



РОСАТОМ

Расширенное заседание Ученого совета ФГУП ВЭИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

О состоянии разработок в области электропередач постоянного тока

Докладчик: С.И. Гусев, ФГУП ВЭИ

Дата – 17 декабря 2015 г.

Передачи и вставки постоянного тока - частный аспект создания оборудования активно-адаптивных сетей



Техника статических преобразователей электрической энергии достигла уровня, обеспечивающего широкое применение в электроэнергетике, как полноценное средство трансформации форм электрической энергии.

Передачи и вставки постоянного тока перестали быть проблемой, требующей привлечения специализированных НИИ.

Технологическая основа создания устройств типа СТАТКОМ, активных фильтров, мощных тиристорных выпрямителей едина и стала практически общедоступной для специалистов и понятной для реализации.

Сегодня возможностями для реализации проектов ППТ и устройств FACTS располагают как крупные НИИ, так и малые предприятия: ПАО «НТЦ ФСК ЕЭС», ФГУП ВЭИ, ОАО «ЭНИН», ОАО «ЭЛЕКТРОВЫПРЯМИТЕЛЬ», ООО «Айдис-групп», ООО «Энерком-сервис», ООО «НПП ЛМ Инвертор», НПЦ «САЙРУС ЭНЕРГО»,

Высказывания, бытующие в энергетических компаниях о том, что в России нет специалистов и предприятий, способных создавать оборудование для передач и вставок постоянного тока не соответствуют действительности! Вопрос только в целесообразности и эффективности их создания (длинные ВЛ и КЛ, специфические применения, например для токоограничения).

Передачи и вставки постоянного тока - частный аспект создания оборудования активно-адаптивных сетей



Примеры:

Практические разработки:

- ✓ НТЦ ФСК, Энерком-сервис – СТАТКОМ 50 МВт, 15 кВ;
- ✓ НТЦ ФСК, Айдис-групп - КВПУ для ППТ 20 кВ, 50 МВт со сверхпроводящим кабелем;
- ✓ НТЦ ФСК, Энерком-сервис, НПЦ «САЙРУС ЭНЕРГО» - вставка постоянного тока 200 МВт на ПС Могоча.
- ✓ ФГУП ВЭИ, Электровыпрямитель, ЛМ Инвертор – активный фильтр высших гармоник мощностью 16 Мвар для ПС Выборгская;
- ✓ ОАО «Электровыпрямитель, ЛМ Инвертор – комплект из 6-и тиристорных выпрямителей для плавки гололеда мощностью 132 МВт с единой цифровой системой управления.
- ✓ ОАО «ЭНИН», Электровыпрямитель – фазоповоротное устройство 220 кВ с тиристорным коммутатором.
- ✓ Энерком-сервис, Айдис-групп, НИДЕК – статические тиристорные компенсаторы.

Теоретические:

- ФГУП ВЭИ - Разработка технических предложений по реконструкции Выборгского преобразовательного комплекса на основе инновационных схемно-технических решений;
- ФГУП ВЭИ - Разработка базовых технологий и комплектного высоковольтного преобразовательного оборудования для линий передач и вставок постоянного тока на основе нового поколения полупроводниковых приборов .

Номинальные параметры КВПУ

Номинальное напряжение полюсов	± 300 кВ
Номинальная мощность	500 МВт
Номинальное напряжение сетей переменного напряжения	
на ЛАЭС-2	330 кВ
на ПС «Выборгская», в сторону Финляндии	400 кВ
на ПС «Выборгская», в сторону ЛО	330 кВ
Диапазон регулирования передаваемой мощности	100 - 500 МВт
Генерация и регулирование реактивной мощности на сетевых выходах ВПУ	317 – 669 Мвар.

Технические предложения по реконструкции Выборгского преобразовательного комплекса

