

Системы управления полупроводниковых преобразователей для регулирования напряжения, реактивной мощности и нормализации показателей качества распределительных сетей

Ст. преп. Кафедры «Промышленной электроники», Зам. директора ИЦ ЭБМ - начальник отдела цифровых систем распределения электроэнергии, к.т.н. – Красноперов Роман Николаевич

Применение устройств силовой электроники

Особенности современного и будущего этапов развития электроэнергетики:

- Развитие инфраструктуры сетей.
- Появление новых типов генерирующих источников и накопителей энергии.
- Изменение характера потребления энергии и свойств электрических нагрузок.
- Применение новых подходов к управлению, повышение требований к надёжности и безопасности.



Рост динамики изменения режимов работы электрических сетей:

Необходимые мероприятия:

1. *Организация эффективного управления режимами работы сетей* и формирование активно-адаптивной сетевой инфраструктуры.
2. Широкое *внедрение инструментов быстросействующего управления* режимами работы сетей, в том числе *устройств силовой электроники*.

Устройства силовой электроники (УСЭ) – надёжный общепризнанный инструмент управления режимами работы электрических сетей.

Актуальные задачи применения УСЭ в электрических сетях переменного тока:

1. Уменьшение потерь электроэнергии при её транспортировке и распределении.
2. Улучшение показателей качества электрической энергии у потребителей.
3. Увеличение пропускной способности линий электропередачи.
4. Повышение устойчивости энергосистем в нормальных и аварийных режимах работы.

Механизмы воздействия УСЭ на сеть:

- Управление напряжениями в узлах сети (модуль, угол сдвига фаз).
- Управление потоками реактивной энергии.
- Изменение физических параметров ЛЭП.
- Перераспределение энергии между фазами.

Задачи, решаемые при разработке инновационных технологий построения устройств силовой электроники



❑ **Разработка новых технологий построения и способов управления** полупроводниковыми устройствами силовой электроники для управления режимами работы линий электропередачи с **высоким качеством регулируемой электроэнергии;**

❑ **Достижение максимального быстродействия** работы устройств;

❑ **Разработка новых алгоритмов управления и программно-аппаратного обеспечения** для управления и мониторинга работы устройств силовой электроники в **активно-адаптивных сетях;**

❑ **Отсутствие высших гармоник** в токах и напряжениях, генерируемых устройствами, во всем диапазоне регулирования;

❑ **Обеспечение высокой дискретности регулирования** электроэнергии при минимальных аппаратных изменениях силового оборудования;

❑ **Создание устройств силовой электроники на отечественной элементной базе** с техническими характеристиками не уступающими, а в ряде случаев превосходящими лучшие мировые аналоги;

❑ **Защита интеллектуальной собственности** на схемотехнические решения и способы управления устройствами силовой электроники.

❑ **Реализации автоматической коррекции управляющего воздействия** устройства на линию электропередачи при изменении режима работы нагрузки;

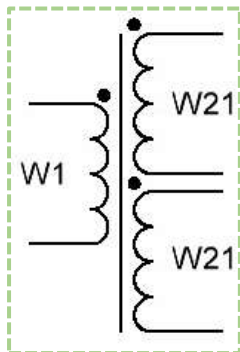


Номенклатура разработанных устройств силовой электроники:

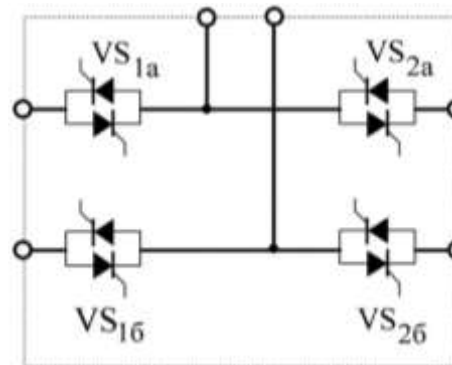
1. Тиристорные регуляторы переменного напряжения - бустеры (ТРПН-Б);
2. Полупроводниковые устройства регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой (ПУРНТ);
3. Управляемые источники реактивной мощности (УИРМ);
4. Фазоворотные устройства (ФПУ);
5. Управляемые устройства продольной компенсации (УУПК).

Силовые элементы разработанных УСЭ

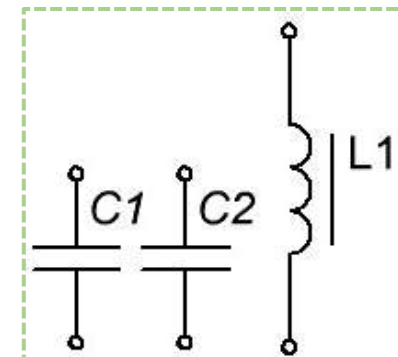
Трансформаторы с секционированными обмотками



Тиристорные коммутаторы



Реактивные элементы

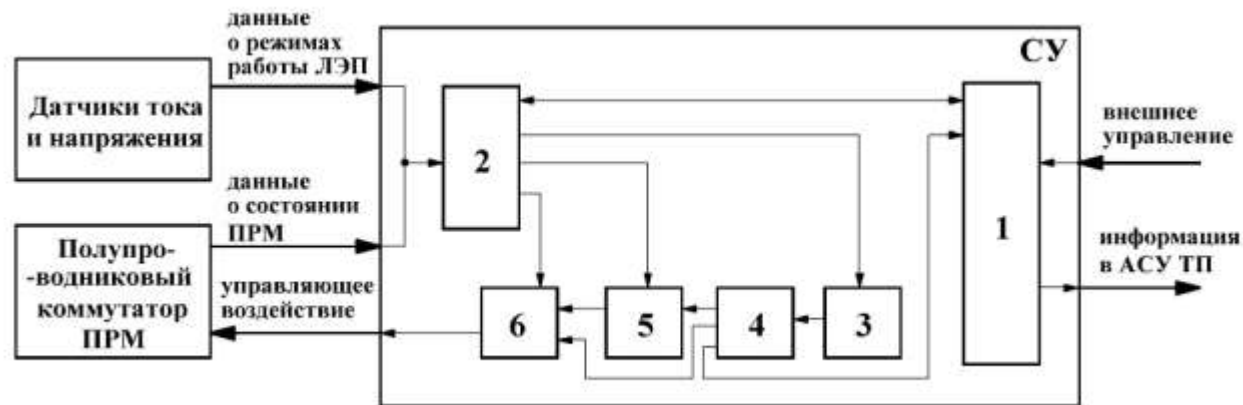


На основе трёх типов оборудования реализуются различные классы УСЭ, решающие широкий спектр задач по управлению режимами работы активно-адаптивных электрических сетей.

Универсальная аппаратно-программная платформа

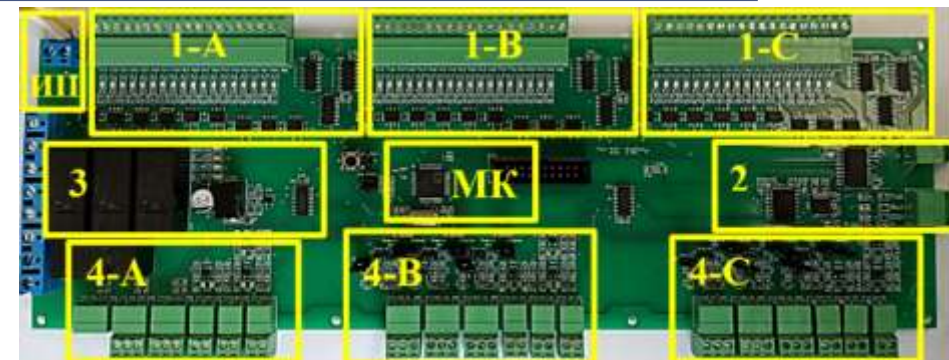


Структура построения системы управления для широкого класса полупроводниковых УСЭ, работающих в активно-адаптивных электрических сетях.



В состав системы управления входят блоки:

1. Блок реализации интерфейсов и связи с АСУ ТП.
2. Блок мониторинга режима работы электрической сети и УСЭ.
3. Блок вычисления управляющих воздействий на УСЭ в нормальных и аварийных режимах работы электрической сети.
4. Блок определения состояния полупроводникового коммутатора УСЭ.
5. Блок синхронизации.
6. Блок реализации управления полупроводниковым коммутатором УСЭ.



