

# ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ЦИФРОВЫХ РЭС

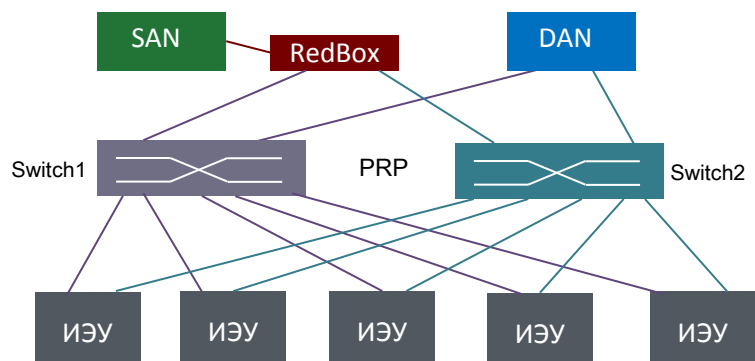
*Мокеев Алексей Владимирович*

---

*НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ.  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ”*

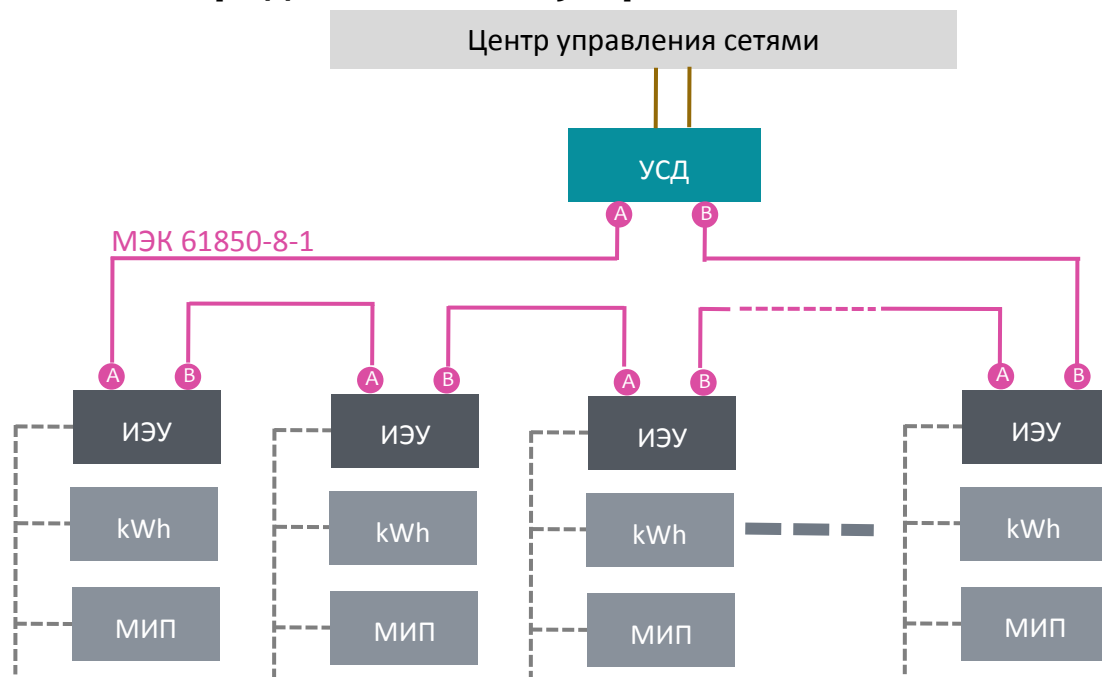
г. Москва, 6 декабря 2018 г.

## Распределительные устройства ВН



Применения **ИЭУ с 2 портами Ethernet** и поддержкой протокола резервирования PRP.

## Распределительные устройства СН



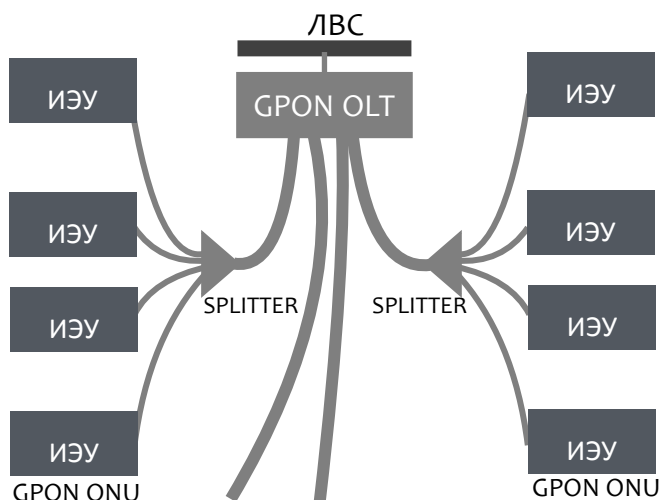
Применения **ИЭУ с 2 портами Ethernet и встроенными сетевыми коммутаторами.**

Не требуется использование внешних сетевых коммутаторов, создание на подстанции простой локальной сети с кольцевой топологией (протокол резервирования HSR или RSTP) и поддержкой протоколов цифровой подстанции согласно МЭК 61850-8-1.

Организация прозрачных каналов через ИЭУ для счетчиков и других устройств.

Поставлено около 5 000 ЭНИП-2 с поддержкой МЭК 61850-8-1.

## РУ СН. Альтернативный вариант



## Проблемы с автоматизацией городских распределительных сетей:

- на большинстве ТП отсутствуют устройства телемеханики,
- защита с помощью плавких предохранителей на стороне ВН и автоматических выключателей на стороне НН,
- отсутствие измерительных трансформаторов тока и напряжения на стороне ВН,
- отсутствие возможности контроля состояния коммутационной аппаратуры,
- невозможность быстрого определения поврежденных присоединений при коротких замыканиях и однофазных замыканиях на землю.