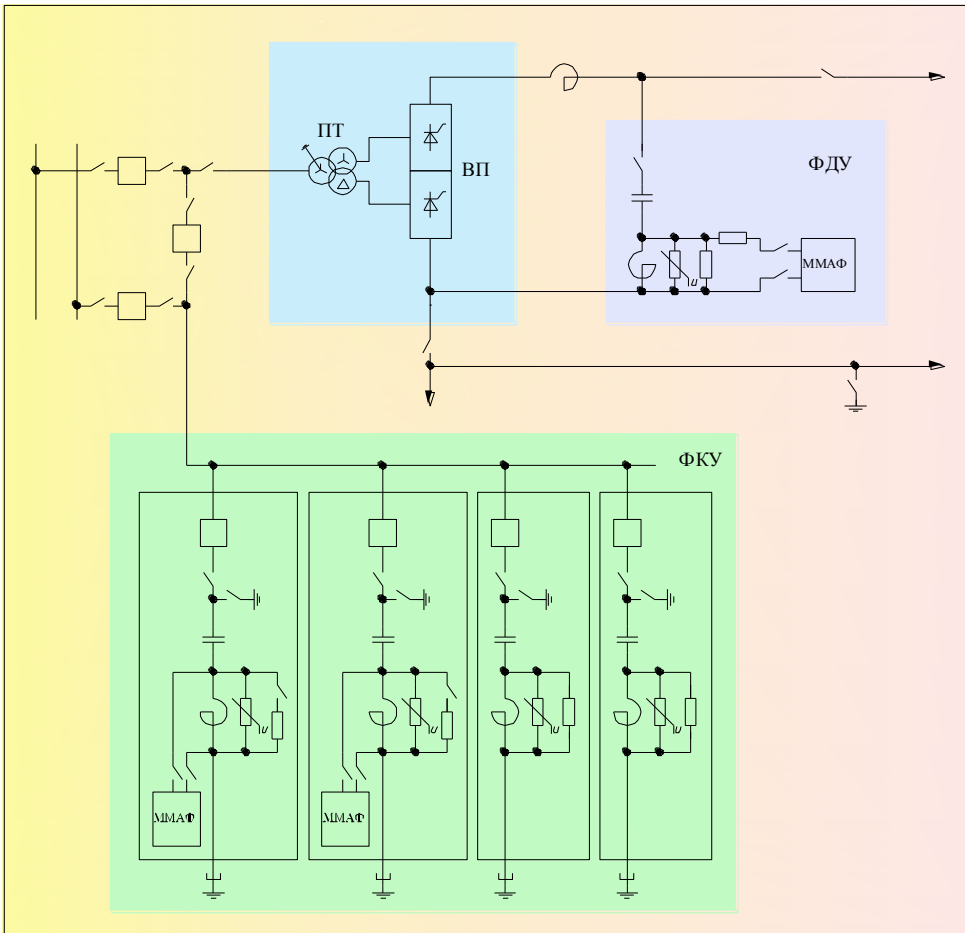


РОСАТОМ

Схема полюса HVDC

Подготовлены техническое предложение по основным видам оборудования:

- Преобразовательным трансформаторам;
- Сглаживающим реакторам;
- Вентилем (на фототиристорах ТФ 183-2000);
- Фильтро-компенсирующим конденсаторным батареям;
- СУРЗА.



УПРАВЛЕНИЕ ПОДСТАНЦИЙ <i>Система переменного напряжения (AC)</i>	УПРАВЛЕНИЕ ПОДСТАНЦИЙ <i>Система постоянного напряжения (DC)</i>	УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЮСОМ <i>Фильтро- компенсирующее устройство (AC)</i>	УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЮСОМ <i>Вентильный преобразователь (AC/DC)</i>
--	--	---	--

Тиристор ТФ183-2000

Тиристор ТФ183-2000 разработан ВЭИ и ОАО «Электровыпрямитель». ТФ 183-2000 является полупроводниковым прибором нового типа – включаемый светом тиристор (light triggered thyristor LTT).

Отличительные особенности:

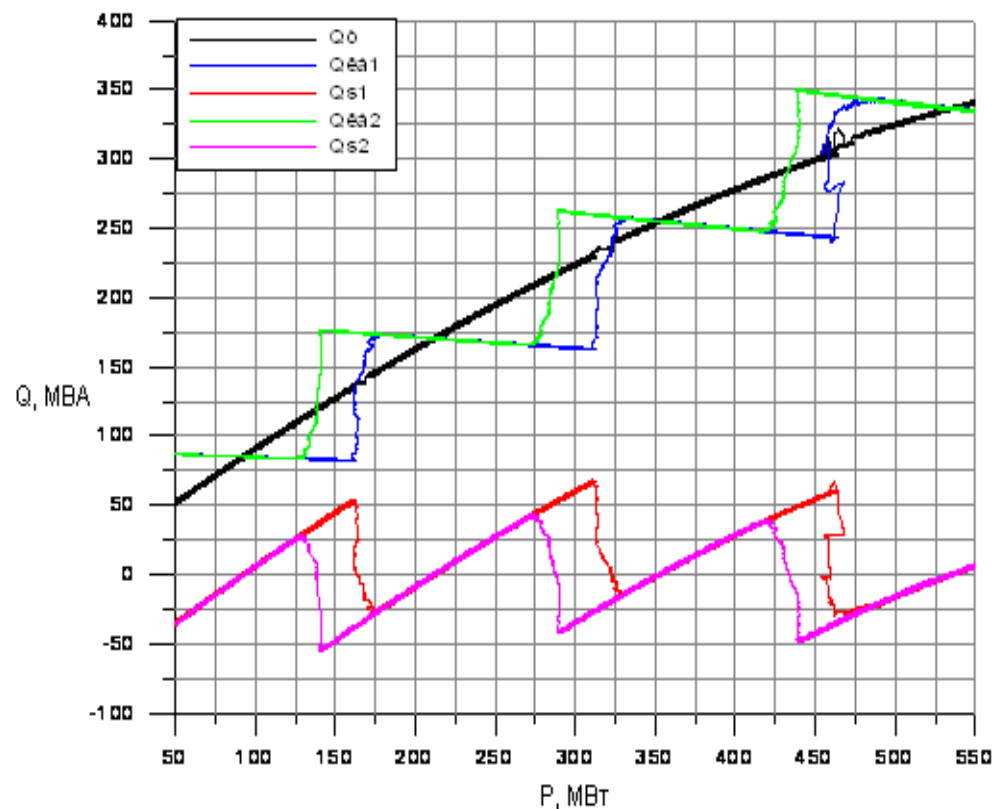
- Прямое оптическое включение через оптоволоконно. :
- Встроенное защитное включение при превышении уровня прямого напряжения;
- Внутренняя защита от повторного включения вследствие неполного восстановления.