МК: микроконтроллер и разъем его программирования;

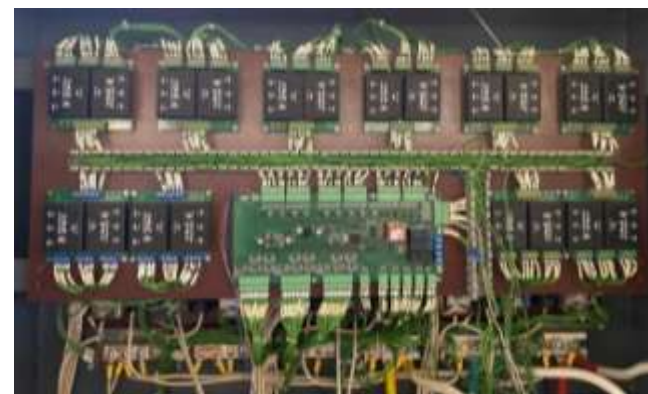
1-A, 1-B, 1-C: Аппаратная часть блока реализации управления полупроводниковым коммутатором для фаз А, В и С;

2: Блок реализации интерфейсов и связи с АСУ ТП. Представлен каналами передачи данных RS-485, RS-232;

3: Автоматика системы управления, а также индикация автоматике;

4-A, 4-B, 4-C: Аппаратная часть блока мониторинга режима работы электрической сети и УСЭ для фаз А, В и С;

ИП: Разъем питания платы системы управления.



Одноплатная СУ



Крейтовая СУ

Создание опытных образцов и проведение опытно-промышленной эксплуатации устройств



Компенсаторы реактивной мощности 0,4 кВ



200 кВАр



50 кВАр

Тиристорно – трансформаторные регуляторы напряжения 0,4 кВ



На базе АО ВО «Электроаппарат» организовано производство трехфазных ТТРН-Б-50/0,4-3 и ТТРН-Б-100/0,4-3



Опытно-промышленная эксплуатация полупроводникового регулятора реактивной мощности (ПРРМ) в ПАО «Россети Ленэнерго»



КТП класса 6-10/0,4 кВ с полупроводниковыми устройствами регулирования выходного напряжения трансформаторов (ПУРНТ)





Цель работы центра – системная координация работ по созданию комплексных инновационных технических решений в области мониторинга, управления и защиты цифровых электрических сетей на основе технологий силовой электроники и микроэлектроники.



Разработка технологий, оборудования и ПО



Проведение комплексных НИОКР по разработке и внедрению устройств энергетической электроники для цифровой энергетики



Внедрение, популяризация и продвижение новых отечественных технологий в области энергетической электроники



Координация усилий основных игроков в сферах разработки, производства и внедрения отечественной инновационной техники



Аккумуляция профессиональных компетенций и организация ДПО в области разработки и внедрения технологий энергетической электроники

Отраслевые партнеры



Ведется максимально тесное непрерывное взаимодействие!

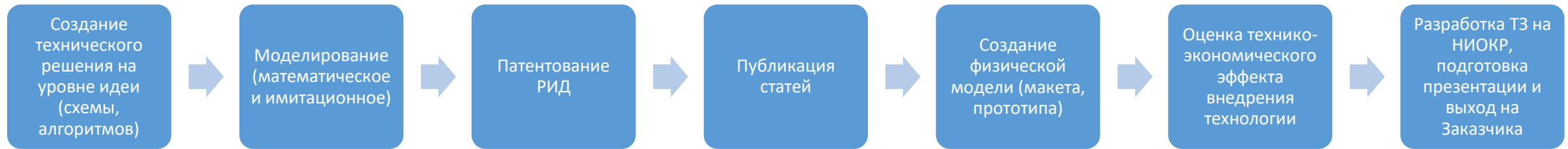
Центр энергетической электроники МЭИ



Стратегия разработки и внедрения новых технологий



Подход к формированию НИОКР и внедрению новых технологий в электроэнергетику:



Компетенции Университета, позволяющие развивать и обеспечивать внедрение новых технологий:

- ❑ Знание потребностей электросетевых компаний и потребителей;
- ❑ Наличие высококвалифицированных научных кадров, научных групп;
- ❑ Обеспечение формирования научного задела - от момента возникновения идеи, процесс разработки теоретических положений, изготовления и отладки макета, составляет порядка 2-х лет;
- ❑ Наличие опыта формирования Заявок на конкурсы и гранты, подтверждение Квалификационного уровня сотрудников Университета позволяет получать деньги на научные заделы актуальных НИОКР;
- ❑ Привлечение организаций реального сектора экономики в качестве промышленных партнеров;
- ❑ Патентная защита разработок и заключение лицензионных договоров с предприятиями;
- ❑ Работа по продвижению продукции на рынке.

Спасибо за внимание!

Контакты:

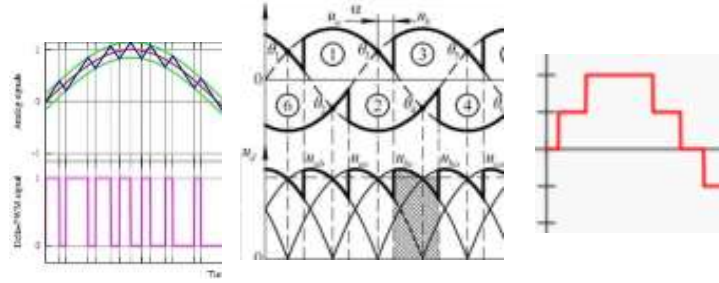
Ст. преп. каф. ПЭ, к.т.н. – Красноперов Роман Николаевич

E-mail: KrasnoperovRN@mpei.ru

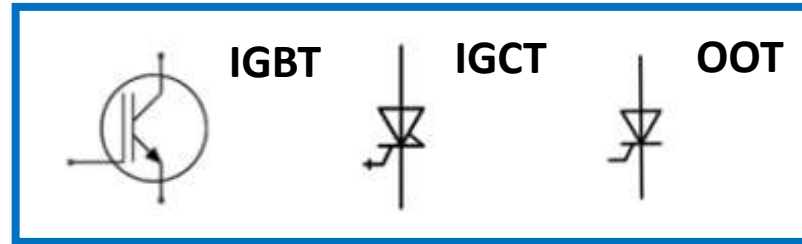
Тел. +79104911979

Подходы к построению устройств силовой энергетической электроники

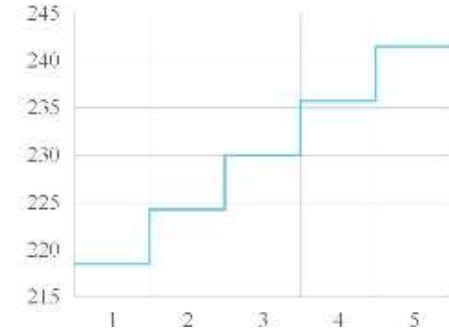
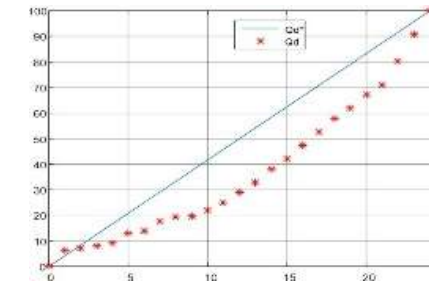
Управление ключами



Элементная база



Регулирование



ШИМ, фазовое управление, АИМ

Транзисторные преобразователи:

- Широкий спектр функциональных возможностей;
- Универсальность;
- Возможность комплексного решения различных сетевых задач;
- Находятся на начальном этапе внедрения в электроэнергетике (СТАТКОМ);
- Высокие динамические потери энергии;
- Генерация высших гармоник тока и напряжения;
- Относительно дорогая элементная база, в РФ производство развито слабо (IGBT и IGCT).

