ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Перспективы применения электропередач постоянного тока высокого напряжения в России

Травин Лев Викторович
Всероссийский электротехнический институт (ВЭИ)
филиал РФЯЦ ВНИИТФ
им. акад. Е.Н. Забабахина

III Научно-практическая конференция
«ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И РЕАЛИЗАЦИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРОЕКТОВ»
Москва, 6 декабря 2018 г

Преимущества передач и вставок постоянного тока (ППТВН и ВПТ)

Технические преимущества	• асинхронное соединение систем переменного тока, в том числе и с разными частотами (50 и 60 Гц); • передаваемая мощность и длина ППТВН ограничиваются только параметрами преобразовательного и трансформаторного оборудования • повышенная надежность ППТВН по сравнению с эквивалентной по мощности и напряжению ЛЭП переменного тока; • возможность быстрого регулирования и реверса передаваемой мощности; • возможность ограничения токов короткого замыкания • меньшие потери мощности при транспортировке электроэнергии
Экономические преимущества	• повышенная экономичность по сравнению с эквивалентной воздушной ЛЭП переменного тока при длине ЛЭП свыше 400-700 км; • меньшая стоимость воздушных и кабельных линий ППТВН.

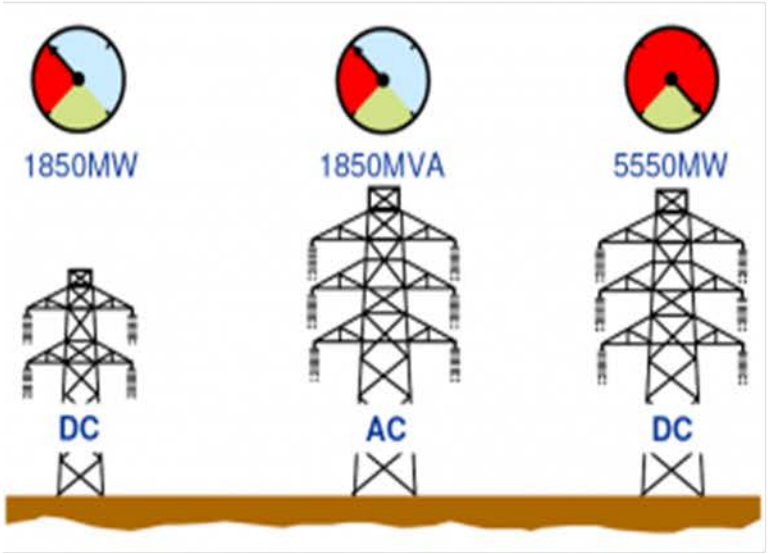
Области предпочтительного применения ППТ и ВПТ

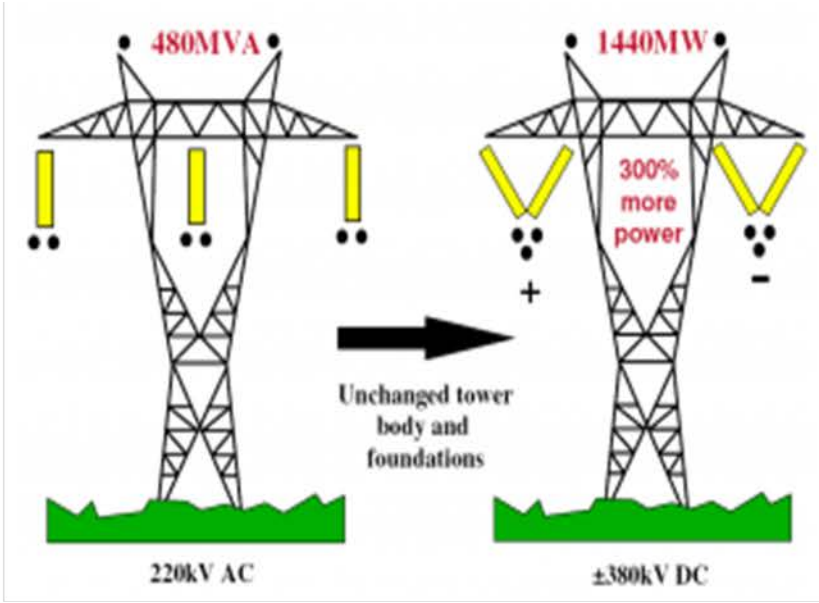
Передачи постоянного тока	• передача больших мощностей на дальние расстояния по воздушным ЛЭП • передача электроэнергии по кабельным линиям длиной свыше 30-50 км, в том числе через водные преграды по подводным кабелям на большие расстояния (свыше 500 км); • глубокие вводы электроэнергии в мегаполисах • подключение генерации на базе возобновляемых источников энергии к существующим электрическим системам • электроснабжение островов и удаленных регионов со слабыми электрическими системами или без собственных источников электроэнергии • сети постоянного тока
Вставки постоянного тока	• межсистемные связи • ограничение токов КЗ в мощных энергосистемах и мегаполисах путем разделения отдельных частей энергосистемы через ВПТ.