Модуль тиристорного вентиля 12 кВ, 2500 А



Способ регулирования реактивной мощности

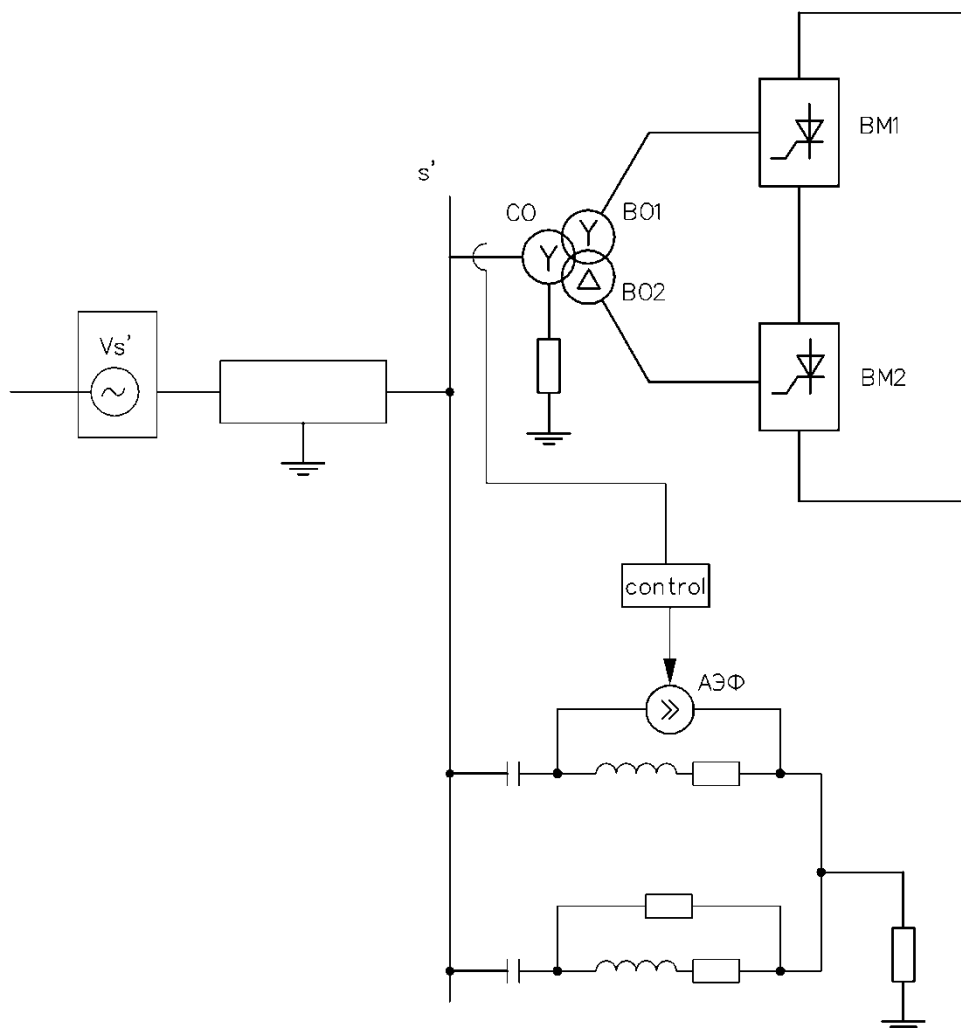
- Основа – синхронизированные переключения конденсаторных батарей мощностью 83 MVAR;
- Плавная подстройка углов включения вентиля и РПН.



