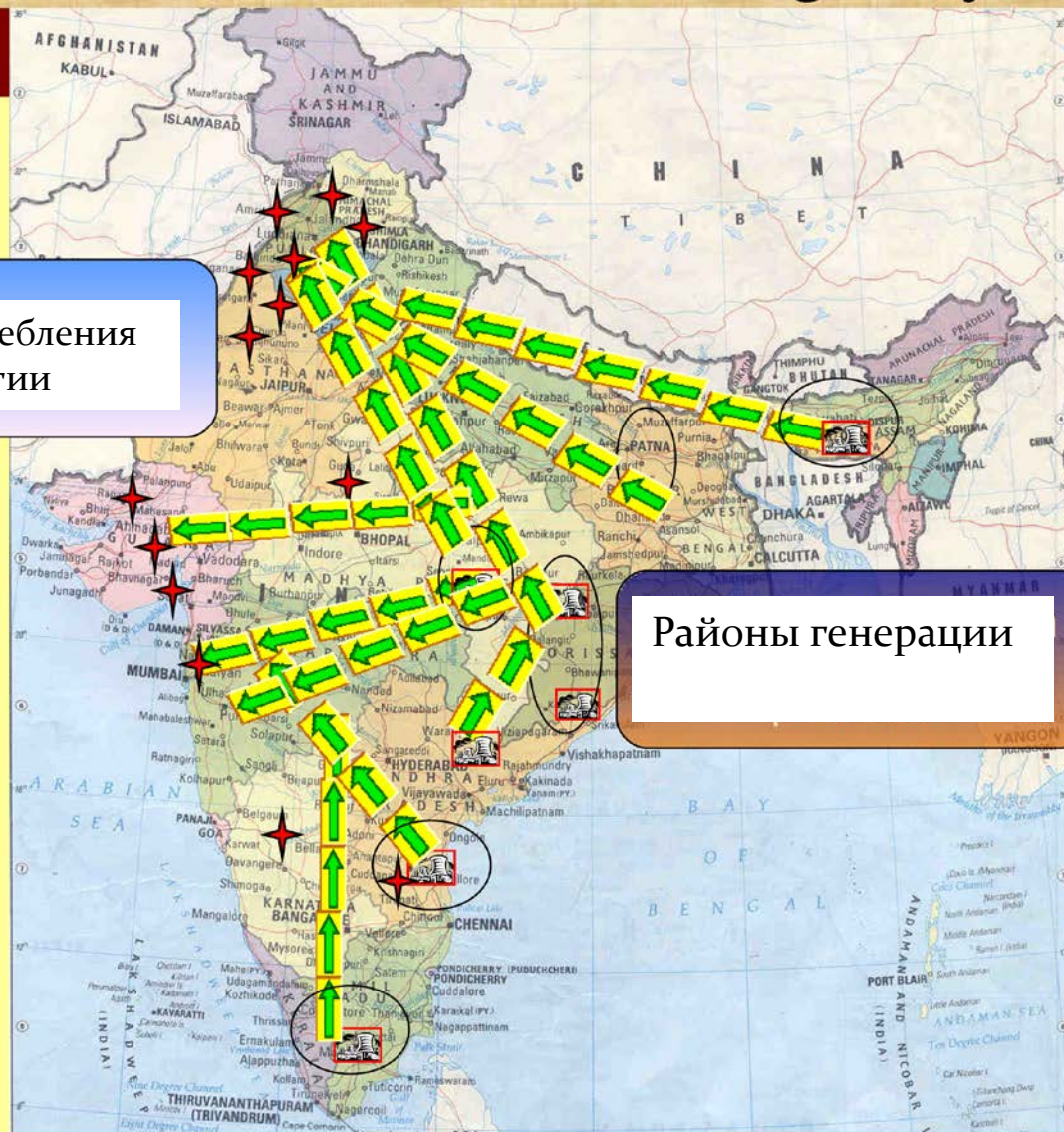
Окончание строительства - 2019 г



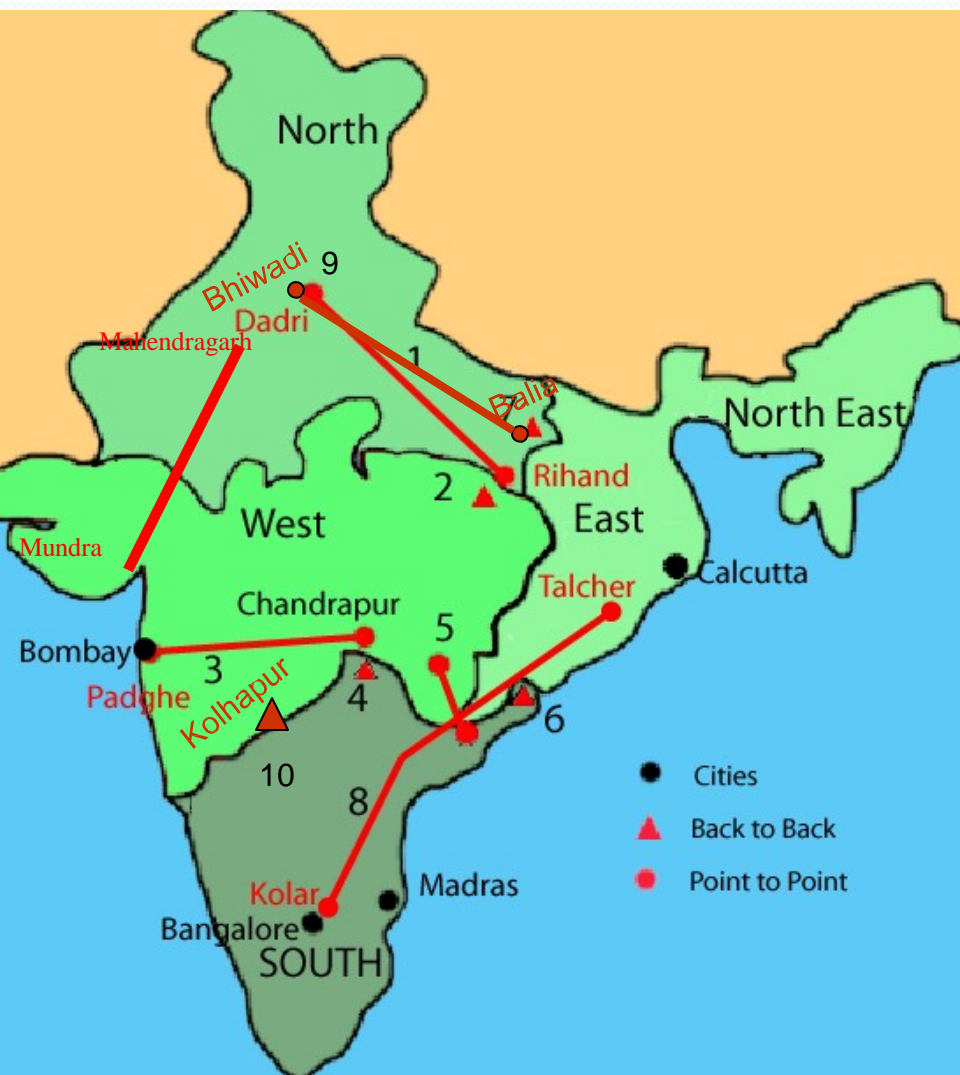
ППТ УВН в Индии

Районы потребления
электроэнергии

Районы генерации