Пример размещения оборудования постоянного тока на преобразовательной подстанции ППТВН

Преобразовательная подстанция униполярной ППТВН с тиристорными преобразователями

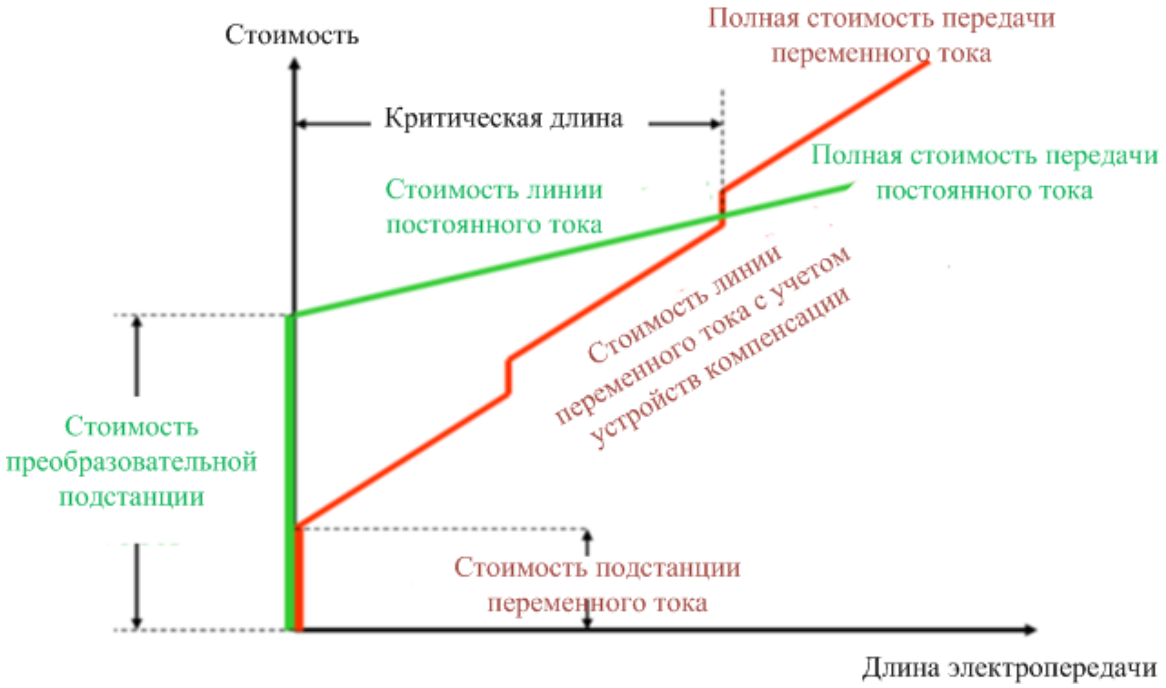
Габариты опор воздушных ЛЭП постоянного и переменного тока





Возможность увеличения передаваемой мощности в 3 раза при использовании тех же опор и фундаментов, что и для ЛЭП переменного тока.

Определение критической длины воздушной ЛЭП ППТВН



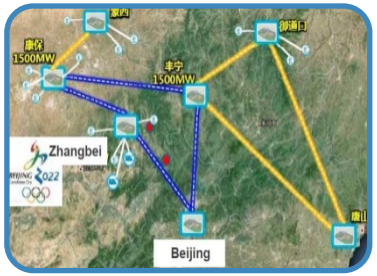
Критическая длина (в условиях умеренного климата):

- воздушные ЛЭП: 400 - 700 км,
- кабельные ЛЭП: 30…50 км.

Основные мировые тенденции развития техники электропередач постоянного тока

Создание дальних магистральных электропередач постоянного тока напряжением ±500 .. ±1100 кВ мощностью до 10-12 ГВт и длиной более 3000 км с **тиристорными преобразователями тока.**

Внедрение электропередач и вставок постоянного тока с **модульными многоуровневыми транзисторными преобразователями напряжения.**



Создание сетей постоянного тока на основе преобразователей напряжения.

Примеры применения ППТ и ВПТ

Китай: дальние магистральные электропередачи постоянного тока:

- в работе: ±400 кВ – 1; ±500 кВ – 10; ±660 кВ – 1; **±800 кВ – 14**; всего – **26**;
- в стадии сооружения (не показаны на схеме): ±800 кВ – 3; ±1100 кВ – 2

Зарубежные конструкции вентилей для ППТВН

Сдвоенные высоковольтные тиристорные вентили подвесного типа для ППТВН ±800 кВ (Китай, 2009 г.)

Оборудование для ППТВН

Однофазный двухобмоточный преобразовательный трансформатор 406 МВА для ЛЭП ±800 кВ

Пример применения линий постоянного тока: передача электроэнергии на дальние расстояния

Китай: воздушная ЛЭП ±800 кВ, передаваемая мощность до 8 ГВт.
(ЛЭП комплектуются проводами 6х720 мм^2, 6х900 мм^2 или 8х1250 мм^2).