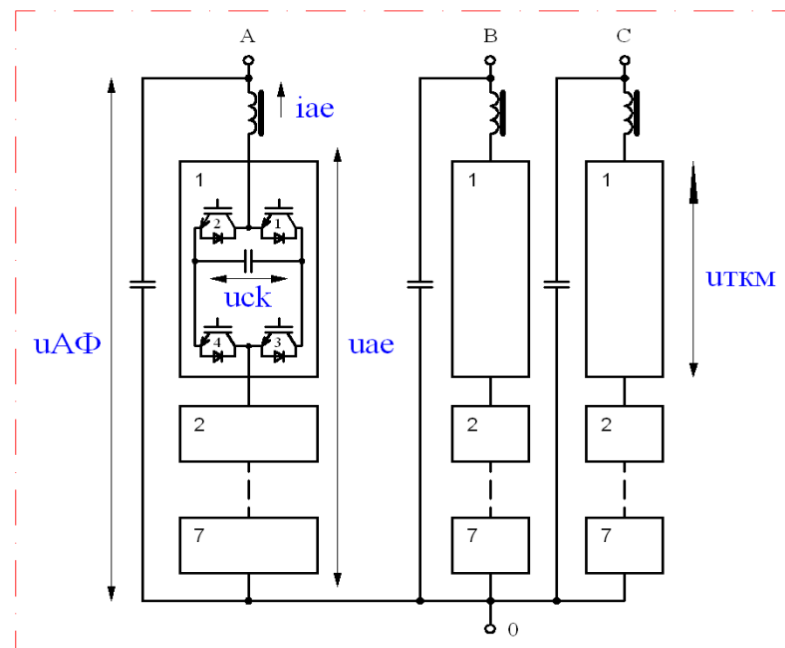
Активная фильтрация



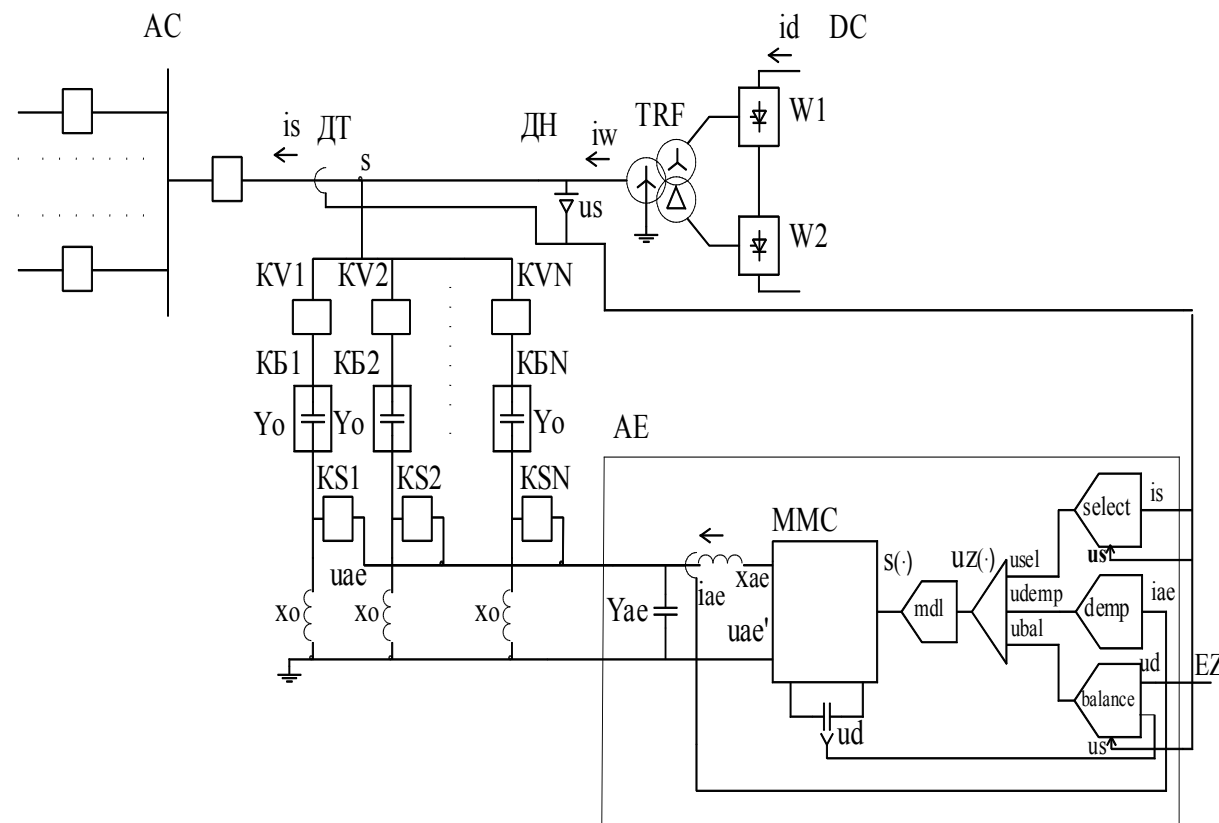
POCATOM



Активный элемент на основе модульного многоуровневого преобразователя напряжения

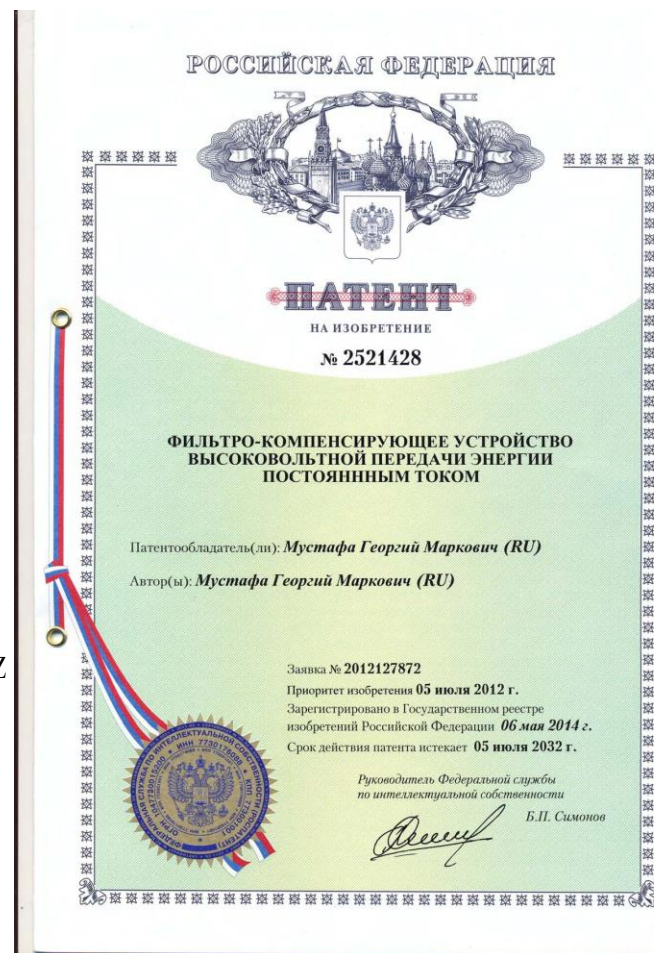


Однородное фильтрокомпенсирующее устройство с активным элементом



Достигается решение двойственной задачи:

- фильтрация;
- подстройка реактивной мощности.



Разработка базовых технологий и комплектного высоковольтного преобразовательного оборудования для линий передач и вставок постоянного тока (ФОТОН-2)

Фототиристор ТФ193-2500 с самозащитой от пробоя в период восстановления запирающих свойств.

Тиристорный модуль на испытательном стенде

№	Наименование параметра	Значение
1.	Напряжение переключения, U_{B0} , В	7000-8000
2.	Повторяющееся импульсное обратное напряжение, U_{RRM} , В	7500-8500
3.	Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии, I_{TAV} , А,	2000-2500
4.	Ударный ток в открытом состоянии, I_{TSM} , кА, не менее	55
5.	Оптическая мощность управления, P_{LM} , мВт, не более	35
6.	Критическая скорость нарастания тока в открытом состоянии $(di_T/dt)_{crit}$, А/мкс, не менее	300
7.	Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии $(dU_D/dt)_{crit}$, В/мкс, не менее	2000
8.	Время выключения, t_q , мкс, не более	630
9.	Заряд обратного восстановления, мкКл, при скорости спада тока $di/dt = -5A/мкс$, не более	6000
10.	Диапазон температур перехода, T_j , °С	-40 ÷ +120



Опытный образец активного фильтра высших гармоник для КВПУ ПС 400 кВ Выборгская



По договору с ОАО «ФСК ЕЭС» ФГУП ВЭИ разработан, изготовлен и испытан на ОАО «Электровыпрямитель» многомодульный активный фильтр ММАФ-16к-600 для ПС 330/400 кВ Выборгская.

Номинальные параметры активного фильтра

- напряжение 15,75 кВ
- Мощность 16,0 Мвар
- полоса частот активного подавления высших гармоник от 3-й до 25-й
- погрешность селективного подавления канонических гармоник, не более 0,5 %
- мощность потерь АФВГ 16 кВт (1,35%)