В силу большого количества РП и ТП для массового внедрения необходимо инновационные решения.

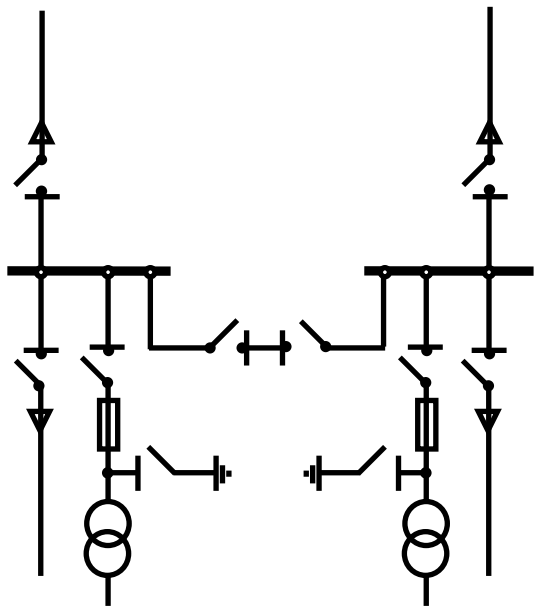
Автоматизация РЭС целесообразно проводить в несколько этапов.

На первом этапе необходимо обеспечить наблюдаемость основных элементов сети и локализацию повреждений (КЗ и ОЗЗ).

На последующих этапах производится решение задач по автоматическому восстановлению электроснабжения потребителей при повреждениях.

Для локализации КЗ целесообразно использование размыкаемых фиксаторов аварийного тока, а для локализации ОЗЗ в сети с компенсированной нейтралью - датчики тока нулевой последовательности.

Использование размыкаемых датчиков и фиксаторов тока обеспечивает существенное сокращение временные затрат и стоимости установки и ввода в эксплуатацию оборудования на ТП.



Один из важнейших трендов в области автоматизации подстанций связан с применением первичных измерительных преобразователей (датчиков) тока и напряжения.

В распределительных устройствах **высокого и сверхвысокого напряжений** перспективно применение *цифровых измерительных трансформаторов тока и напряжения*. Для применения в распределительных устройствах с традиционными измерительными трансформаторами тока и напряжения перспективно использование многофункциональных преобразователей аналоговых сигналов (SAMU) и преобразователей дискретных сигналов (DMU), в том числе встроенных в коммутационные аппараты.

В распределительных устройствах **среднего напряжения** ведущие мировые производители широко применяют в КРУ датчики тока с низкоуровневыми аналоговыми сигналами (например, катушки Роговского или LPCT) и датчики напряжения (например, резистивные или емкостные делители напряжения). Применение указанных датчиков особенно эффективно, если они пассивные.

В электронных датчиках тока и напряжения используются аналоговые электронные компоненты. В этом случае перспективно использование вместо встроенного аналогового модуля использовать встроенный цифровой модуль. Опыт разработки комбинированного датчика тока и напряжения TECV-P1 фирмой «Оптиметрик» совместно с ООО «Инженерный центр «Энергосервис» говорит в пользу цифрового решения.

Процесс замены традиционных первичных измерительных преобразователей на современные датчики тока и напряжения займет много времени. Поэтому в течении еще длительного времени будет необходимость использования ИЭУ как с аналоговыми, так и с цифровыми входами.

**Замена традиционных электромагнитных ТТ и ТН на первичные измерительные преобразователи тока и напряжения с цифровым интерфейсом:** трансформаторы тока малой мощности (Low Power Current Transformer, LPCT), датчики тока на основе катушки Роговского, емкостные или резистивные датчики напряжения.

**Использование технологий цифровой подстанции:** горизонтальные связи между ИЭУ в соответствии с МЭК 61850-8-1.

**Модернизация наиболее консервативной подсистемы дискретного ввода-вывода с использованием концевых выключателей, контактов коммутационных аппаратов и промежуточных реле и др. Переход на цифровое взаимодействие ИЭУ с БУ ВВ, применение цифровых датчиков положения и т.д.**

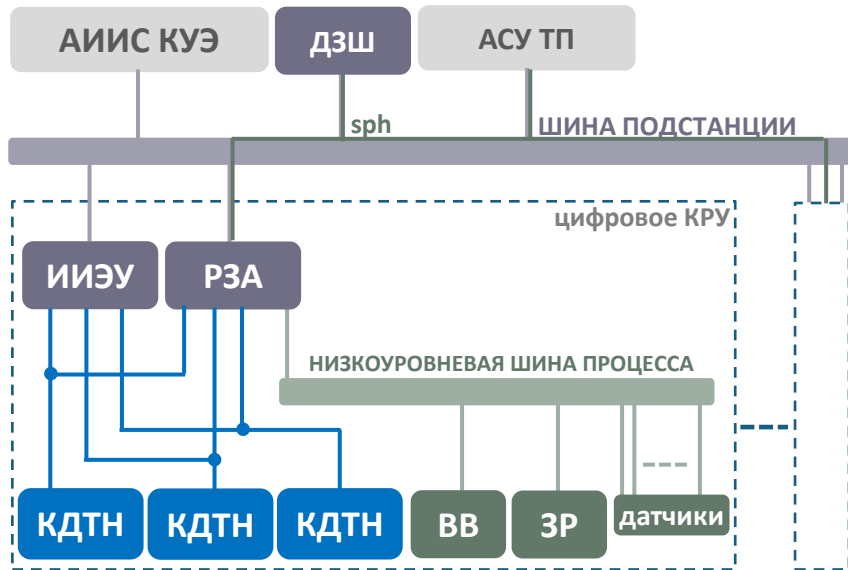
**Полное исключение в перспективе аналоговых и дискретных цепей** за счет применения интеллектуальных датчиков, приводов и устройств.