Примеры применения линий постоянного тока

Предложение Китая о создании глобальной энергосистемы:

соединение электрических сетей Азии, Европы и Африки с помощью электропередач постоянного тока

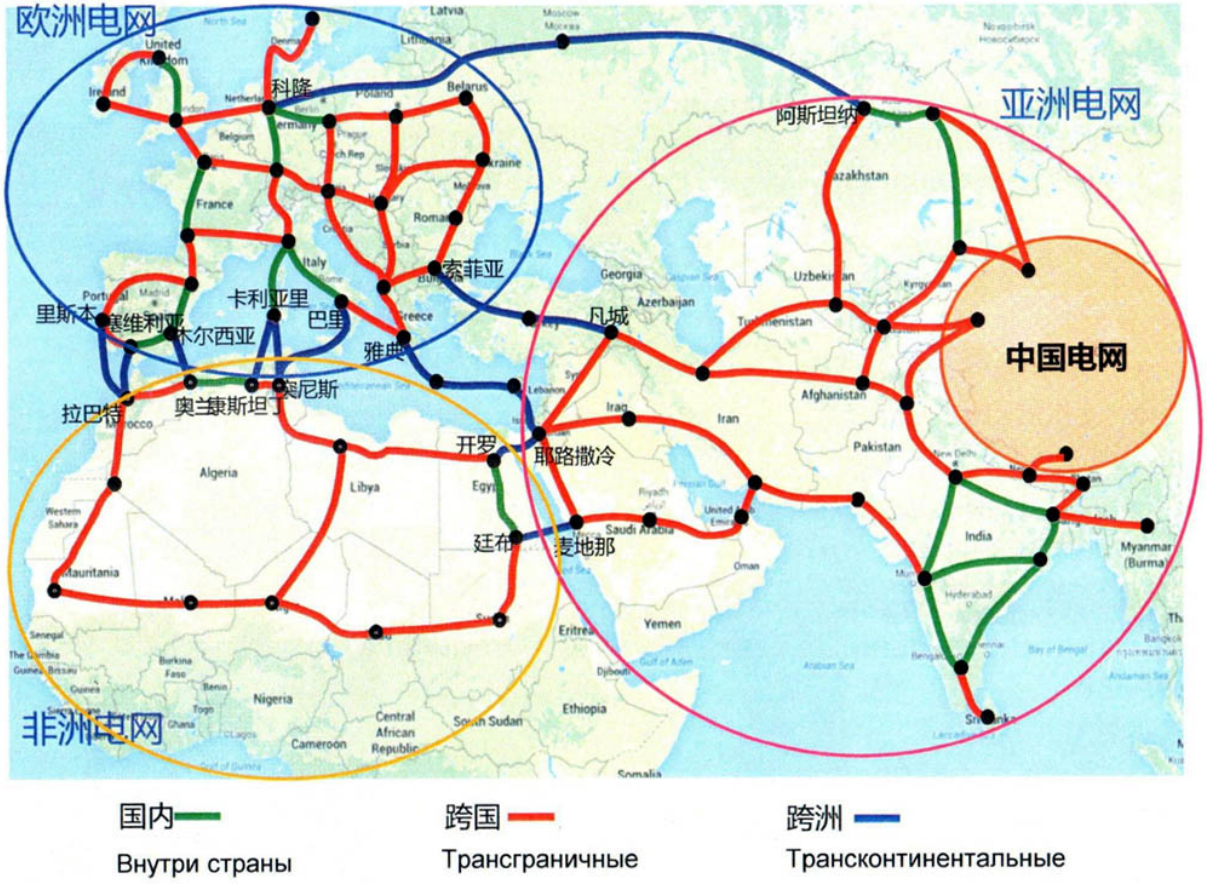
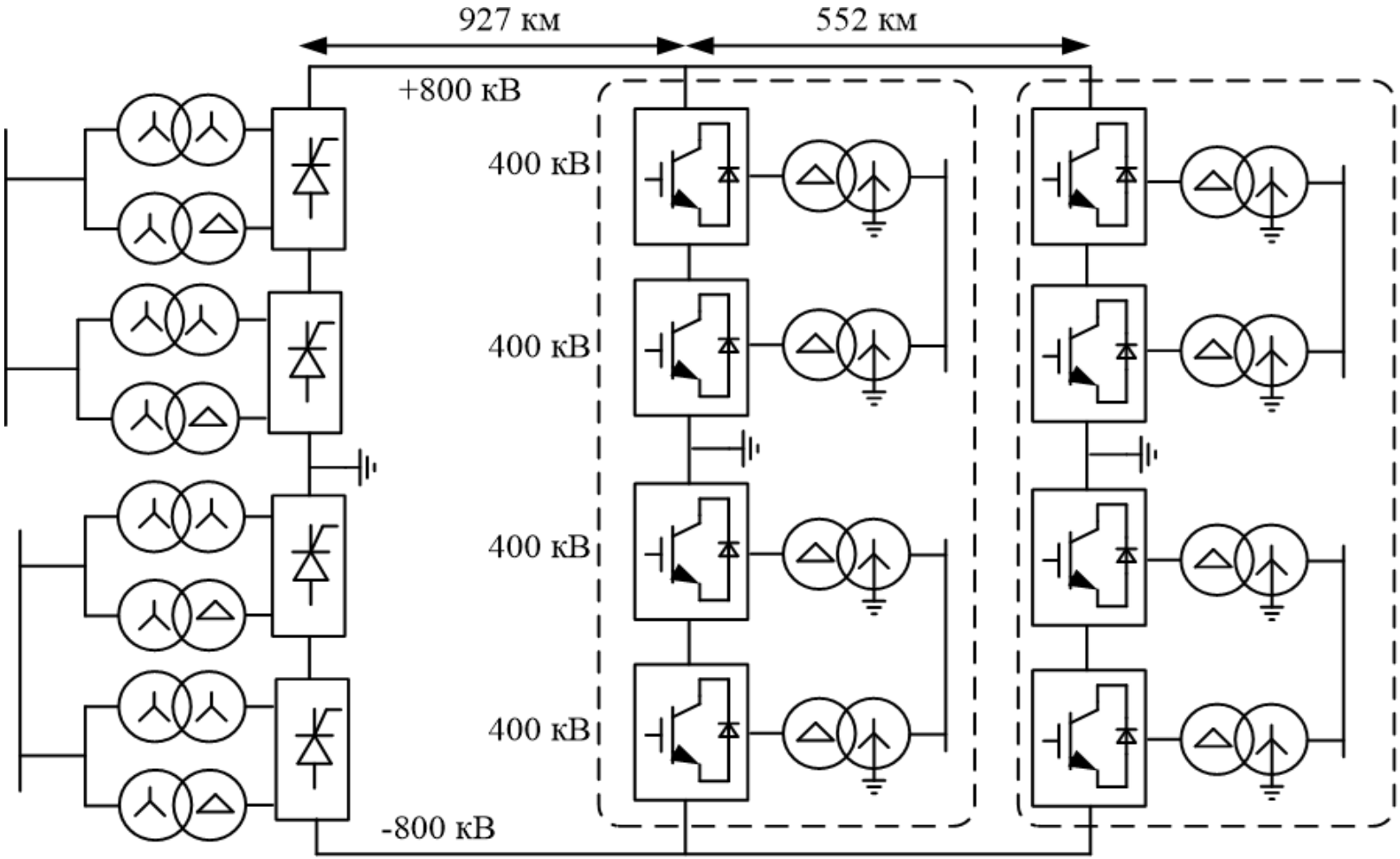