плавное - дискретное

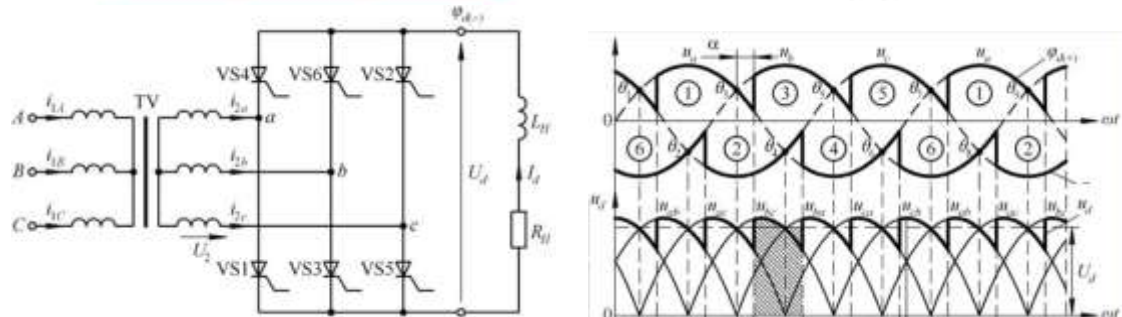
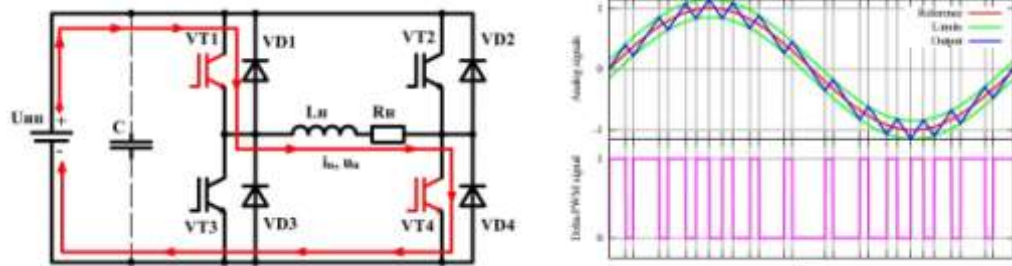
Тиристорные преобразователи:

- Доступная компонентная база, широко производится в РФ;
- Высокие предельные параметры приборов по напряжению и току;
- Широко применяются в сетях (СТК, УШР, УУПК и др.)
- **Неполная управляемость OOT;**
- **Ограниченные динамические свойства приборов и преобразователей на их основе;**
- **Наличие широкого спектра гармоник при регулировании;**
- **Алгоритмы управления зависят от множества факторов;**
- **Круг решаемых в энергетике задач существенно ограничен.**

Подходы к реализации и элементная база устройств силовой энергетической электроники (УСЭЭ)

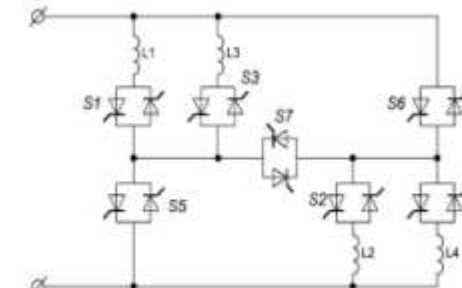
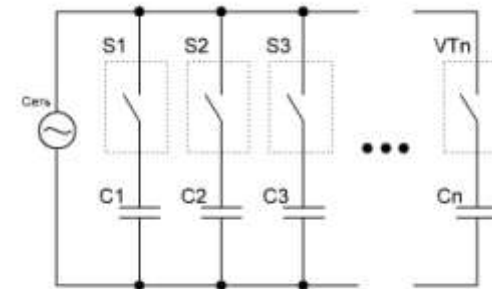
Технологии УСЭЭ

Формирование токов и напряжений путем модуляции сигналов (ШИМ, фазовое регулирование и т.д.)



Полупроводниковые ключи формируют токи и напряжения на периоде сети

Управление структурой и эквивалентными параметрами элементов устройства



Полупроводниковые ключи реагируют на изменения режима работы сети

Элементная база УСЭЭ:

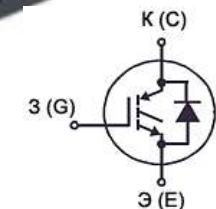
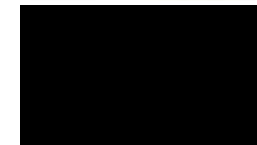
- Полупроводниковые ключи
- Трансформаторы
- Микропроцессорные системы
- Реакторы
- Конденсаторы


Механические и полупроводниковые силовые переключатели (ключи)

	РПН	Механические контакторы	Тиристоры	Транзисторы IGBT
Номинальный ток, А	до 1000	до 1600	5000	1500
Номинальное напряжение, кВ	до 75	до 35	9	6,5
Перегрузочная способность, кА в течении 20 мс	19	40	100	2
Время переключения, сек.	от 3 до 10	0,02	$10 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Ресурс, количество циклов	1 000 000	1 000 000	Не ограничен	Не ограничен

Недостатки полупроводниковых ключей:

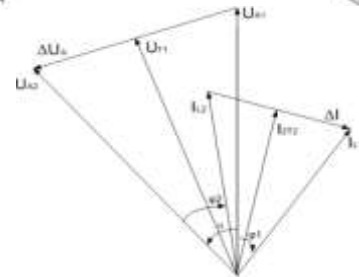
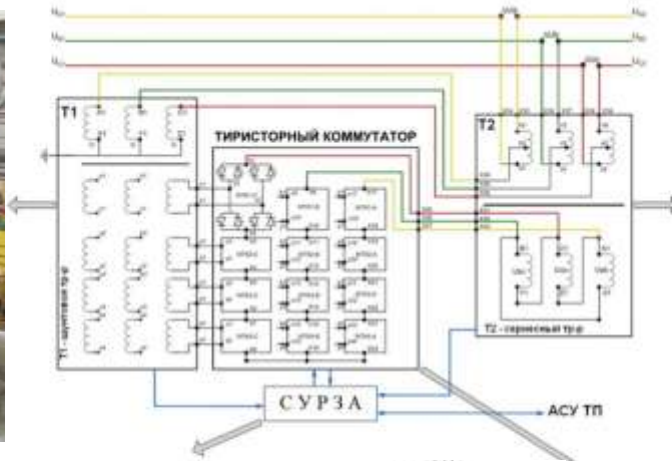
- Высокая стоимость;
- Падение напряжения на приборе от 1,5 В (тиристоры) до 4 В (транзисторы);
- Тиристоры – однооперационные приборы (нельзя выключить в любой момент времени), необходимо дать время на восстановление проводимости свойств. блокирующих





**Опыт реализации комплексных проектов в
связке: разработчики электроники –
энергетики – заводы**

Опытный образец фазопоротного устройства 220 кВ - 300МВА



Заказчик – ПАО «ФСК ЕЭС»
Сроки выполнения:
июнь 2011г. – май 2014г.

Параметры ФПУ:

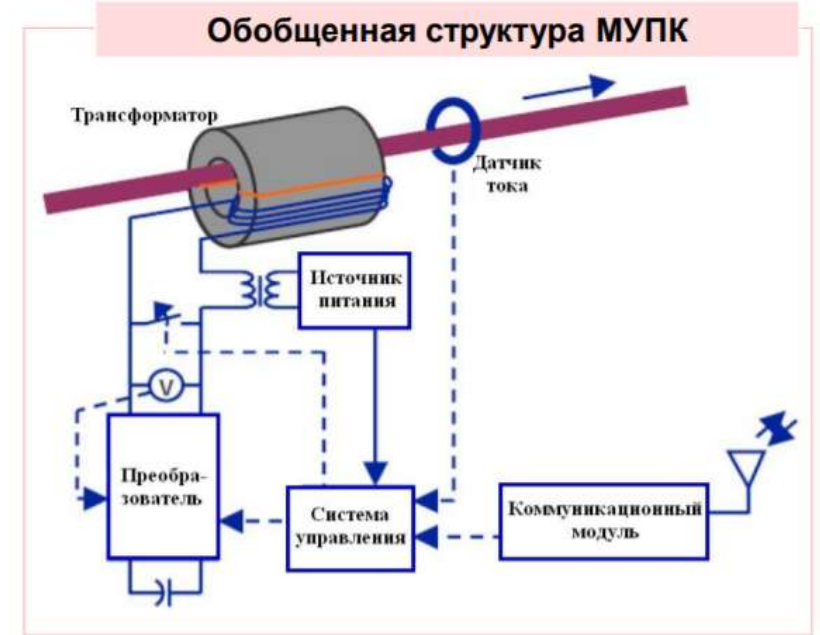
- Номинальная мощность104 МВА
- Проходная мощность300 МВА
- Номинальное напряжение линии.....220 кВ
- Длительно допустимый ток линии787 А
- Номинальная частота сети50 Гц
- Диапазон регулирования фазового сдвига напряжения..... ±20 град.эл.
- Дискретность регулирования фазового сдвига.....1,33 град.эл.
- Время регулирования.....не более 0,02 с.