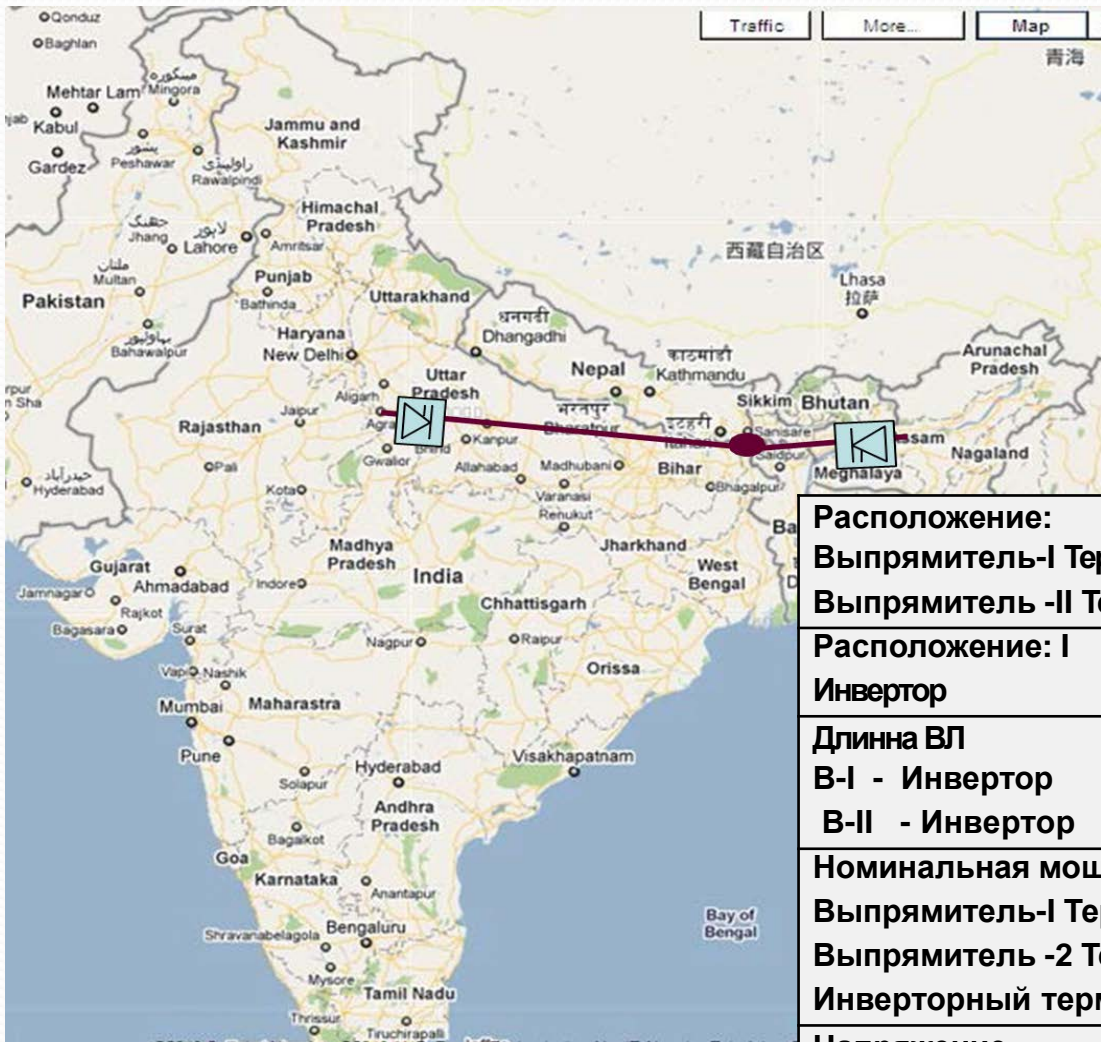


Существующие ППТ и ВПТ в Индии



- 1– Rihand-Dadri (1500MW)
- 2 - Vindyachal (500MW)
- 3 - Chandrapur-Padghe (1500 MW) (MSEB)
- 4- Chandrapur-Ramagundam (1000MW)
- 5 – Gajuwaka 1 & 2(500MW each)
- 6 Sasaram (500MW)
- 7 - Talcher-Kolar (2500MW)
- 8 – Balia – Bhiwadi (2500 MW)
- 9 – Mundra – Mahendragarh (2500MW)