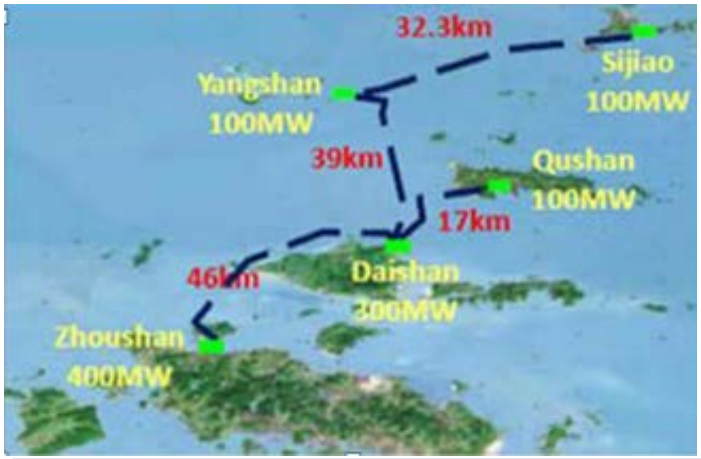
Схема гибридной ЛЭП постоянного тока ±800 кВ, 8000/5000/3000 МВт WuDongDe с тиристорными и транзисторными преобразователями в Китае (2019 г.)



Примеры применения ППТВН и ВПТ

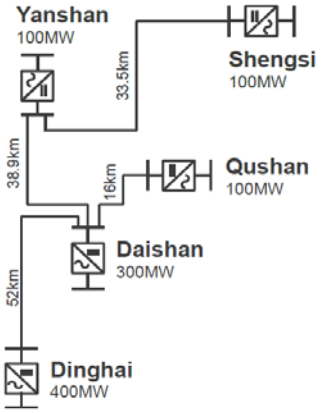
Германия – передача мощности от ветроэнергетических установок к энергосистемам на материке

- BorWin1 – 150 kV 400 MW 2011
- BorWin2 – 300 kV 800 MW 2015
- SylWin1 – 320 kV 864 MW 2015
- HelWin1 – 250 kV 576 MW 2015
- HelWin2 – 320 kV 690 MW 2015
- Dolwin1 – 320kV 800 MW 2013
- Dolwin2 – 320kV 900 MW 2015
- Dolwin3 – 320kV 900 MW ongoing