**Для интеграции интеллектуальных датчиков** в составе цифровой ячейки целесообразно использовать **низкоуровневые шины процесса**, которые представляют собой надежные и устойчивые к сбоям детерминированная сеть жесткого реального времени с эффективными механизмами синхронизации времени и резервирования сети.

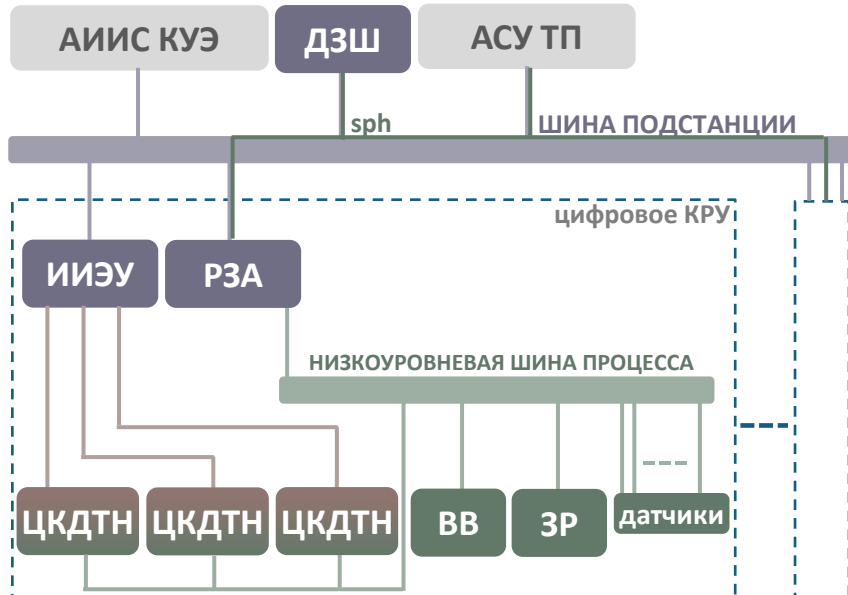
**Преимущества КРУ нового поколения:** повышение надежности, возможностью тестирования ячеек сразу после их сборки, мониторинг и диагностика как отдельных компонентов ячеек, так и ячейки и подстанции в целом.

Сокращение сроков и стоимости работ по изготовлению ячеек.

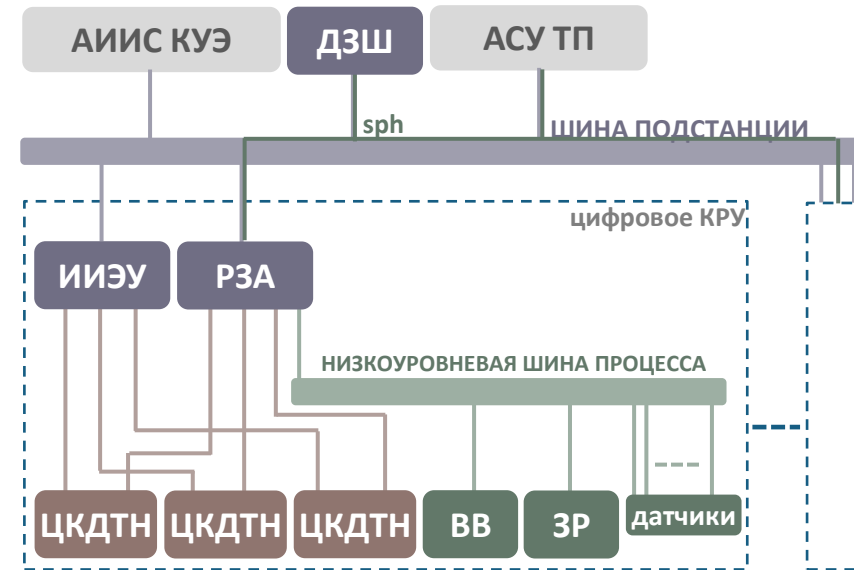
Снижение эксплуатационных затрат.



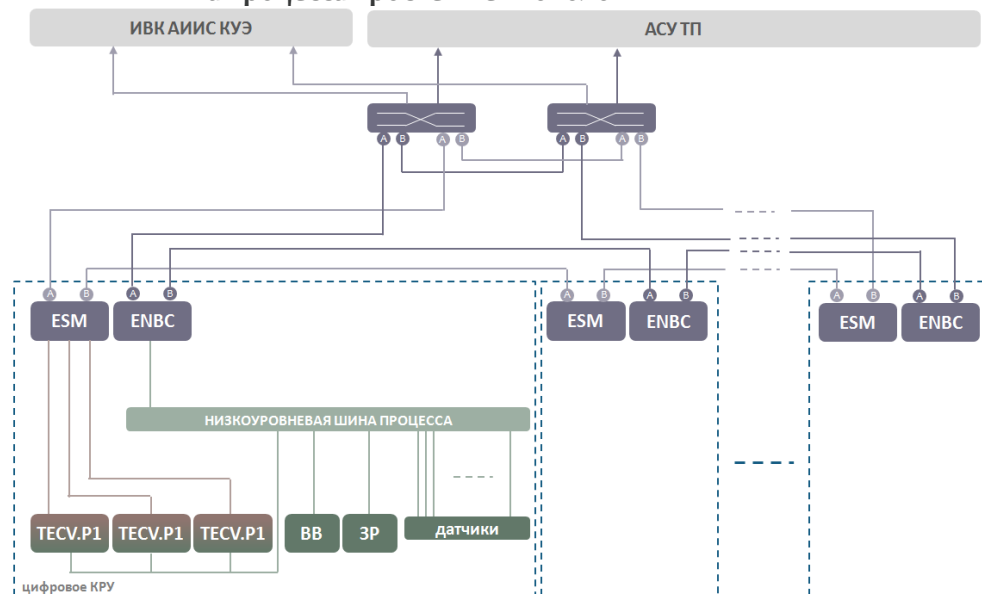
использование комбинированных датчиков тока и напряжения (КДТН) с низкоуровневыми аналоговыми сигналами



Отдельные сети для устройства РЗА и измерительных ИЭУ. Низкоуровневая шина процесса объединяет все данные внутри КРУ.