Режимы работы на объекте установки:

- Устранение токовых перегрузок ВЛ 220 кВ, шунтированных ВЛ 500 кВ в ремонтных и послеаварийных режимах работы сети (*эффект – увеличение ДДП в характерном сечении на 30%*);
- Минимизация транспортных потерь энергии в параллельном транзите 500/220кВ в нормальном режиме работы сети (*эффект – снижение мощности транзитных потерь в среднем на 23%*).

Малогабаритное устройство продольной компенсации

Применение технологии Smart Wire в США



МУПК



Размещение МУПК на ЛЭП

Монтаж МУПК на ВЛ



Преимущества технологии:

- монтаж устройств непосредственно на проводах ВЛ (без нарушения целостности провода);
- мобильность;
- возможность оперативного переноса на другие объекты.

Малогабаритное устройство продольной компенсации

ОПЭ МУПК на ВЛ 110 кВ



Электрические параметры

Класс напряжения ВЛ	220 кВ
Диапазон изменения тока ВЛ	0 – 750 А
Номинальный ток ВЛ	750 А
Максимальный ток ВЛ	1,3
Ударный ток короткого замыкания в фазе ВЛ	110 кА

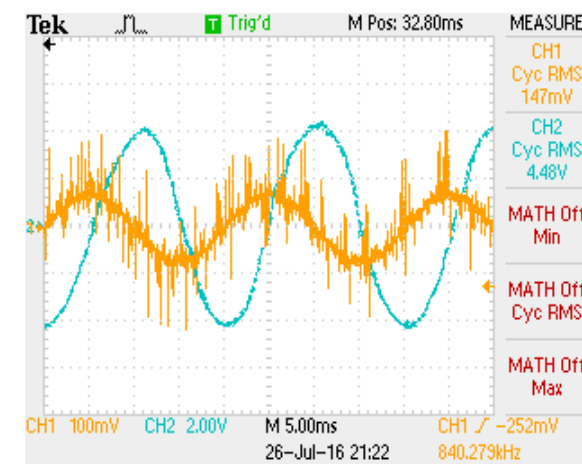
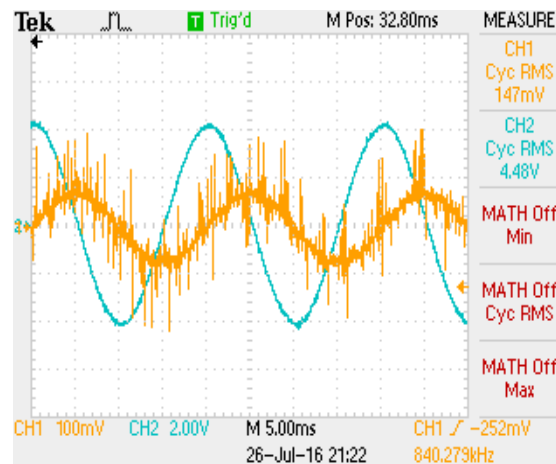
Климатические параметры

Колебания температуры окружающей среды	от –45 до + 40 С
Ветровая нагрузка	не более 29 м/с

Конструктивные параметры

Диаметр фазного провода ВЛ	15 – 27 мм
Геометрические размеры	1400x160x140 (мм)
Масса	50 кг

Осциллограммы работы МУПК: ----- ток линии,
----- напряжение, наводимое МУПК на провод



Заказчик работы – ПАО «ФСК ЕЭС»

Исполнитель – АО «ЭНИН»

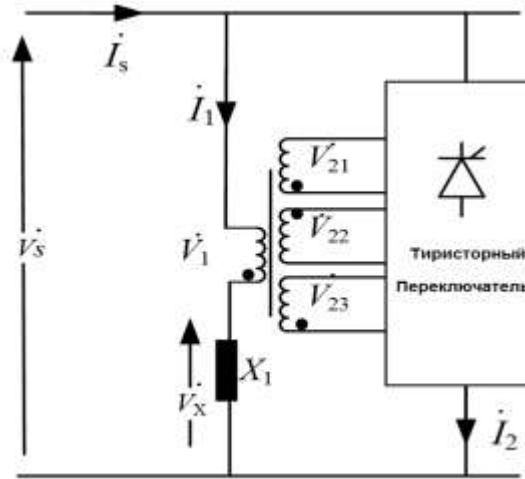
Соисполнитель – НИУ «МЭИ»

Соисполнитель – АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Сроки выполнения: декабрь 2015г. – ноябрь 2016г.

Компенсаторы реактивной мощности (КРМ) с отсутствием высших гармоник в регулируемом токе

Разработанные новые технологии построения КРМ, отличающиеся высоким качеством регулируемой энергии



Заказчик работы – Минобрнауки РФ

Период выполнения: 2017 - 2019 г.г.

Исполнитель – АО «ЭНИН»

Соисполнитель – НИУ «МЭИ»

Индустриальный партнер -

ПАО «Электровыпрямитель»

ПРРМ на основе **тиристорно-переключаемых схем**
(реакторных-ТПРГ и конденсаторных-ТПКГ групп)

ПРРМ на основе **регуляторов переменного синусоидального напряжения**

Особенности ПРРМ, построенных на основе новых технологий:

- Обеспечение синусоидальной формы регулируемого тока без использования специализированных фильтров;
- Высокое быстродействие – управление режимами работы ЛЭП в темпе процесса;
- Высокая дискретность регулирования реактивной мощности;
- Независимое автоматическое управление режимами работы каждой фазы электросети;
- Обмен данными с оператором АСУ ТП по стандартам МЭК 61850;
- Построение на основе отечественной компонентной базы.

Компенсаторы реактивной мощности на основе схем с переключаемыми реактивными элементами

Конденсаторные КРМ 0,4 кВ



200 кВАр



50 кВАр

Реакторный КРМ 0,4 кВ



200 кВАр

Характеристики КРМ на основе тиристорно-переключаемых схем:

Технические параметры	КРМ 0,4-(50)	КРМ 0,4-(±200)
Электропитание	0,4 кВ, 50 Гц	0,4 кВ, 50 Гц
Максимальная мощность	50 кВАр	200 кВАр
Номинальный ток	72 А	300 А
Количество дискретных уровней регулирования реактивной мощности	32/0	25/25
Дискретность регулирования реактивной мощности, не более	1,56 кВАр	8 кВАр
<ul style="list-style-type: none">Отсутствие высших гармоник во всём диапазоне регулирования реактивной мощности;Управление – цифровое (автономное или дистанционное);Климатическое исполнение – УХЛ 4		

Опытно – промышленная эксплуатация (ОПЭ) опытно–промышленного образца полупроводникового регулятора реактивной мощности ОПО-ПРРМ–0,4-50-ТД

Место проведения ОПЭ:

Трансформаторная подстанция 6/0,4 кВ (ТП—2873), присоединенная к фидеру 42/12 ПС 110 кВ Сосновская (ПС 29), ПАО «Россети Ленэнерго».

Сроки проведения ОПЭ: август - октябрь 2020 г.

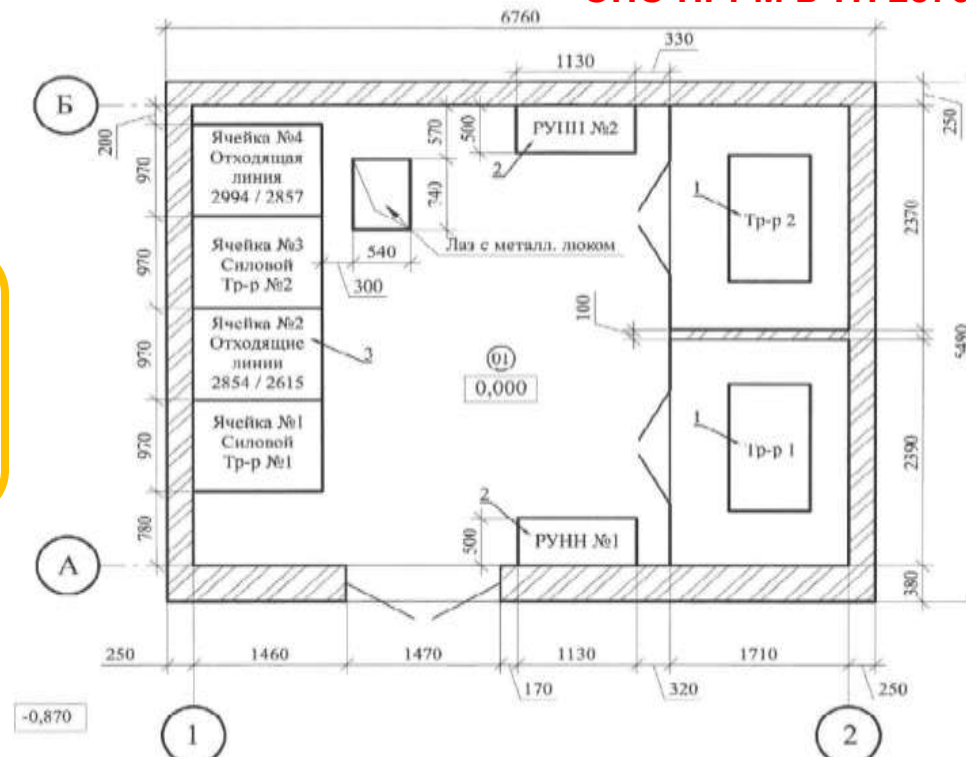
Решаемые ПРРМ задачи:

- Автоматическая компенсация реактивной мощности в линии электропередач;
- Стабилизация в месте подключения ПРРМ уровня напряжения при его выходе за граничные уровни, установленные в соответствии с ГОСТ 32144-2013.



Опытно-промышленный образец полупроводникового регулятора реактивной мощности (ОПО ПРРМ) в ТПП 2873

ОПО ПРРМ в ТП 2873



ОПЭ ПРРМ проведена в рамках двухстадийной НИОКР, заказчиком выступило ПАО «Россети Ленэнерго».

Исполнитель – НИУ «МЭИ» (каф ПЭ, ИЭЭ).

Соисполнители – АО «ЭНИН», ПАО «Электровыпрямитель».

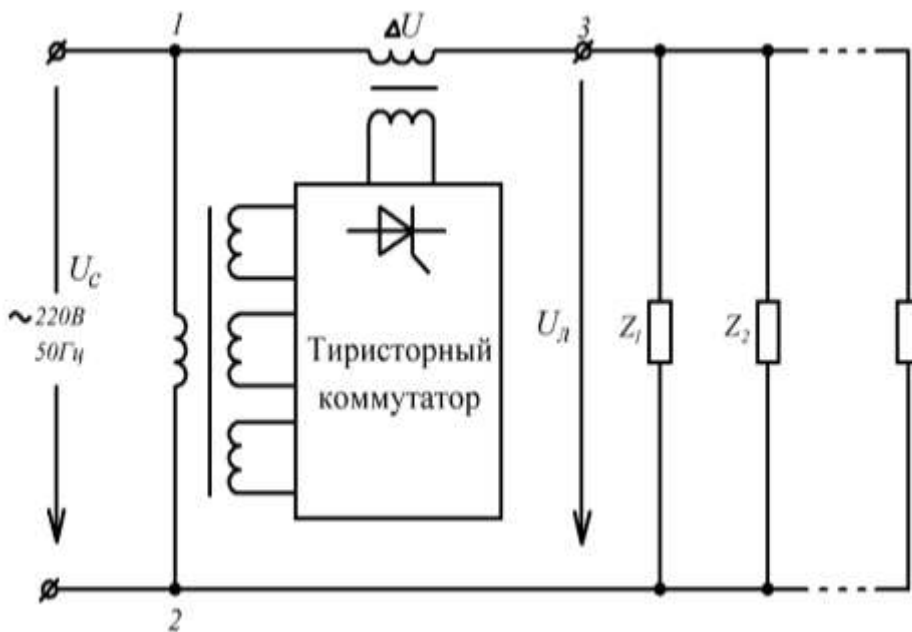
Сроки выполнения: 2018 – 2020 г.г.

Тиристорно-трансформаторные регуляторы переменного напряжения ТТРН - Б



На сегодняшний день наблюдается **беспрецедентный** рост жалоб потребителей **на качество напряжения** в электрических сетях класса 0,4 кВ. **Эффективным средством** устранения проблемы **являются регуляторы напряжения** (бустеры).

Обобщенная схема включения ТТРН-Б

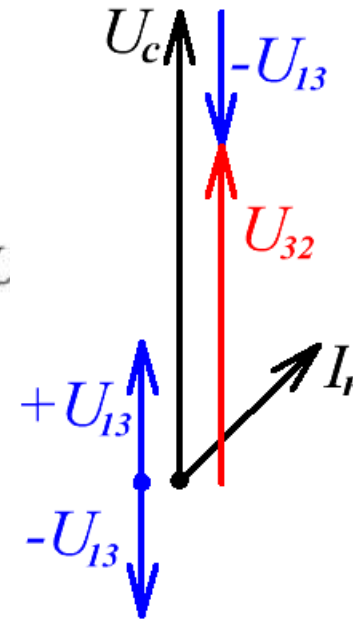


$$U_{л} = U_{c} \pm \Delta U$$

$$U_{c} = U_{12}$$

$$\Delta U = U_{13}$$

$$U_{л} = U_{32}$$



Усовершенствование технологии и оборудования выполнено с привлечением средств субсидии Минобрнауки РФ

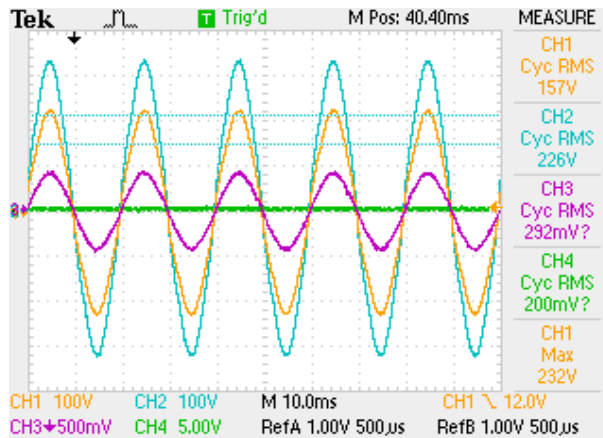
Период реализации: 2017 - 2019 г.г.

Исполнитель – НИУ «МЭИ»

Соисполнитель – АО «ЭНИН»

Опытно-промышленный образец ТТРН-Б-50/0,4-3

Опытно-промышленный образец ТТРН-Б-50/0,4-3 с регулированием $\pm 40\% U_c$



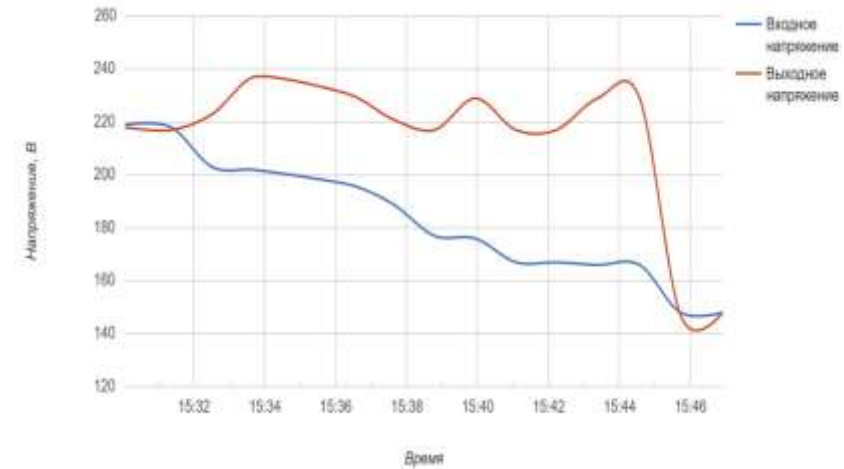
----- входное напряжение, ----- выходное напряжение,
 ----- напряжение вольтодобавки

Опытно-промышленная эксплуатация ТТРН-Б-50/0,4-3 на объекте МРСК Центр - Белгородэнерго (дата ввода - декабрь 2018 г.)