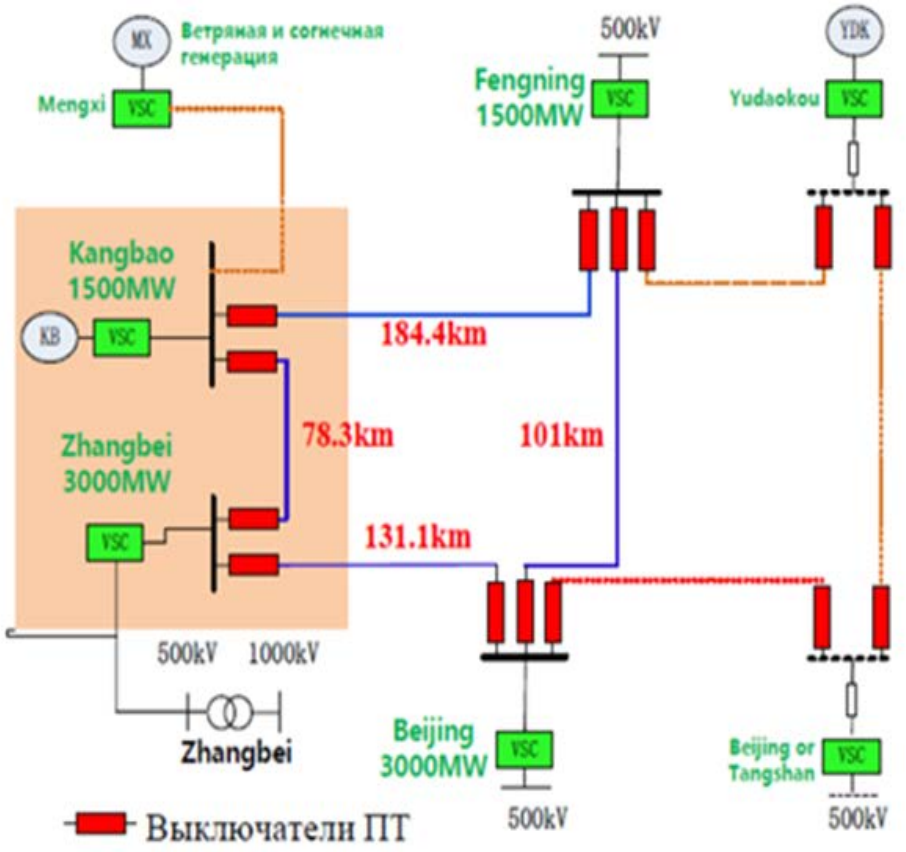


Китай Zhoushan – энергоснабжение островов

- напряжение ±200 кВ
- мощность 400 МВт
- 5 терминалов



Первая в мире сеть постоянного тока ±500 кВ Zhangbei в Китае

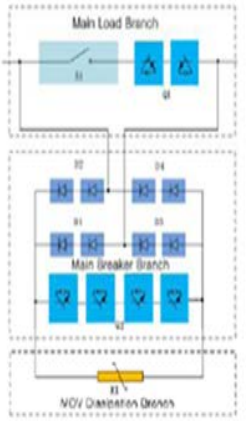


VSC - преобразователи напряжения

(ввод в эксплуатацию 2019/2022 г.)

NR 500 kV DC breaker Prototype

- Diode-IGBT full bridge switch
  二极管全桥开关
- Economical & Reliable
  经济、可靠
- Low loss
  低损耗
- Fast re-closure
  快速重合闸



NR hybrid circuit breaker topology

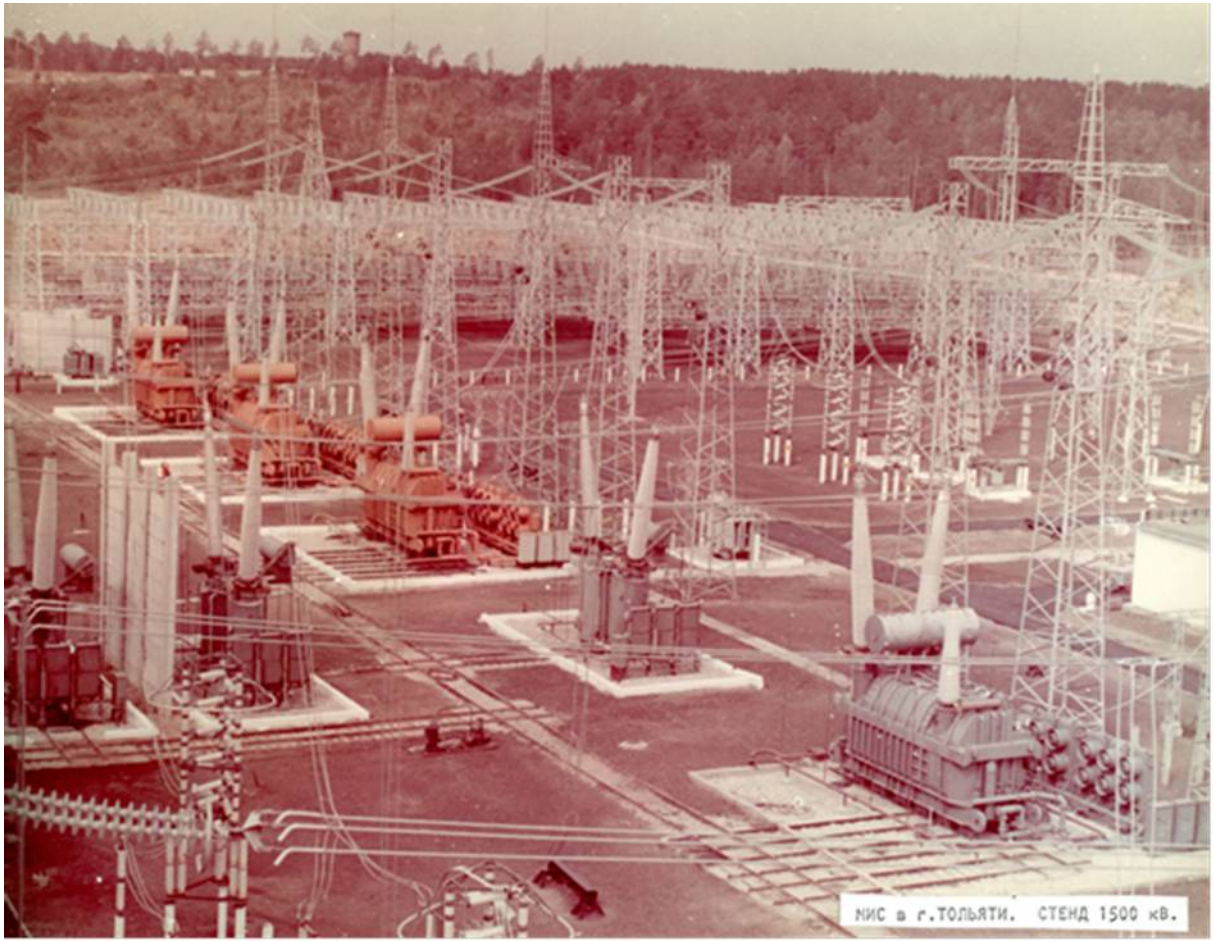
Rated Voltage	535KV
Rated Current	3KA
Breaking Current	25KA
Breaking Time	<3ms