цифровой КДТН с 2 портами Ethernet, шина процесса простейшей топологии



Использование всего 2 сетевых внешних сетевых коммутаторов за счет использования встроенных в ESM и ENBC коммутаторов.

Совершенствование *алгоритмов* обработки сигналов УРЗА, реализация *новых принципов* выполнения устройств РЗА.

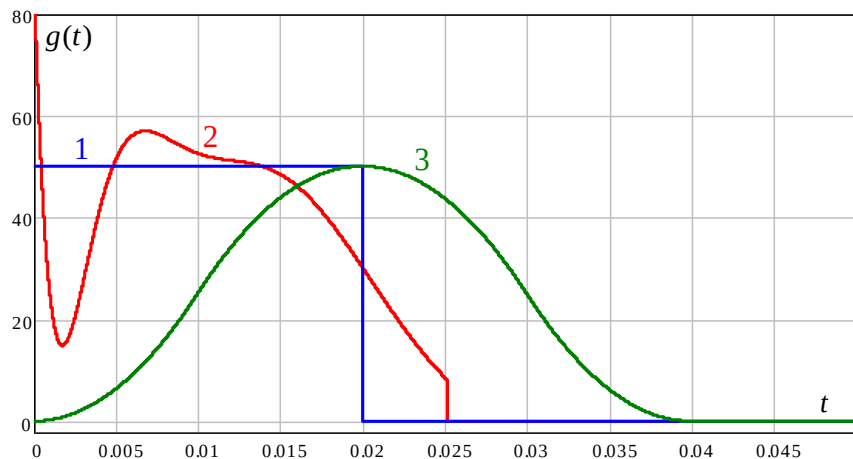
**Тенденции УРЗА ведущих мировых производителей:** наличие встроенного УСВИ.

**МЭК 61850-90-5:** : передача синхровекторов (R-SPH) и GOOSE-сообщений (R-GOOSE).

**Особенности и требования к УСВИ для реализации устройств РЗА**

- повышения быстродействия и снижение требований по точности обработки сигналов;
- обеспечение правильной работы в условиях интенсивных электромагнитных и электромеханических переходных процессов;
- повышение темпа передачи синхровекторов.

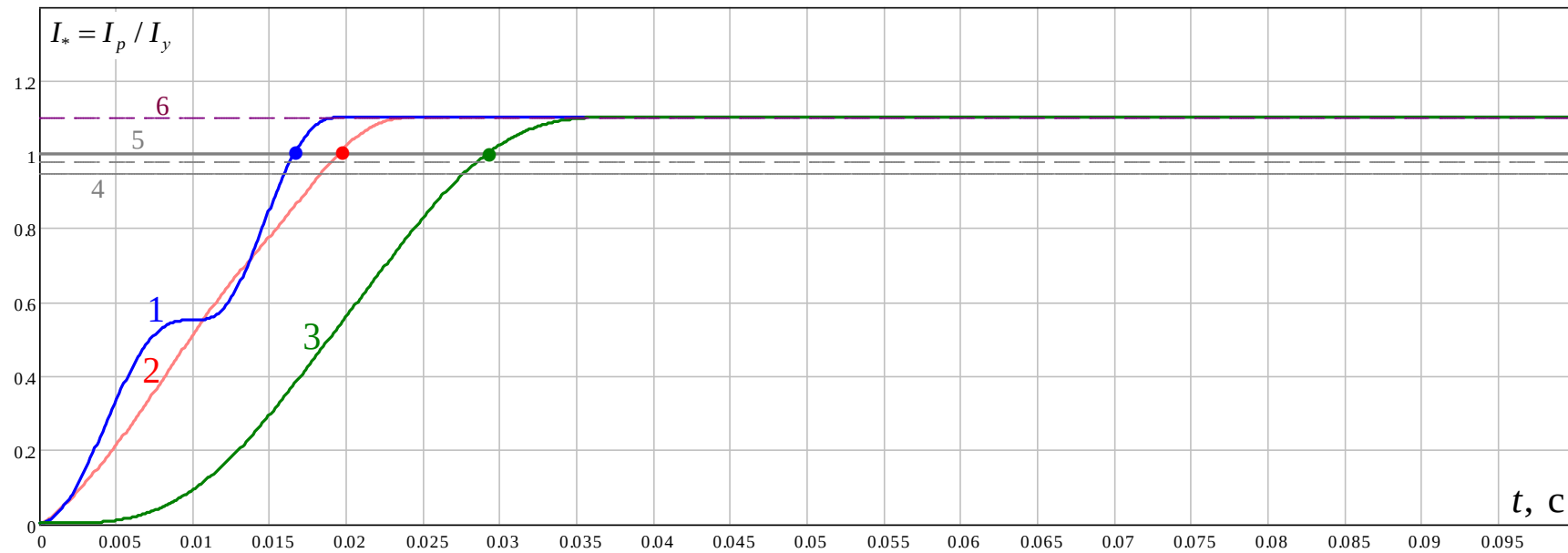
Необходимо увеличивать количество тестовых испытаний, соответствующих сложным электромеханическим и электромагнитным переходным процессам.