Сооружаемые ППТ В Индии



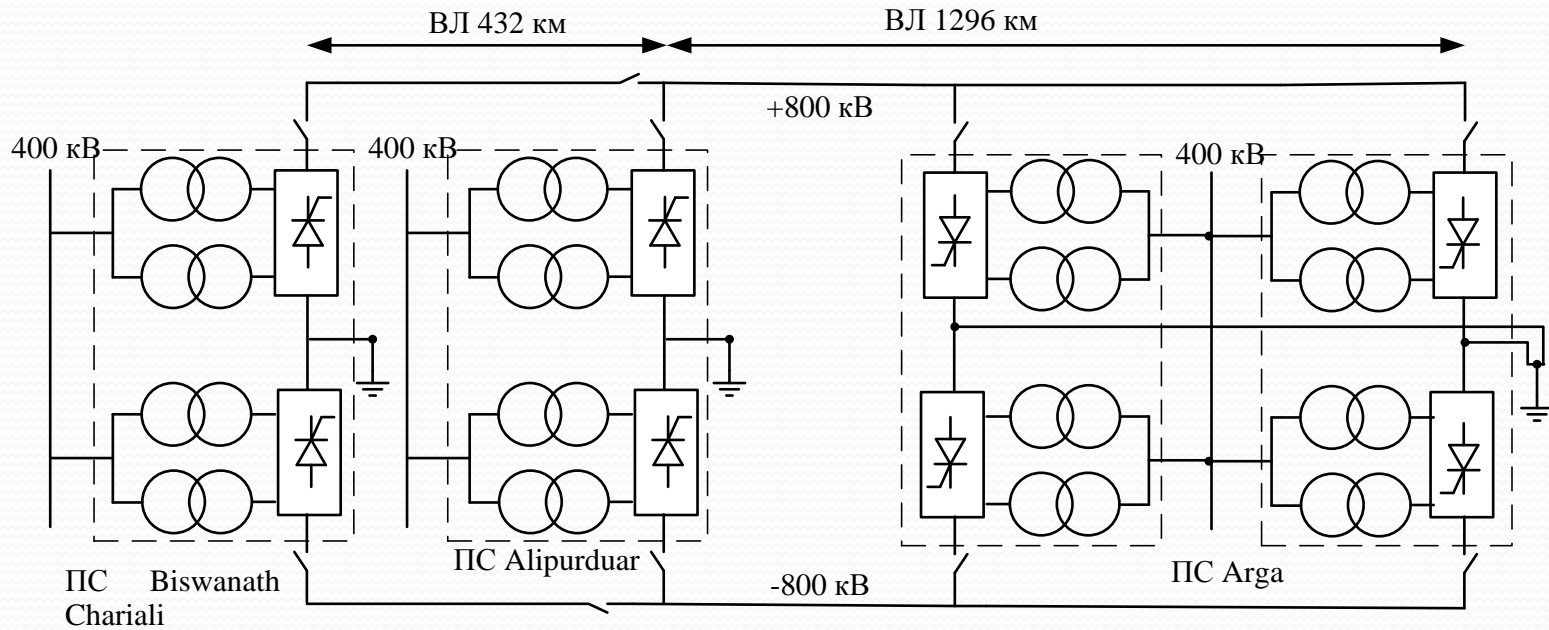
North-East Agra

Расположение:	
Выпрямитель-I Терминал	Biswanath Chairali, Assam
Выпрямитель -II Терминал	Alipurduar, West Bengal
Расположение: I	Agra, Uttar Pradesh
Инвертор	
Длина ВЛ	
В-I - Инвертор	About 1728 Km
В-II - Инвертор	About 1296 Km
Номинальная мощность:	
Выпрямитель-I Терминал	3000 MW
Выпрямитель -2 Терминал	3000 MW
Инверторный терминал	6000 MW (параллельная конфигурация)
Напряжение	± 800kV,
Напряжение примыкающих сетей	400 кВ