Выключатель постоянного тока 500 кВ

Краткая историческая справка об отечественных проектах ППТ и ВПТ

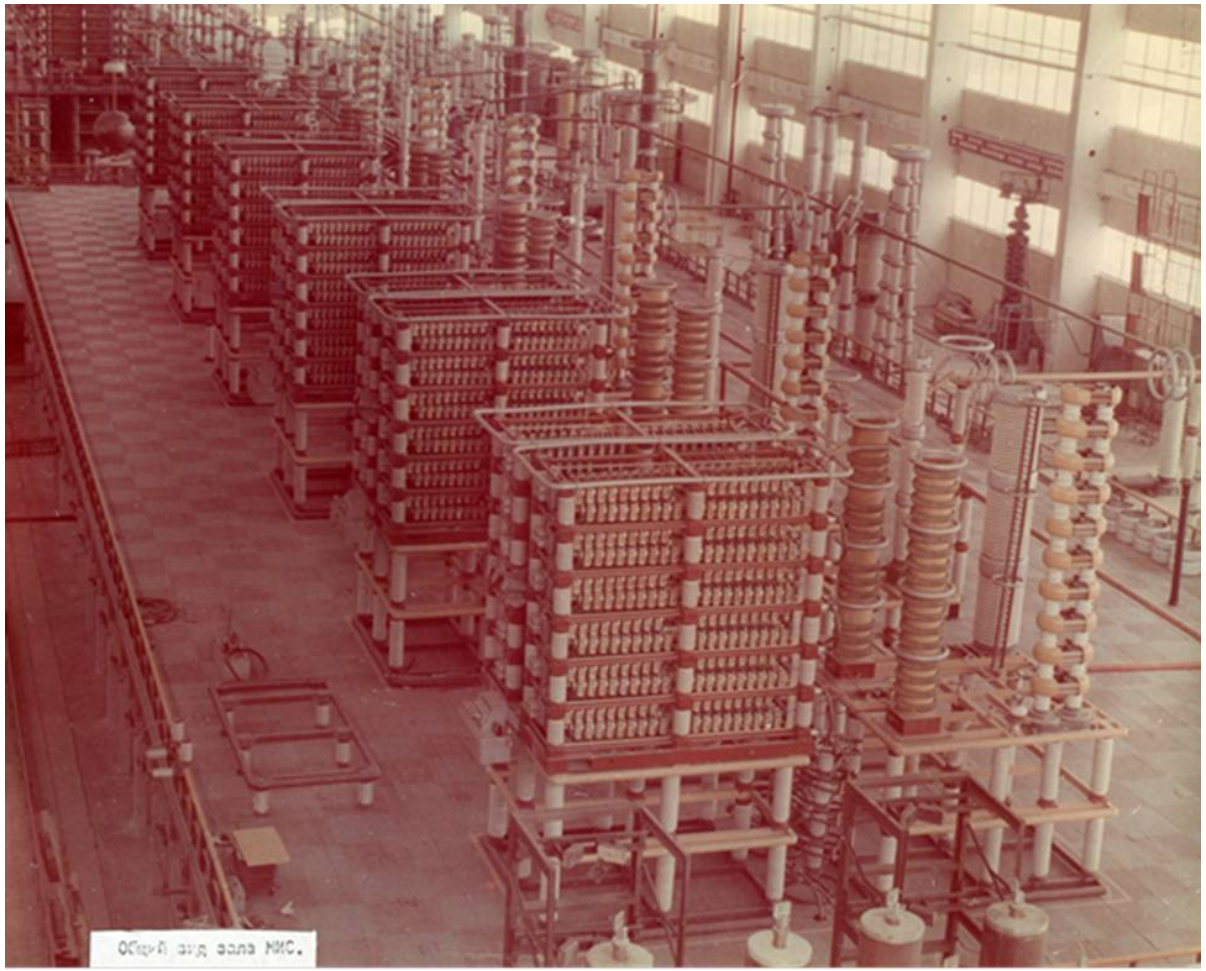
Проект	Краткие сведения	Назначение
ППТ Кашира-Москва	Введена в **1950** г. Кабельная ППТ ±100 кВ, 30 МВт, 120 км	Первая в мире опытно-промышленная ППТ
ППТ Волгоград-Донбасс	Введена в **1962** г. Воздушная ППТ ±400 кВ, 720 МВт, 473 км	Связь двух энергосистем
ППТ Экибастуз-Центр	Не была введена в эксплуатацию (строительство **1987-1990** г.г.) Воздушная ППТ ±750 кВ, 6000 МВт, 2414 км	Передача электроэнергии на большие расстояния. Первый в мире комплекс электрооборудования для ППТ напряжением ±750 кВ
ВПТ Выборгская	Введена в **1981** г., модернизирована в **2002** г. ±85 кВ, 1400 МВт (4х КВПУ по 350 МВт)	Первая в мире ВПТ мощностью свыше 1000 МВт. Несинхронная связь энергосистем СССР (РФ) и Финляндии
ВПТ Могоча	Введена в опытную эксплуатацию в **2016** г. 68 кВ, 200 МВт	Несинхронная связь энергосистем ОЭС Сибири и ОЭС Востока