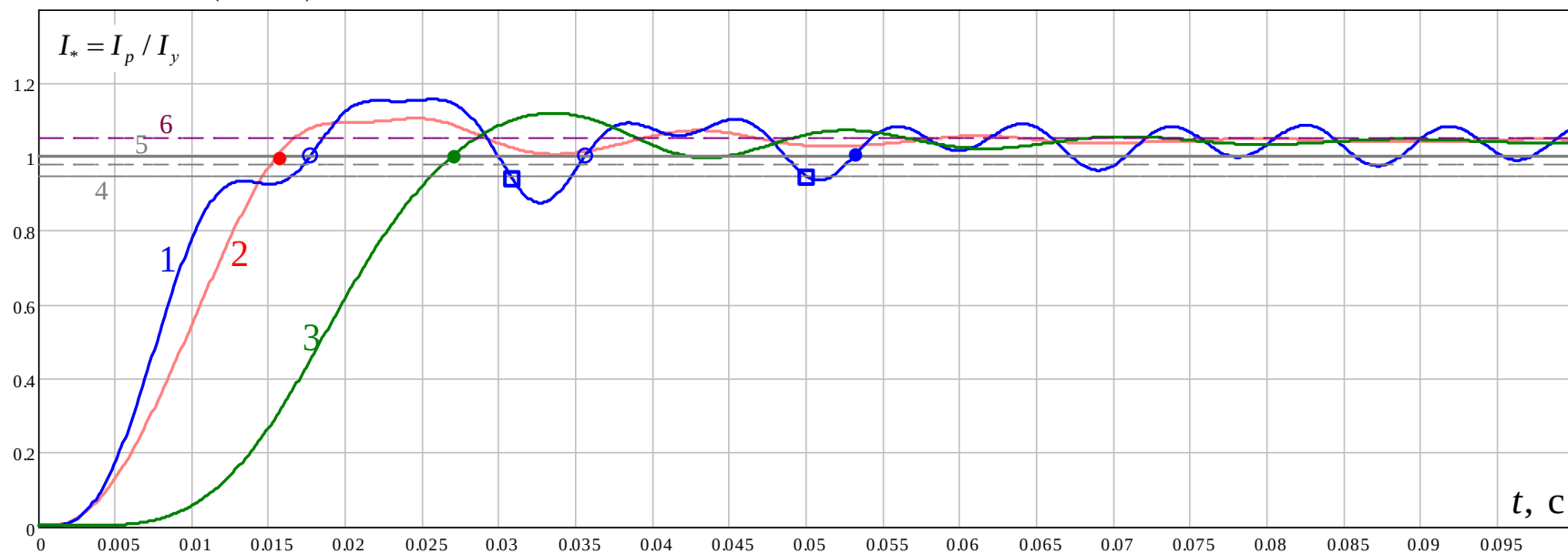
**Импульсные функции усредняющих фильтров:**

- 1 – фильтр с прямоугольным окном
- 2 – специально синтезированный фильтр
- 3 – фильтр в ENMU

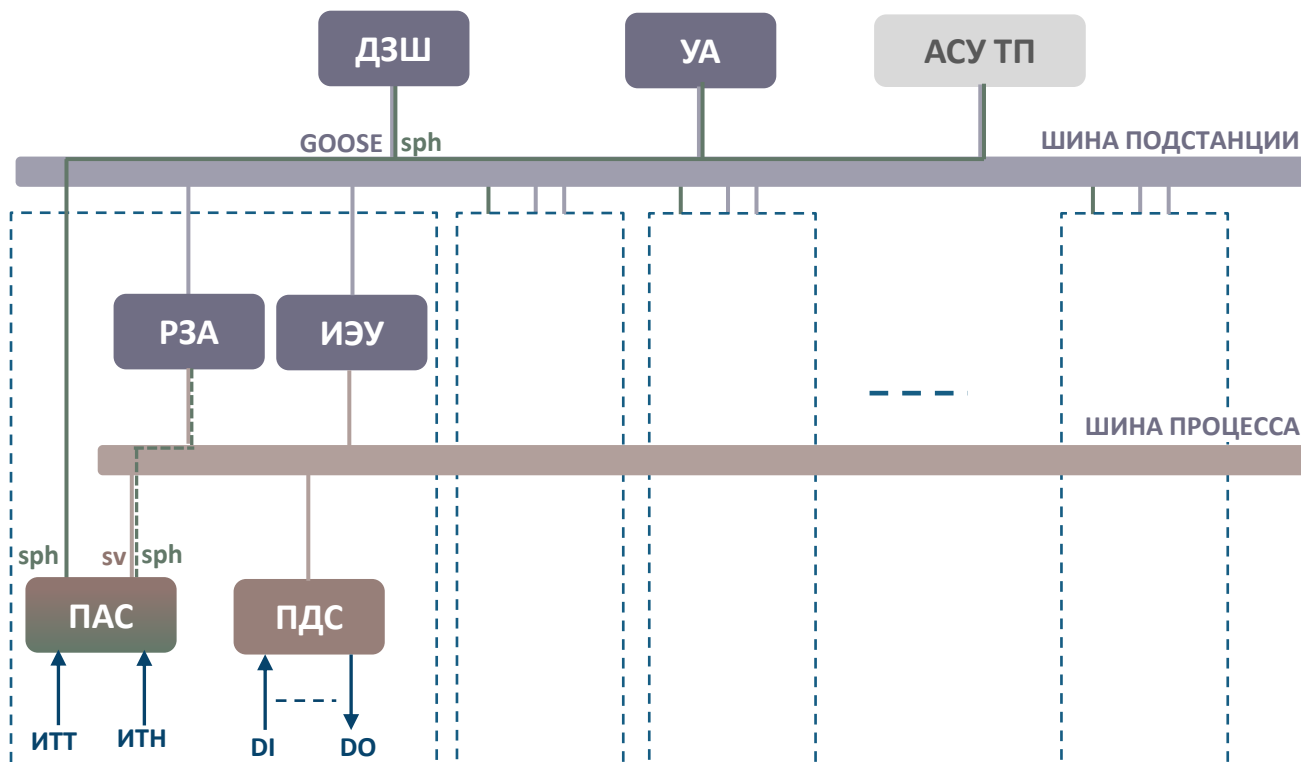
$$i(t) = I_m \sin(2\pi 50t) \quad I_p = 1,1I_y \quad k_e = 0,95 \text{ (0,98)}$$