Силовая часть

Шкаф управления



СУРЗА



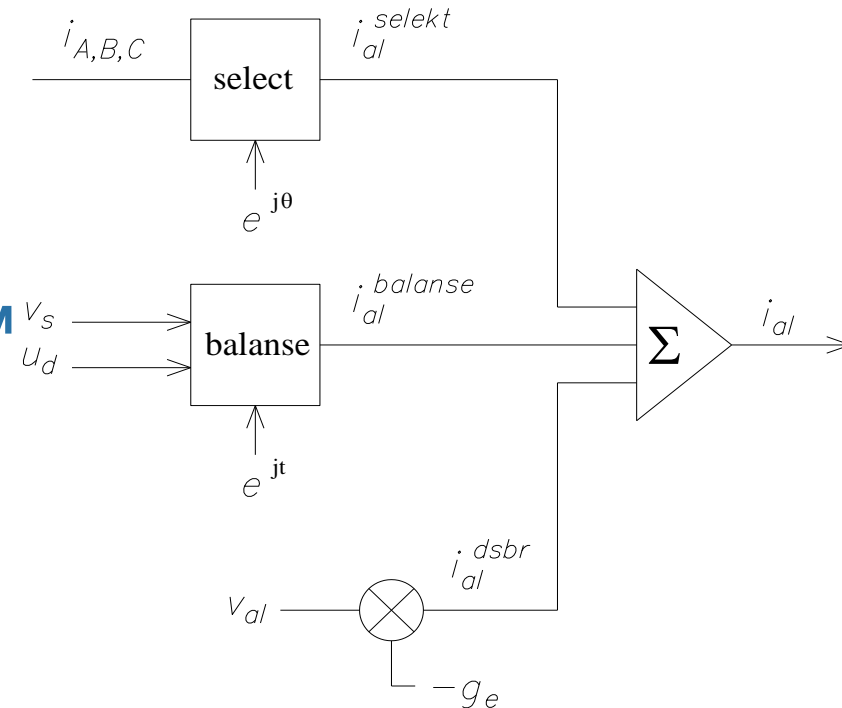
DSB-алгоритм для синтеза систем управления MMC в задачах обеспечения качества напряжений и токов сетей переменного напряжения



Задача синтеза разветвлённой многоконтурной системы, управляющей одновременно совокупностью большого числа параметров решена на основе DSB – алгоритма – последовательном построении регуляторов трёх типов:

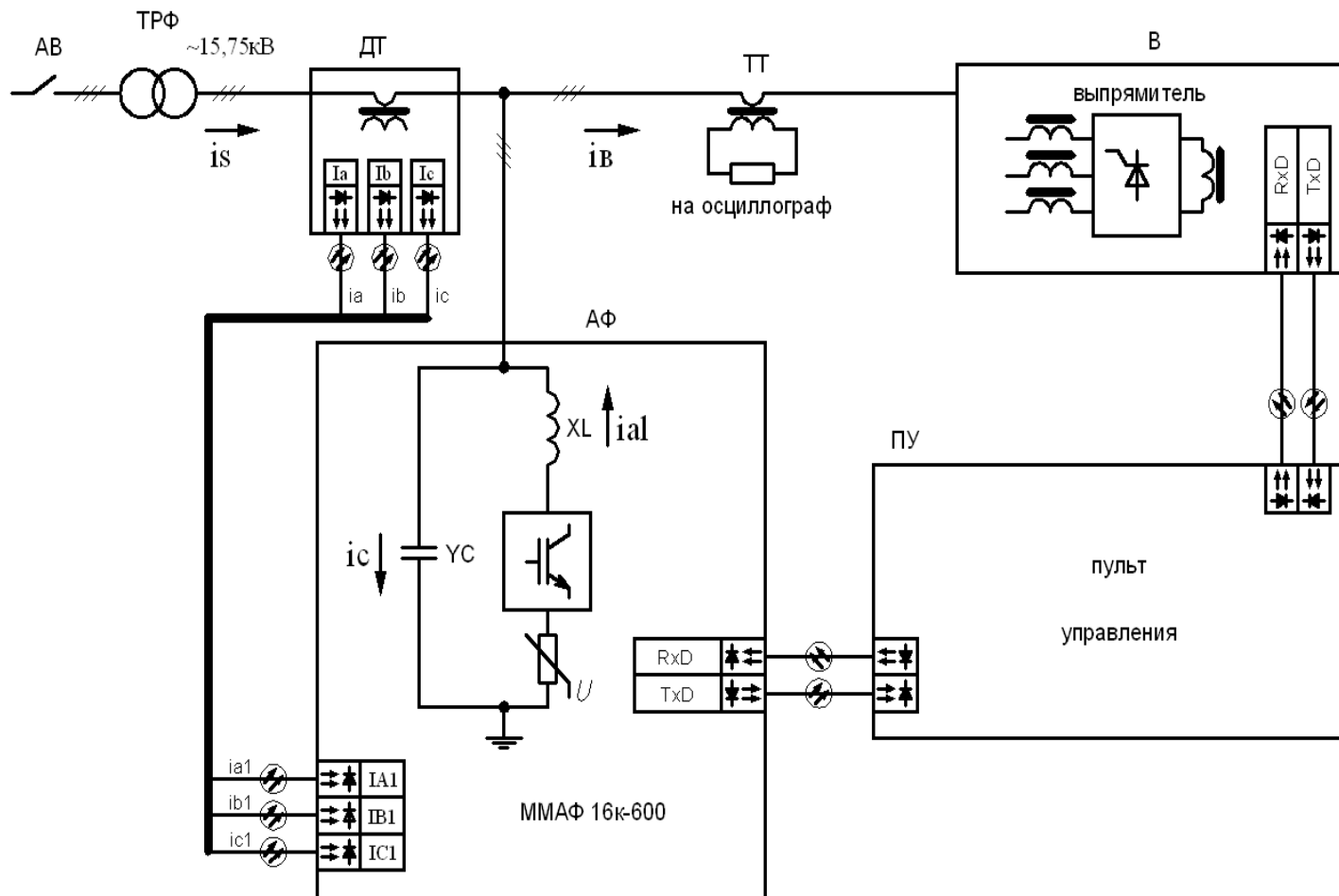
D – демпфирование (*demp*);
S – селективное подавление (*select*);
B – баланс (*balance*),