Советский опыт построения подстанций для линий постоянного тока



ОРУ и силовое оборудование ППТВН ±750 кВ «Экибастуз-Центр» (6000 МВт, 2414 км) на Мощном Испытательном Стенде (г. Тольятти, 1990 г.)

Советский опыт создания оборудования для ППТВН



Вентильный зал Мощного Испытательного стенда (г. Тольятти, 1990 г.)

Современное состояние работ в области ППТВН в России

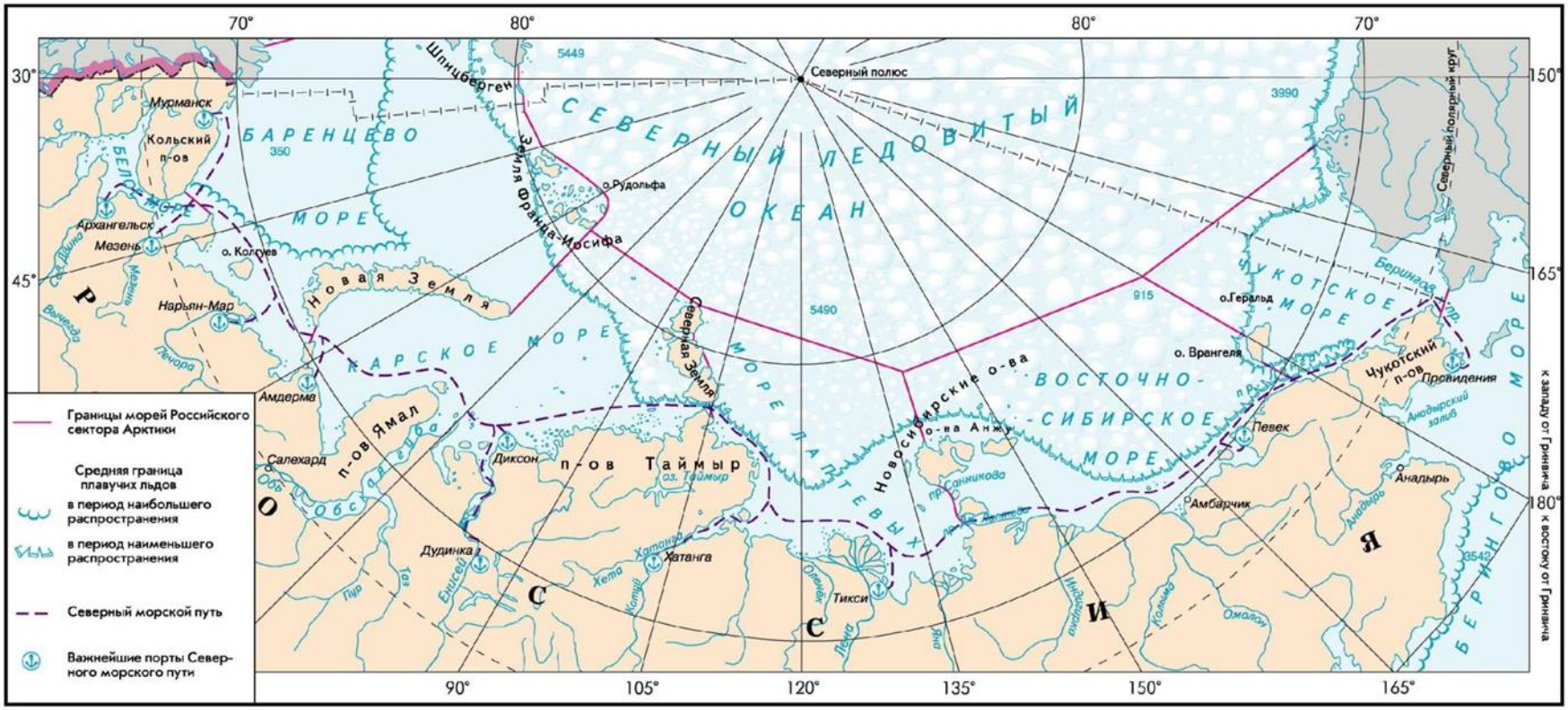
Россия – единственная крупная промышленная страна в мире, в которой **практически не ведутся работы по созданию** электропередач постоянного тока высокого напряжения. После развала Советского Союза передовые позиции страны в мире в областях электроэнергетики, электротехники и силовой электроники были утеряны и до сих пор не восстановлены.