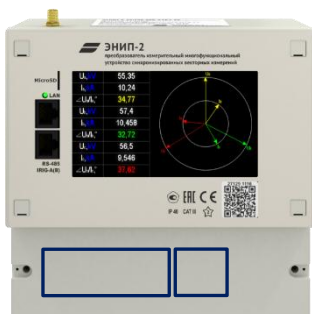
$$i(t) = I_m \cos(2\pi 55t) - I_m e^{-45t} \quad I_p = 1,05 \cdot I_y \quad k_e = 0,95$$







Использования СВИ для реализации устройств РЗА отдельных присоединений, дифференциальной защиты шин (ДЗШ), устройствами автоматики управления нормальными и аварийными режимами, а также для АСУ ТП подстанции.



ЭНИП-2-УСВИ



ESM-HV



ESM-ET



ESM-SV



Традиционные  
ИТТ, ИТН  
(1/5A), (57/100 V)



Датчики тока и  
напряжения  
с низкоуровневыми  
аналоговыми  
сигналами



Цифровые  
ИТТ, ИТН  
МЭК 61850-9-2



**Модификации** для подключения к электромагнитным ИТТ и ИТН, к датчикам тока и напряжения с низкоуровневым аналоговым сигналом, к цифровым ИТТ и ИТН.

**Интеграция в шину подстанции:** 2(4) порта Ethernet с поддержкой протоколов МЭК 61850-8-1. Поддержка других протоколов обмена: Modbus RTU/TCP, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104 и др.

Разработаны **прототипы цифровых КРУ** с рядом ведущих КРУ-строительных заводов.

Два цифровых КРУ установлены на полигоне “Цифровая подстанция” Северного (Арктического) федерального университета.

## ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЦИФРОВОГО КРУ



Altea,  
Оптимерик,  
KPB Intra s.r.o.

Цифровой комбинированный датчик тока и напряжения TECV.P1-10 со встроенным преобразователем аналоговых сигналов (AMU).

Измерение тока

- трансформатор тока маломощный
- катушка Роговского

Измерение напряжения

- емкостной делитель напряжения

Поддержка МЭК 61850-9-2, 1(2) порта Ethernet.

Поддержка низкоуровневой шины процесса, СВИ.



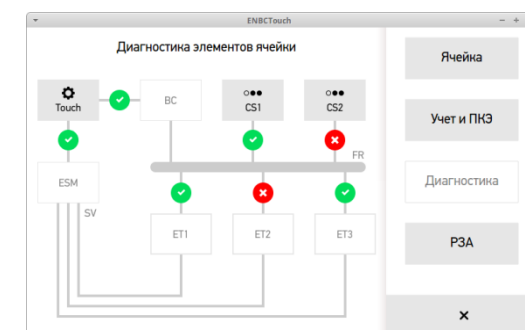
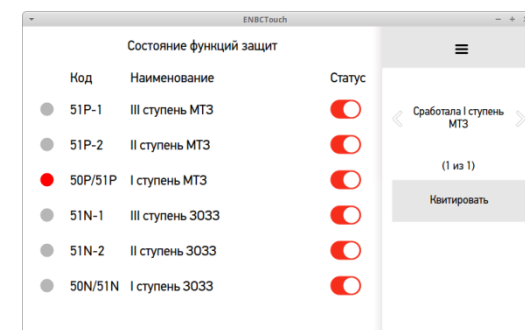
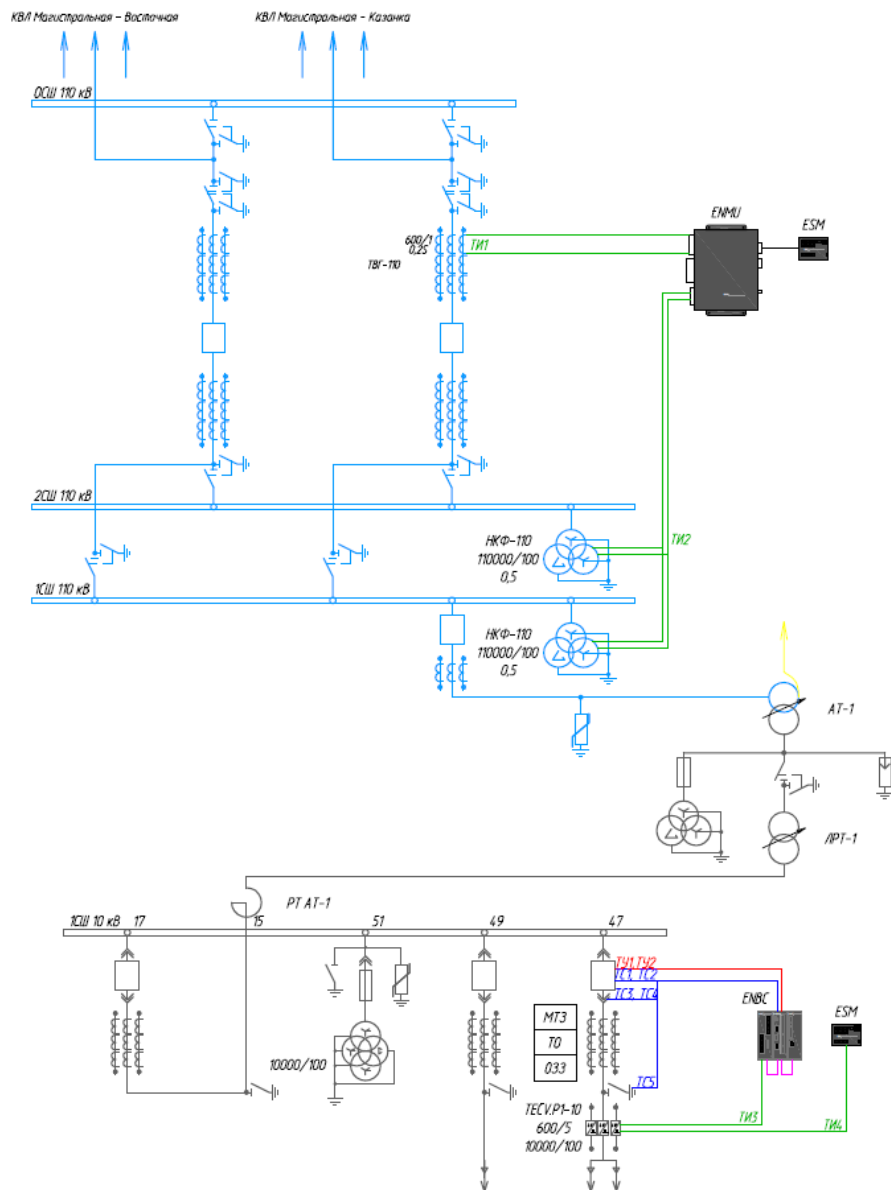
Многофункциональное устройство ENBC:

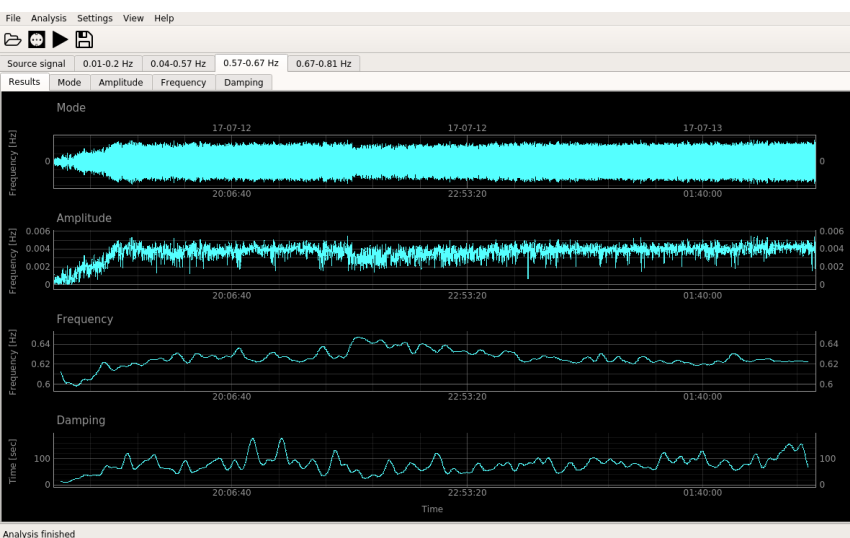
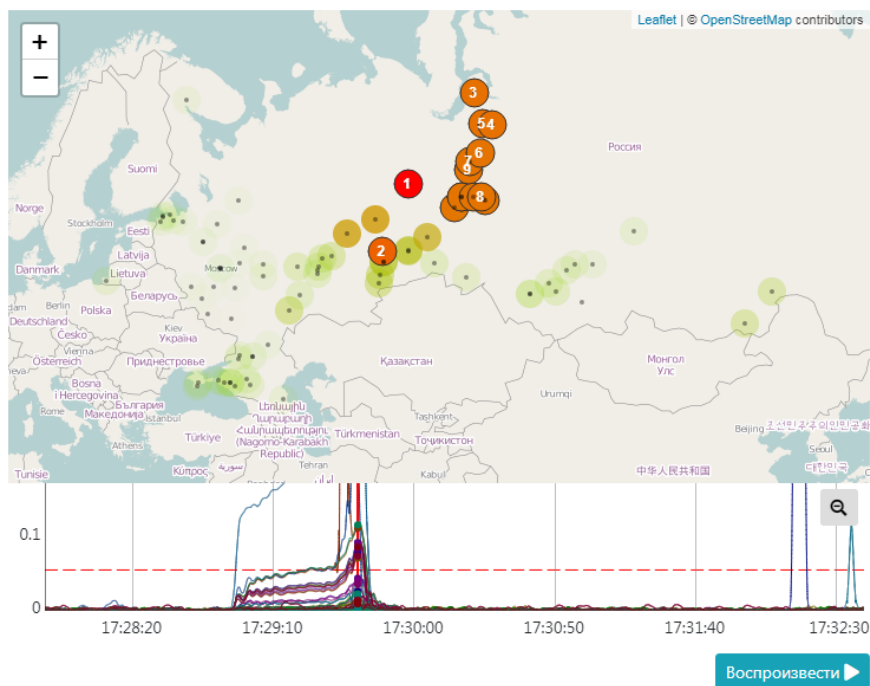
- релейная защита и автоматика,
- контроллер присоединения.



Многофункциональное измерительное устройство ESM:

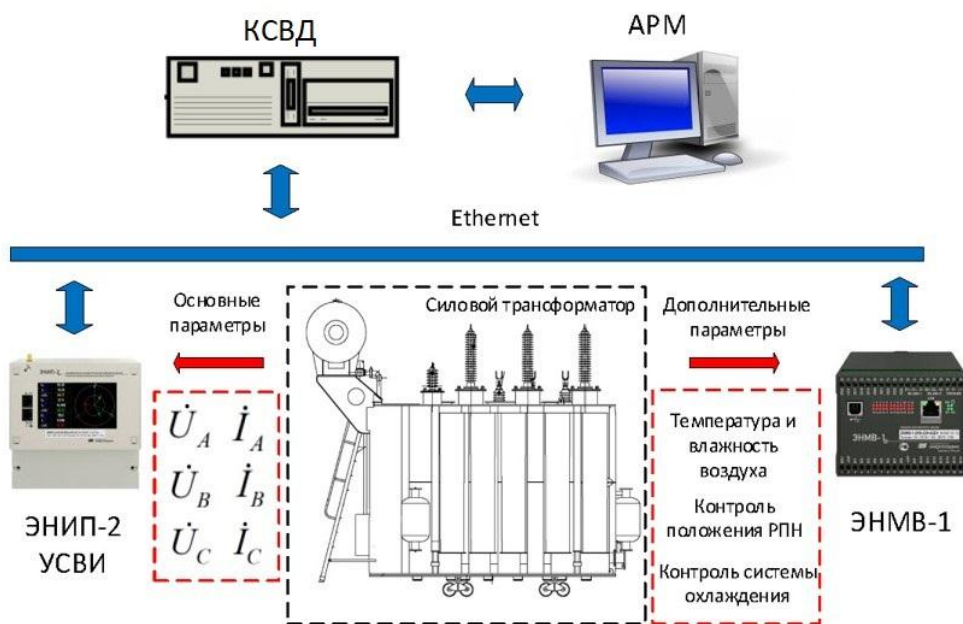
- МИП телемеханики,
- счетчик,
- прибор ПКЭ,
- многофункциональный щитовой прибор.





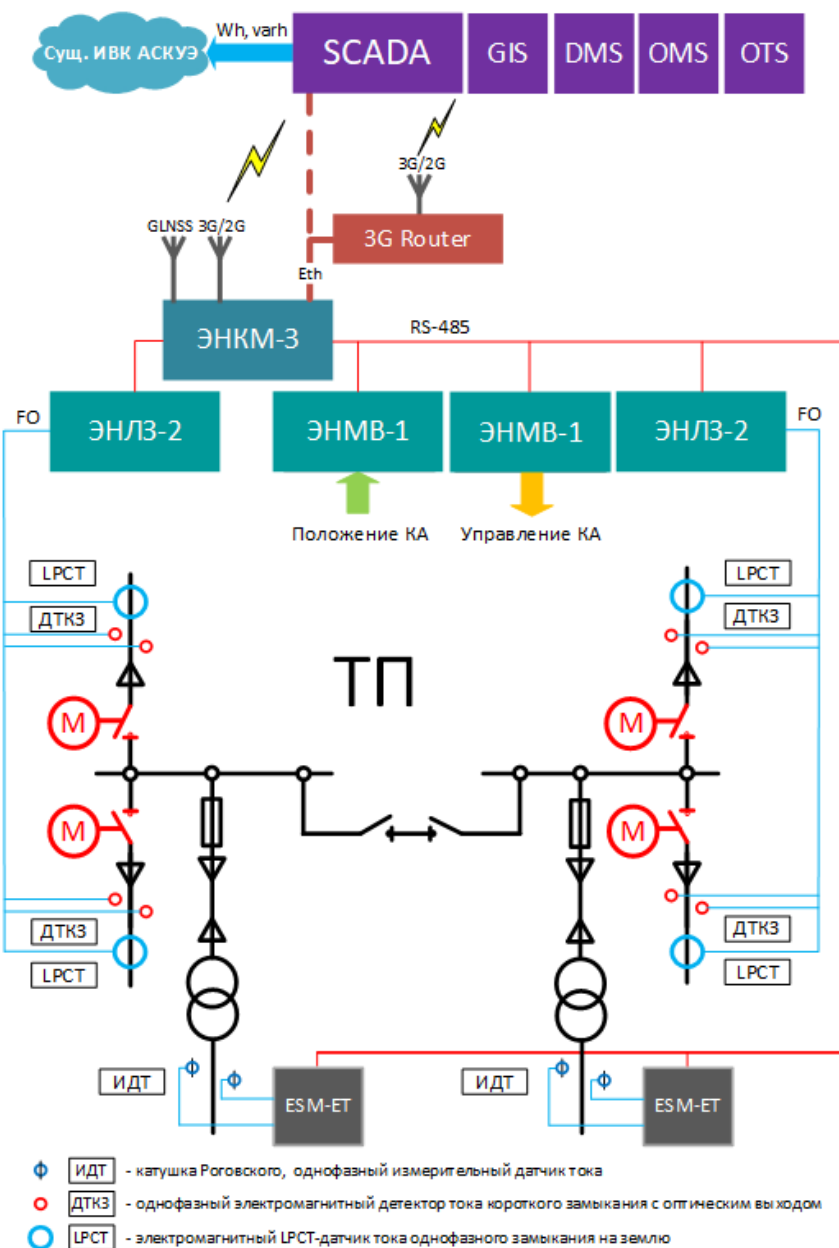
Специалистами ООО “Инженерный центр “Энергосервис” ведется работа по созданию комплекса программ ESPM для решения различных прикладных задач с применением методов анализа данных СВИ:

- мониторинг параметров низкочастотных колебаний и обнаружения их источника,
- оценка статических и динамических характеристик нагрузки,
- мониторинг электрооборудования.



МОНИТОРИНГ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА





Отключение аварийных участков при КЗ и ОЗЗ, восстановление питания сети.

**Устройство ЭНЛЗ** содержит 6 оптических входов для подключения индикаторов тока КЗ и индикаторов ОЗЗ с оптическим выходом и 2 аналоговых входа для подключения к датчикам тока нулевой последовательности.

В сетях с компенсированной нейтралью для определения поврежденного фидера при ОЗЗ в ЭНЛЗ производится измерение синхровекторов токов нулевой последовательности.

Пилотный проект в Архэнерго, 2019 г.



*Благодарю за внимание!*

Мокеев Алексей Владимирович  
доктор техн. наук, профессор,  
Северный (Арктический) федеральный университет  
[a.mokeev@narfu.ru](mailto:a.mokeev@narfu.ru)  
зам. генерального директора  
ООО "Инженерный центр "Энергосервис",  
[a.mokeev@ens.ru](mailto:a.mokeev@ens.ru)  
<http://www.enip2.ru>