Сдача в эксплуатацию

2014-15

Схема ППТ УВН North-East Agra



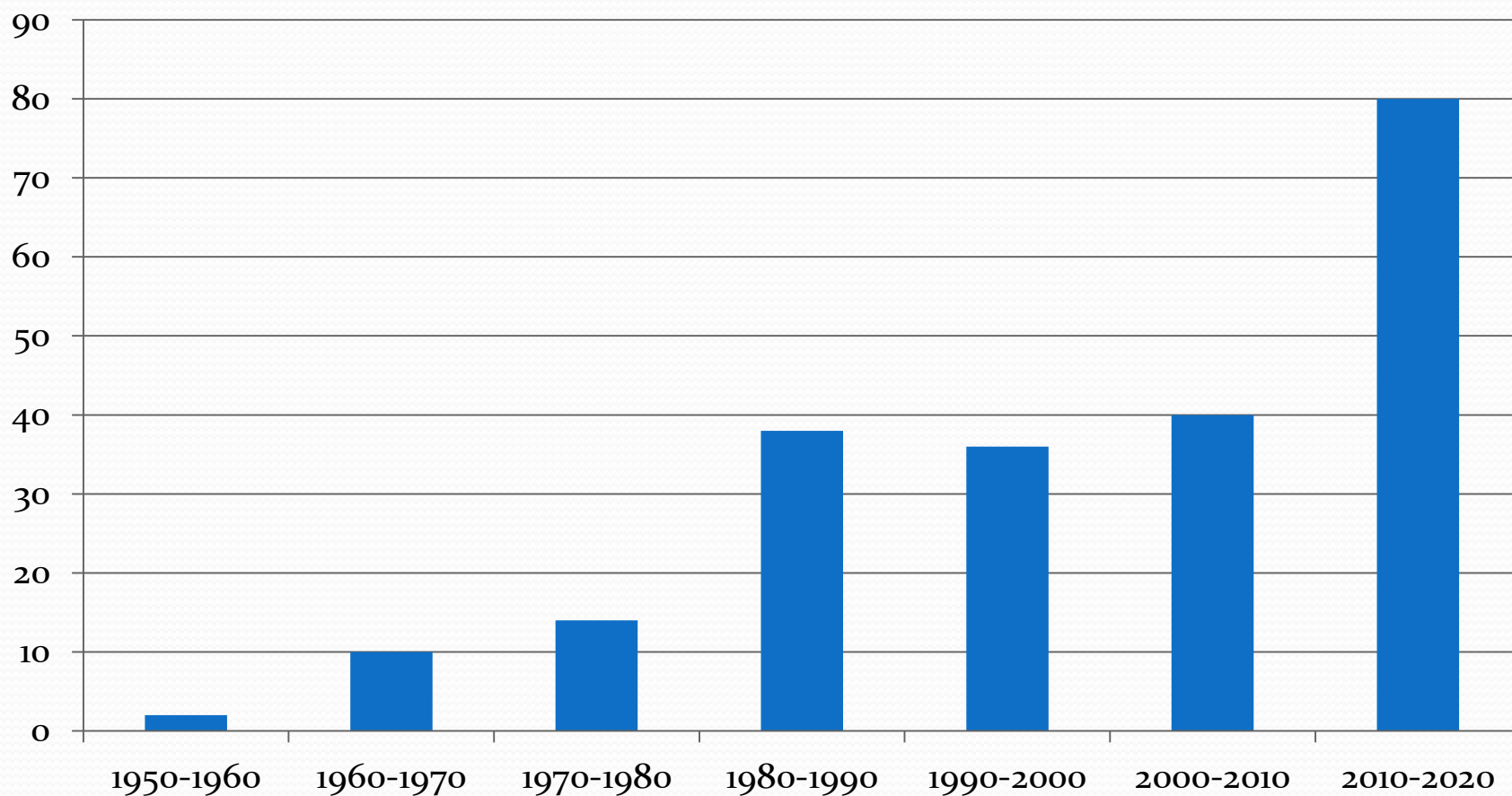
Сооружаемые ППТ В Индии

Champa- Kurukshetra
± 800 KV , 6000 МВт



Расположение:	Champa (Western Part)
Выпрямитель	Kurukshetra (Northern Part)
Расположение :Инвертор	Kurukshetra (Northern Part)
Расстояние	1305 км
Мощность	3000 МВт + 3000 МВт
Напряжение примыкающих сетей	± 800kV
Напряжение примыкающих сетей	400kV AC
Сдача в эксплуатацию	Bipole 1: 2015 Bipole 2: 2017

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



Выводы

- Существует тенденция увеличения количества объектов постоянного тока, внедряемых в энергосистемах различных стран мира
- Развитие технологии передачи электроэнергии постоянным током с помощью преобразователей напряжения
- Создание технической базы для развития сетей ПТ
- Развитие ППТ ультравысокого напряжения в странах с протяженной территорией и значительным удалением районов генерации электроэнергии от районов потребления

Спасибо за внимание