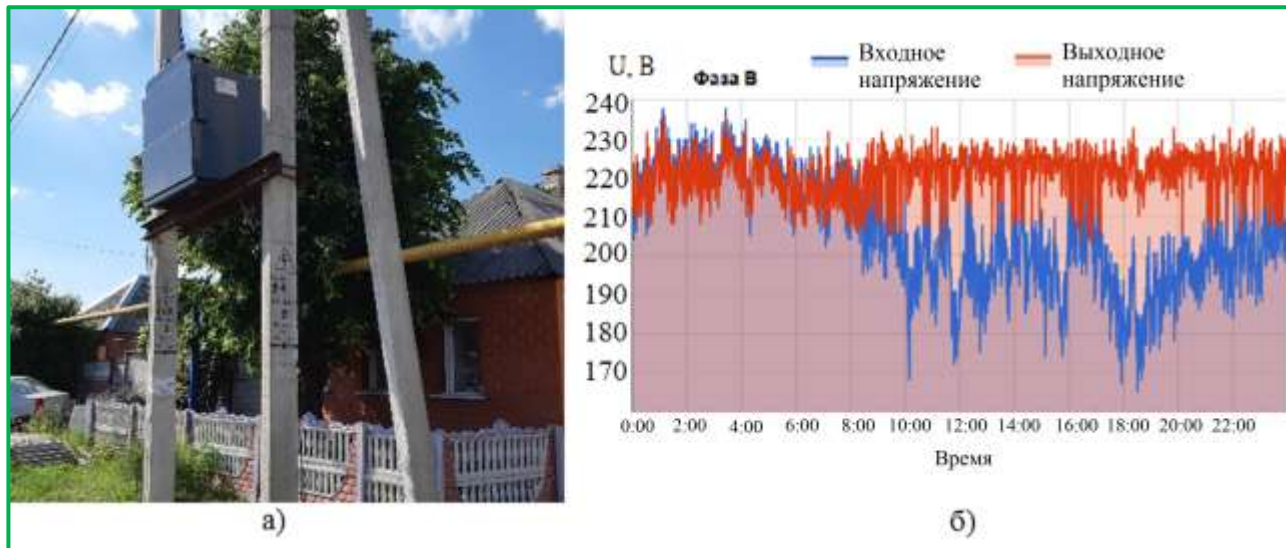
Параметры ТТРН-Б-50/0,4-3

Входное трёхфазное напряжение	220/380 В, 50 Гц
Мощность нагрузки	50кВт
Фазный ток нагрузки	75 А
Диапазон регулирования напряжения	$\pm 40\% U_c$
Количество ступеней регулирования напряжения	12
Быстродействие	20 мс
Дистанционный мониторинг и управление	GSM
Климатическое исполнение	УХЛ1
Габаритные размеры (длина-глубина-высота)	1000-720-1200 мм
Масса	250 кг

Стабилизация выходного напряжения ТТРН-Б-50/0,4-3 при изменении напряжения сети



Результаты опытно-промышленной эксплуатации ТТРН-Б-50/0,4-3



ТТРН-Б-50/0,4-3 в месте установки (а), пример работы системы дистанционного мониторинга (б).

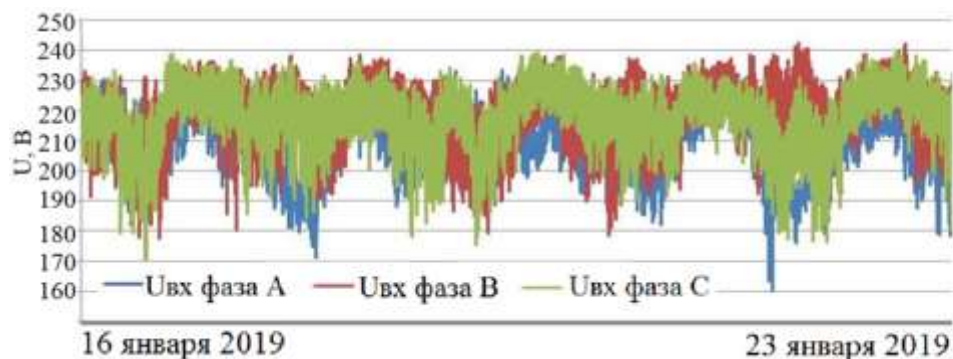
-Место проведения ОПЭ: ПАО «МРСК Центра» - «Белгородэнерго», ВЛ 0,4кВ №2 КТП-402 ВЛ 10кВ №4 ПС 110/35/10 кВ Стрелецкая.

-Задачи: стабилизация уровня напряжения в месте подключения в соответствии с ГОСТ 32144-2013

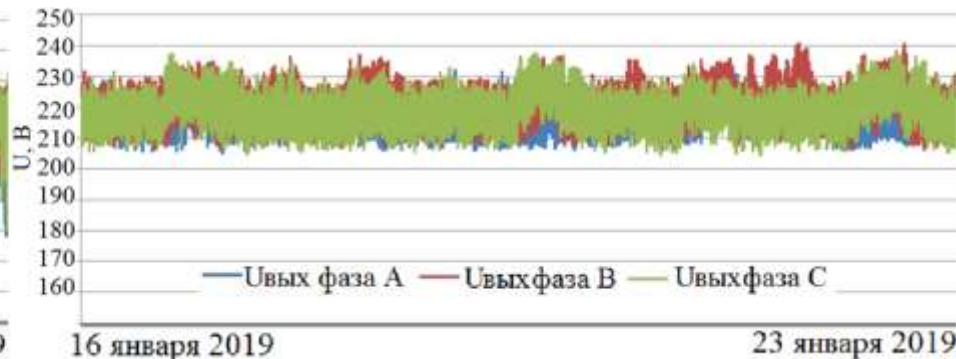
-Время проведения опытно-промышленной эксплуатации: 2018-2020г.

-Положительные результаты ОПЭ подтверждены протоколом ПАО «МРСК Центра» и комиссией по проведению ОПЭ ПАО «МРСК Центра» - «Белгородэнерго»

Трёхфазное напряжение на входе ТТРН-Б-50/0,4-3



Трёхфазное напряжение на выходе ТТРН-Б-50/0,4-3



Результаты замеров метрологической службы входных и выходных напряжений в месте установки

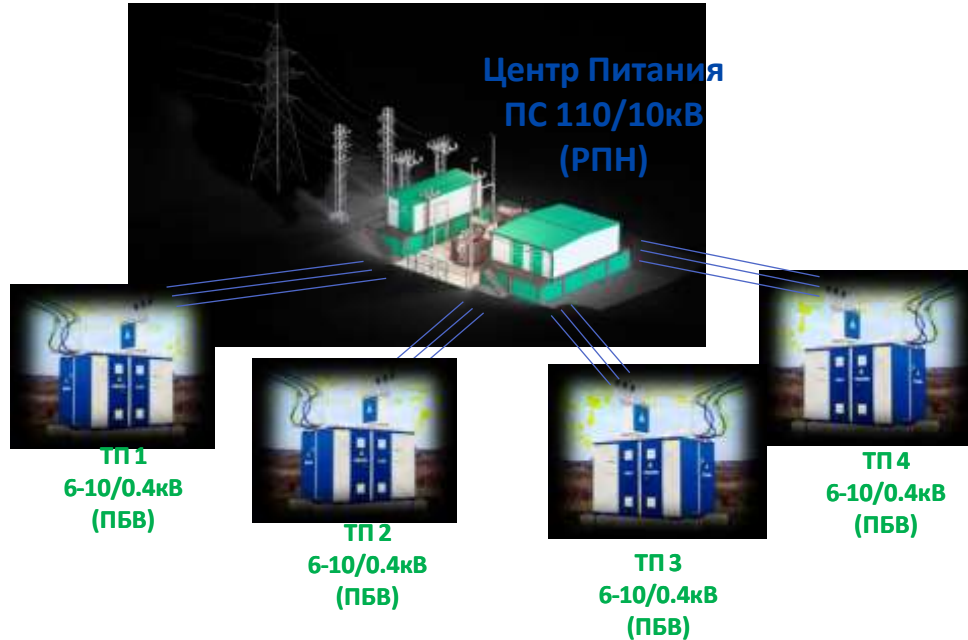
Организация серийного производства ТТРН-Б



На базе АО ВО «Электроаппарат»
организовано производство
трехфазных
ТТРН-Б-50/0,4-3 и
ТТРН-Б-100/0,4-3

Полупроводниковые устройства регулирования выходного напряжения трансформатора (ПУРНТ) для трансформаторных подстанций класса 6-10/0,4 кВ

Типовая структура распределительной сети



Существующие механизмы регулирования напряжения:

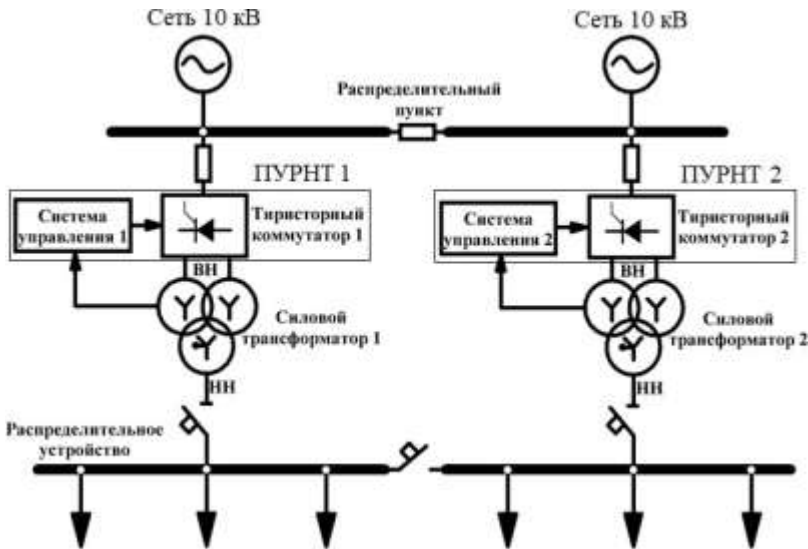
- 1. Центр питания (110/10кВ) – устройство РПН:**
 - Малое быстродействие (3-4 сек.);
 - Одновременное воздействие на значительную группу ТП с разнородной нагрузкой.
- 2. ТП (6-10/0.4кВ) – устройство ПБВ:**
 - Переключение при отключении трансформатора;
 - Отсутствие возможности автоматического управления напряжением.

- ❑ **Существующие механизмы не позволяют оперативно изменять напряжение электрической сети и обеспечивать требуемые показатели качества электроэнергии в части установившегося отклонения напряжения во всех точках присоединения нагрузок потребителей.**
- ❑ **Отсутствие возможности регулирования напряжения трансформаторов 6-10/0,4кВ под нагрузкой затрудняет полноценную интеграцию ТП 6-10/0,4кВ в структуру активно-адаптивных сетей с целью комплексной реализации концепции цифровой трансформации электроэнергетики.**

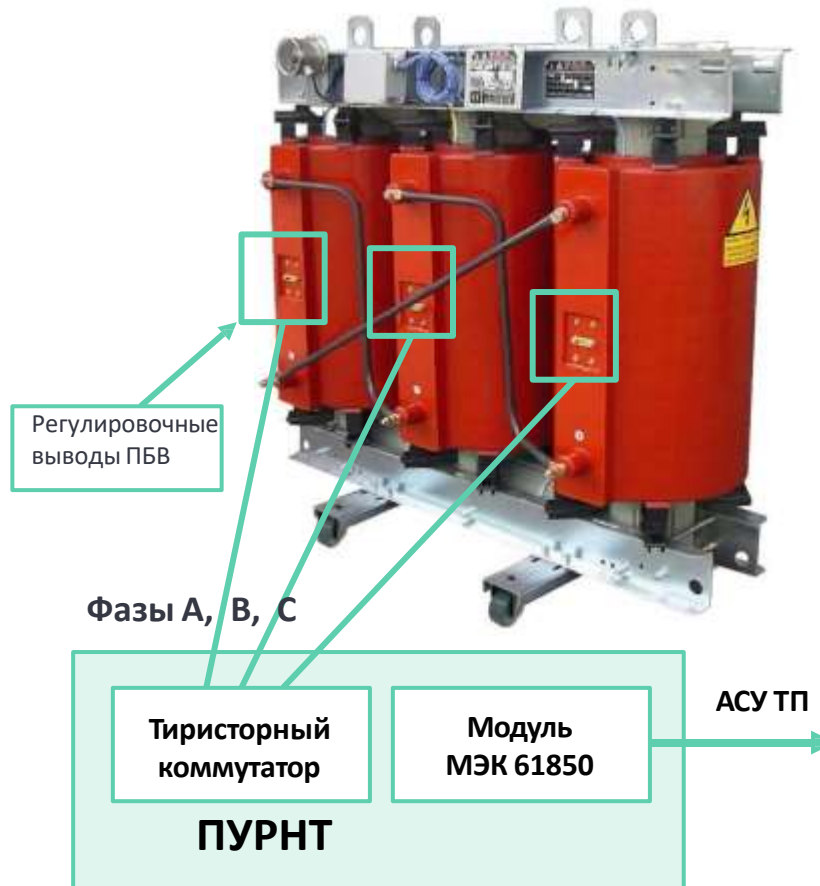
Полупроводниковые устройства регулирования выходного напряжения трансформатора (ПУРНТ) для трансформаторных подстанций класса 6-10/0,4 кВ

Разработанные инновационные устройства ПУРНТ отличаются тем, что могут быть подключены к имеющимся в трансформаторах класса 6-10/0,4кВ сухого типа регулировочным выводам ПБВ.

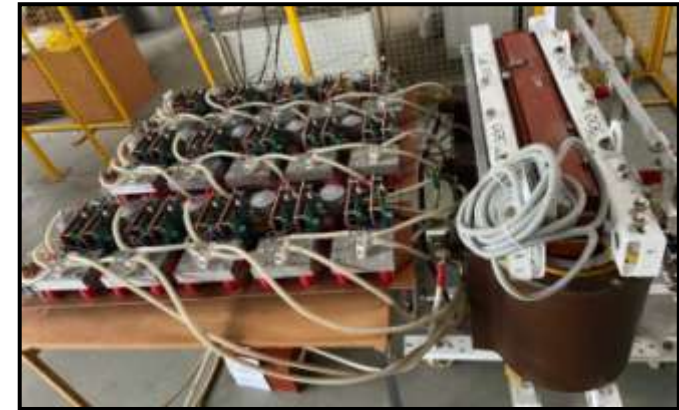
Упрощённая схема ТП с ПУРНТ



Сухой силовой трансформатор



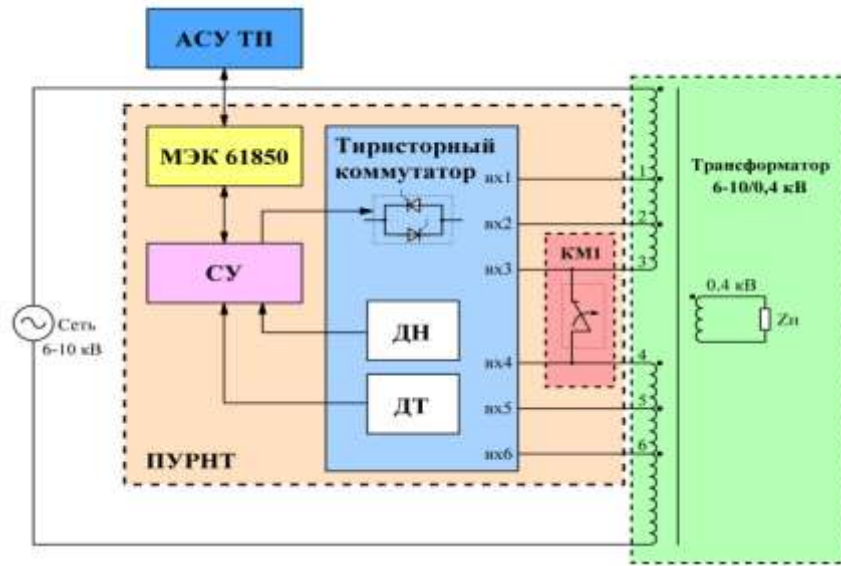
Макет тиристорного коммутатора ПУРНТ 10 кВ 250 кВА



Проект выполнен в рамках Постановления Правительства №218 от 09.04.2010г.
Индустриальный партнер – АО ВО «Электроаппарат»
Сроки реализации: декабрь 2019г. – декабрь 2021г.

Тиристоры не имеют ограничения по ресурсу переключений, что обеспечивает высокий эксплуатационный ресурс оборудования.