и последующим совмещении их действий.



ММАФ-16к-600. Испытательный стенд на ОАО «Электровыпрямитель»

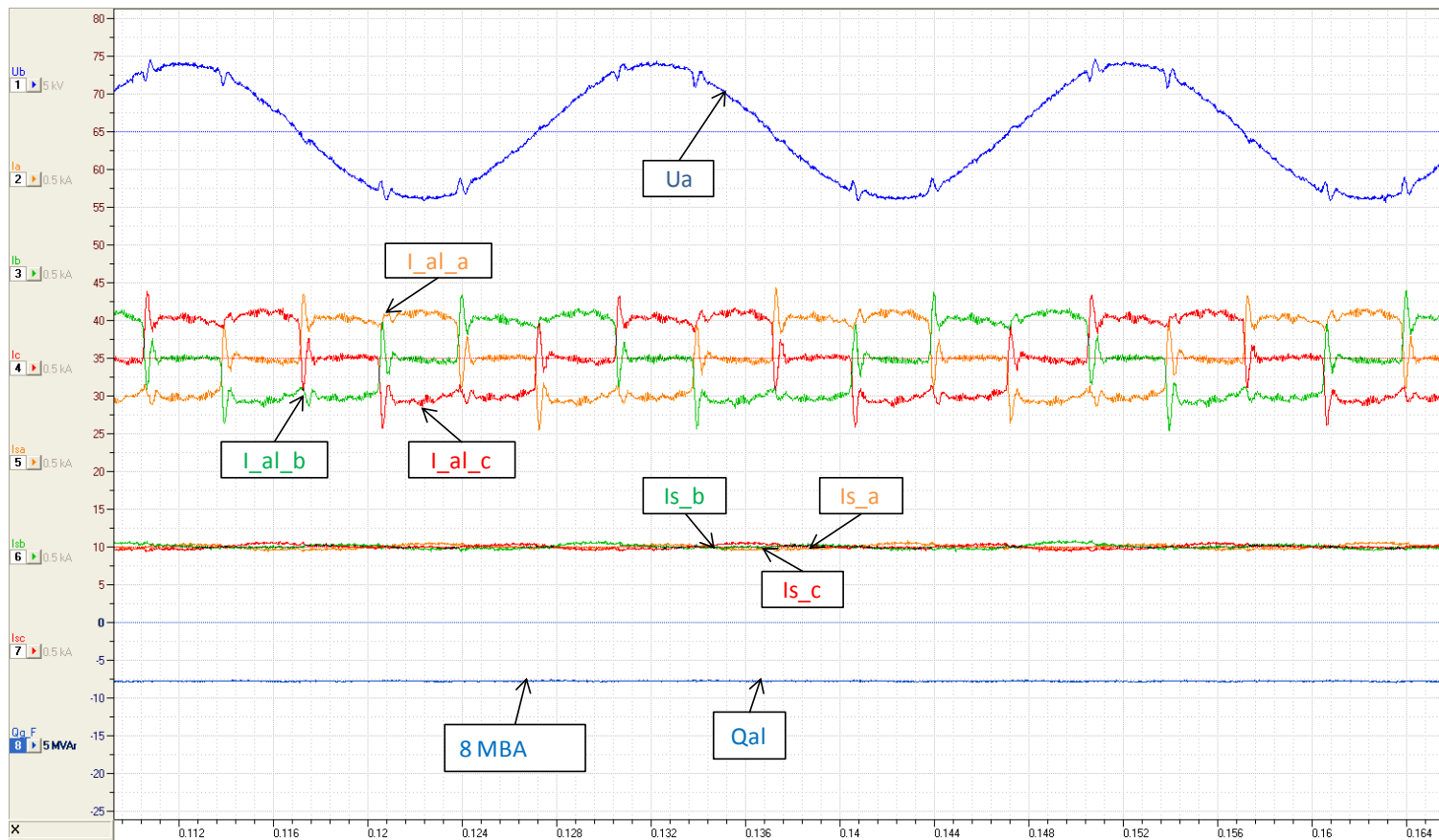
Схема комплексных испытаний



ММАФ-16к-600. Испытания



POCATOM



Работа АФВГ совместно с выпрямителем: стационарный режим – ток выпрямителя 600А при напряжении сети 10 кВ. Сверху вниз: фазное напряжение(U_a), фазные токи активного элемента (I_{al}), фазный сетевой ток (I_{s_a}).