Задачи, решаемые с помощью ППТ и ВПТ	Потребность в РФ
Передача электроэнергии на большие расстояния (магистральные сети ЕНЭС)	**Фактически отсутствует** (развитость сетей переменного тока и сбалансированность ОЭС; избыток генерирующих мощностей; низкий рост промышленного потребления)
Выдача мощности морских ветропарков	**Фактически отсутствует** (нет мощных морских ветропарков)
Несинхронные связи между энергосистемами и странами	**ИМЕЕТСЯ (ОГРАНИЧЕННО)** (планируется развитие ВПТ Выборгская, связей ОЭС Сибири и ОЭС Востока – ПС Могоча и ПС Хани; обсуждаются проекты экспорта энергии в сопредельные государства)
Передача сравнительно небольшой мощности на большие расстояния и через водные преграды (в т. ч. снабжение островов)	**ИМЕЕТСЯ** (развитие удаленных территорий - **Арктика, Дальний Восток, СевМорПуть,** в рамках выполнения Указа Президента России от 7 мая 2018 года №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»)

Проблемы освоения арктической зоны

1. Суровый климат (зимой до минус 60°С), вечная мерзлота.
2. Протяженность (длина береговой линии Арктики 23 300 км, по прямой 5 000 км).
3. Отсутствие централизованного электроснабжения.

МОРЯ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ



Масштаб 1:25 000 000

Стратегическое положение арктического побережья России, полярных островов и шельфа

6% Площади Земли

8 Опорных зон Российского Арктического сектора
3,726 тыс. кв. км
1,6 % населения

43 из 61 разведенных месторождений углеводородов в Российской Арктическом секторе

Доли стран по запасам углеводородов в Арктике

70%	**Россия**
14%	США
8%	Дания
4%	Норвегия
4%	Канада

91% Газовых запасов Арктики в Российском секторе

80% Нефтегазовых ресурсов планеты

Освоение Арктического пояса России – важнейшая задача по развитию материально-сырьевого, экономического и социального сектора, а также укреплению геополитических позиций страны.

Климатические, природные, демографические и экономические условия арктического побережья и островов – влияние на стоимость строительства ППТВН

Условия строительства воздушных ЛЭП	• вечная мерзлота – практически невозможно надежно укрепить опоры воздушной ЛЭП без специальных технических средств • отсутствие дорог – подвоз сотен и тысяч тонн металло-конструкций, изоляторов и других деталей – по воздуху вертолетом или по зимнику • строительство ЛЭП – зимой (метели, сильные ветры, короткий день, низкая производительность, длительные сроки) • стоимости всех материалов и конструкций возрастают в разы за счет стоимости перевозки по морю, разгрузки, хранения, доставки на место монтажа и условий строительства • строительство подстанций – создание инфраструктуры – дороги, жилье, транспорт, отопление, электро- и водоснабжение, подъемные и монтажные механизмы
Преимущества ППТВН	• меньший объем и масса металлоконструкций, изоляторов, проводов и других деталей значительно удешевляют строительство ЛЭП и подстанций • уменьшается критическая длина ЛЭП • кабельная линия может оказаться дешевле воздушной

Современное состояние работ в области ППТВН в России

1. После развала Советского Союза передовые позиции страны в мире в областях электроэнергетики, электротехники и силовой электроники были утеряны и до сих пор не восстановлены.
   - отсутствие спроса на проекты ППТВН и ВПТ (развитость сетей переменного тока и сбалансированность ОЭС; низкий рост промышленного потребления)
   - недооценка технико-экономических преимуществ применения электропередач и вставок постоянного тока в электрических системах России;
   - снижение компетенции исследователей, разработчиков, испытателей в оставшихся НИИ и специалистов на промышленных предприятиях по всей стране в результате постепенного ухода старых кадров и дефициту молодых специалистов в этой области.

2. Для выполнения проектов государственного значения необходима единая мощная кооперация, способная объединить усилия разрозненных действующих исследовательских, конструкторских, проектных организаций и производственных предприятий.
3. В России имеется существенный задел для дальнейшего развития силовой электроники для электрических систем. Объединенные ресурсы российских НИИ и производственных предприятий достаточны для разработки и изготовления комплексов электрооборудования для электропередач и вставок постоянного тока на отечественной элементной базе.

Современное состояние работ в области ППТВН в России

4. ВЭИ – филиал РФЯЦ-ВНИИТФ совместно с АО «РАСУ» проводит работу по объединению предприятий и организаций России, включая предприятия ГК Росатом, в консорциум с целью обеспечения разработки и производства полного комплекса отечественного электротехнического оборудования ППТВН (с последующим его продвижением на отечественном и зарубежных рынках).

5. Необходимо провести НИР и НИОКР по следующим направлениям:

- Разработка методических указаний (МУ) по выполнению технико-экономического обоснования применения ППТ и ВПТ;
- Разработка схемных решений, принципов управления, регулирования и защиты для гибридной ППТВН;
- Исследование возможности использования мощных высоковольтных преобразователей на запираемых тиристорах вместо транзисторных преобразователей напряжения.

6. Проработать совместно с Министерством науки и высшего образования РФ и Министерством промышленности и торговли РФ при участии Минэнерго России вопрос привлечения государственной поддержки в рамках полномочий указанных министерств, для чего направить письмо-обращение в Минэнерго о проведении совместного совещания с указанными ФОИВ.

Спасибо за внимание!