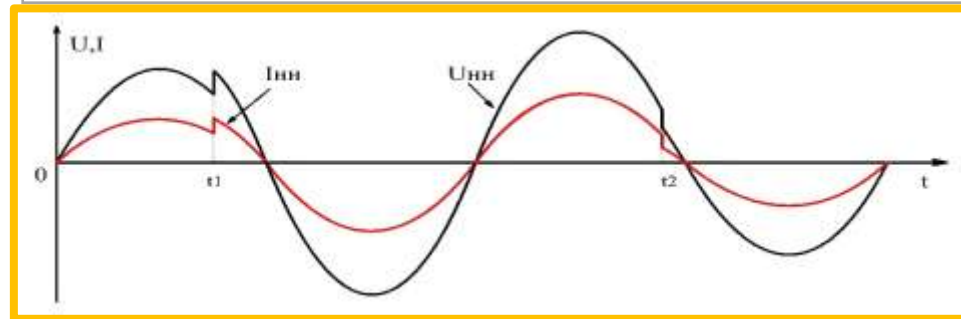
Полупроводниковые устройства регулирования выходного напряжения трансформатора (ПУРНТ) для трансформаторных подстанций класса 6-10/0,4 кВ



ПУРНТ предназначен для регулирования напряжения трансформаторов ТП под нагрузкой.

ПУРНТ подключаются к стандартным регулировочным ответвлениям ПБВ трансформаторов класса 6-10/0,4кВ сухого типа.

Временные диаграммы тока и напряжения на стороне НН трансформатора при регулировании напряжения ПУРНТ.



Момент времени t_1 – увеличение напряжения; Момент времени t_2 – уменьшение напряжения.

Основные компоненты ПУРНТ:

- Центральный модуль СУ;
- Модуль обмена данными с АСУ ТП (МЭК 61850).

- Локальные модули СУ фаз А, В, С;
- Тиристорный коммутатор;
- Комплект датчиков тока и напряжения.

- Ввод 10 кВ.

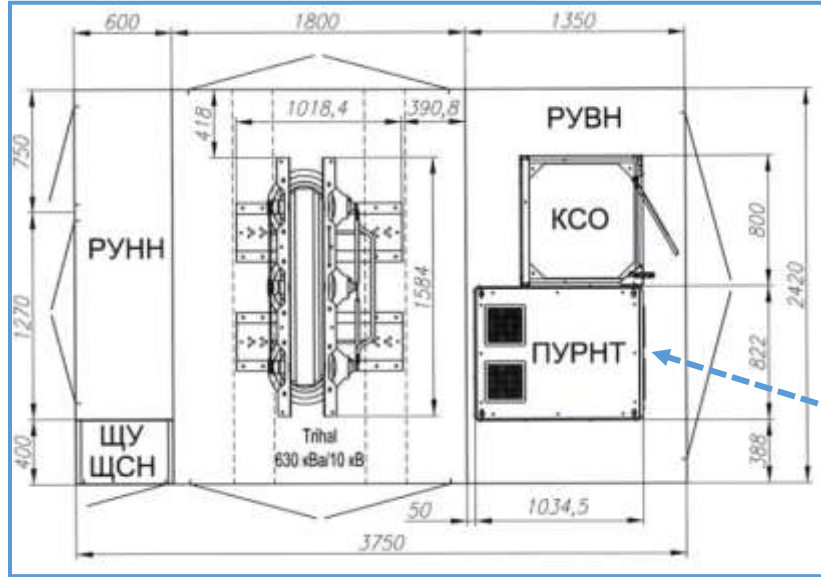


Опытный образец ПУРНТ

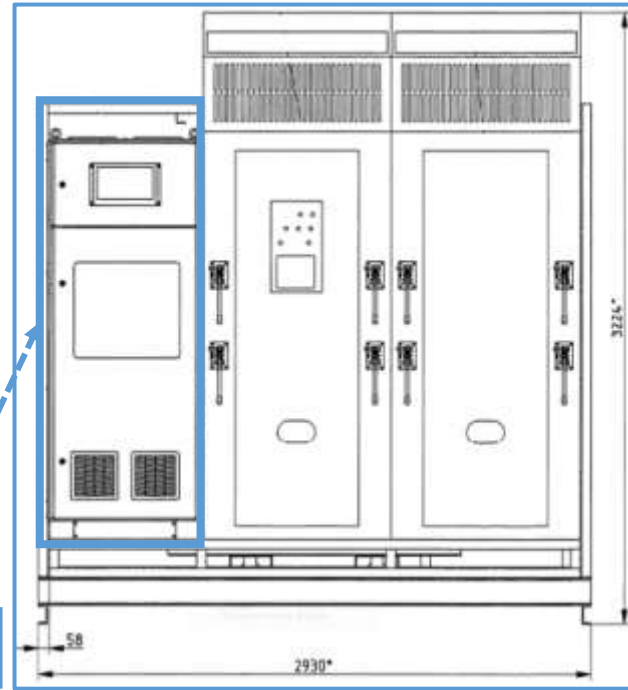
Параметры	Значение
Класс напряжения питающей сети, кВ	6-10
Частота питающей сети, Гц	50-400
Номинальная передаваемая мощность, кВА	2000
Гармонический состав напряжений и токов во всём диапазоне регулирования напряжений на стороне НН	Полное отсутствие высших гармоник
Принцип регулирования	Дискретный (5 ступеней регулирования)
Тип управления	Цифровое автономное
Быстродействие регулирования, мс	20
Стандарт телеуправления и телесигнализации	МЭК 61850

КТП класса 6-10/0,4 кВ с полупроводниковыми устройствами регулирования выходного напряжения трансформатора (ПУРНТ)

КТП 10/0,4 кВ



Размещение ПУРНТ на КТП (вид сверху)



ПУРНТ

Габаритные размеры ПУРНТ (ДхШхВ), мм – 1000 x 1000 x 2900 в составе КТП (лицевая панель)



КТП с ПУРНТ



ЭА ЭЛЕКТРОАППАРАТ

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ИЗДЕЛИЯ
КТП с ПУРНТ (С)-1000/10/0,4-УХЛ1

Заводской номер №

Тип

Номинальное напряжение ВН/НН

Частота

Степень защиты

Масса

Дата

Изготовлено в РФ. МЭИУ.566522.000 ТУ
г. Санкт-Петербург, 24-я линия ВО, д. 3-7
тел. +7 (812) 677-83-83
E-mail: box@ea.spb.ru



Полупроводниковые устройства стабилизации переменного напряжения (ПСН) на отечественной компонентной базе силовой электроники для нормализации качества электрической энергии и снижения потерь в цифровых распределительных электрических сетях

Макетный образец
ПСН 100 кВА 0,4 кВ



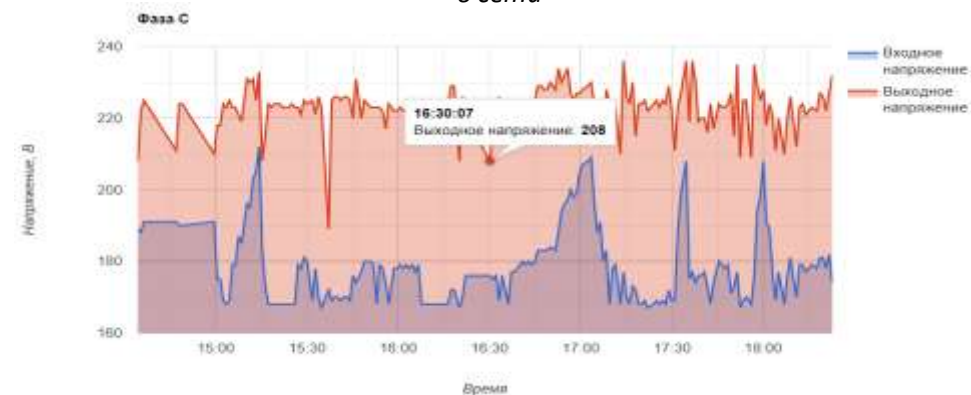
Решаемые ПСН задачи:

- ❑ Устройства предназначены для обеспечения надежного электроснабжения потребителей, нормализации качества электрической энергии и снижения потерь в цифровых распределительных электрических сетях, обеспечивают автоматическую стабилизацию напряжения на уровне 220 В/380 В $\pm 10\%$ в диапазоне изменения напряжения в сети от 160 до 280 В.

Крейтовая СУ с МЭК 61850 (GSM – передача)



Стабилизация уровня напряжения
в сети



НИОКР выполнен в рамках Государственного задания МЭИ в 2022 г. (шифр FSWF-2022-0010).

Ведется работа по заключению Лицензионного соглашения с АО ВО «Электроаппарат».

На предприятии ведется работа по наладке серийного производства полупроводниковых стабилизаторов напряжения (ПСН).