Проблемы сети 220 кВ, питающей ТРАНСИБ и БАМ



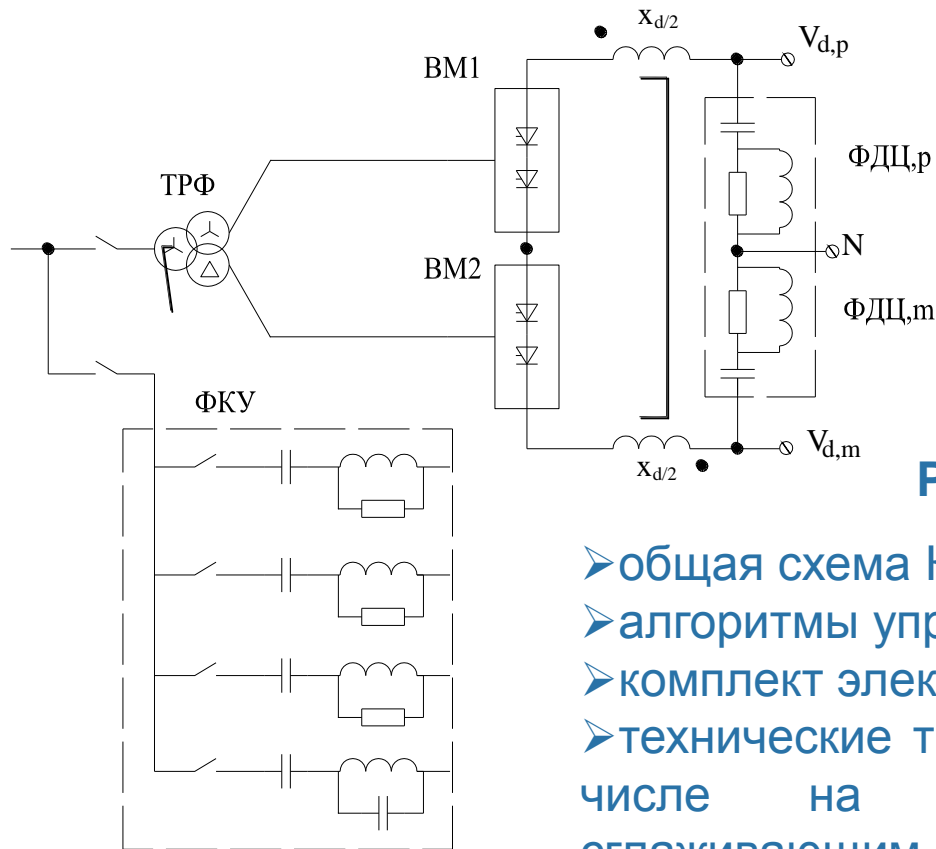
Средние коэффициенты несимметрии напряжения сети 220 кВ достигают 3-4% (норма 2%), а максимальные коэффициенты достигают 5-7% (норма 4%).

Средние коэффициенты искажений превышают норму почти постоянно.

Предельно допустимые искажения превышают норму более половины времени.

Опытный образец многомодульного активного фильтра ММАФ-16к-600 мощностью 16 Мвар в настоящее время решено установить на ПС 220 кВ Сквородино для устранения несимметрии и высших гармоник на шинах 110 кВ.

Комплектные вентильные преобразовательные установки (КВПУ) опытной передачи постоянного тока с высокотемпературным сверхпроводящим кабелем»



Номинальные параметры КВПУ

- Номинальное постоянное напряжение КВПУ - 20 кВ.
- Номинальный постоянный ток - 2,5 кА.
- Номинальное напряжение сети переменного тока - 110 кВ.
- Номинальная передаваемая мощность - 50 МВт.

Разработаны и приняты Заказчиком:

- общая схема КВПУ;
- алгоритмы управления передачей постоянного тока;
- комплект электрических схем КВПУ;
- технические требования к оборудованию КВПУ, в том числе на вентильный преобразователь со сглаживающим реактором и системой охлаждения, преобразовательный трансформатор

Проведено исследование режимов работы и алгоритмов управления передачей постоянного тока на математической модели.

1. Российская Федерация располагает актуализированными возможностями по разработке и изготовлению преобразовательного оборудования для электропередач и вставок постоянного тока мощностью от 50 до 3500 МВт на силовой отечественной элементной базе.
2. Для развития соответствующих технологий нужно только наличие проектов создания передач и вставок постоянного как для распределенных (оффшорных), так и магистральных электрических сетей



Спасибо за внимание