

О ПРИНЦИПАХ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

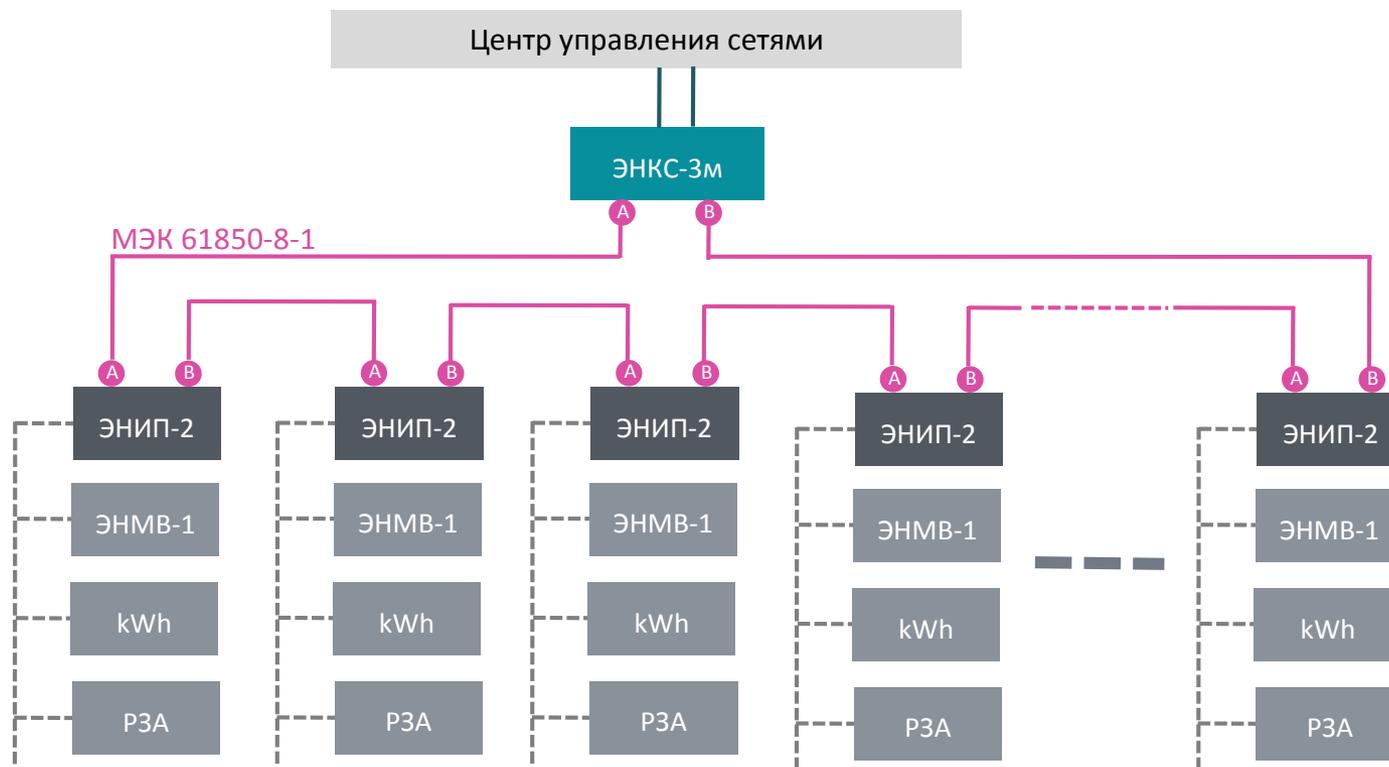
Мокеев Алексей Владимирович

Российскими производителями разработано большое количество ИЭУ различного функционального назначения с поддержкой протоколов согласно МЭК 61850-8-1.

Перечень ИЭУ: устройства РЗА, МИП ТМ, УСВИ, многофункциональные измерительные устройства и счетчики электроэнергии.

Основная проблема, до последнего времени препятствующая массовому внедрению таких ИЭУ, была связана чаще всего с более высокой их стоимостью по сравнению с обычными микропроцессорными устройствами управления, защиты, автоматики и измерений.

Увеличение стоимости связано также с необходимостью использования коммуникационного оборудования. Особенно это негативно сказывается при автоматизации РУ СН. Для эффективного решения указанной проблемы используют ИЭУ со встроенными сетевыми коммутаторами.



Снижение стоимости цифровых подстанций за счет применения *ИЭУ с 2 портами Ethernet и встроенными сетевыми коммутаторами.*

Позволяет отказаться от использования внешних сетевых коммутаторов и реализовать на подстанции *простую локальную сеть с кольцевой топологией* (протокол резервирования RSTP) и поддержкой протоколов цифровой подстанции согласно МЭК 61850-8-1.

Организация прозрачных каналов через ИЭУ для устройств РЗА, счетчиков и других устройств.

Ограниченное число серийно производимых цифровых измерительных первичных преобразователей (датчиков) тока и напряжения.

Как следствие - необходимость применения обычных ИТТ и ИТН и внешнего SAMU.

Высокая стоимость ИЭУ с поддержкой МЭК 61850-9-2 для РУ СН.

Необходимость модернизации наиболее консервативной подсистемы дискретного ввода-вывода с использованием концевых выключателей, контактов коммутационных аппаратов и промежуточных реле и др.

Отсутствие на рынке разработок интеллектуальных выключателей и другой коммутационной аппаратуры.

Высокие требования по надежности и пропускной способности локальной сети для организации шины процесса, связанные с необходимостью передачи оцифрованных мгновенных значений токов и напряжений.

В настоящее время прогресс в автоматизации в электроэнергетике определяют *две основные технологии: цифровой подстанции и синхронизированных векторных измерений.*

Синхровекторы тока и напряжения могут использоваться как *дополнение или альтернатива выборочным значениям*, по сути представляющим «сырые» оцифрованные значения токов и напряжений.

При использовании синхровекторов резко снижается трафик по шине процесса, упрощается реализация продольных дифференциальных защит и дифференциальных защит шин, централизованных устройств управления нормальными и аварийными режимами работы.

Функции измерения синхровекторов тока и напряжения лучше всего возложить на *аналоговые устройства сопряжения с шиной процесса* (AMU), подключаемые к традиционным измерительным трансформаторам тока и напряжения (SAMU) или встраиваемым в современные первичные измерительные преобразователи (датчики) тока и напряжения.

ENMU: аналоговое устройство сопряжения с шиной процесса
(SAMU, Stand-Alone Merging Unit)



Подключение к измерительной и релейной обмоткам ИТТ.

Дополнительно реализованы функции **телеизмерений, регистратора аварийных событий** и **PCMU** (Phasor Control and Measurement Unit), **концентратора векторных данных**.

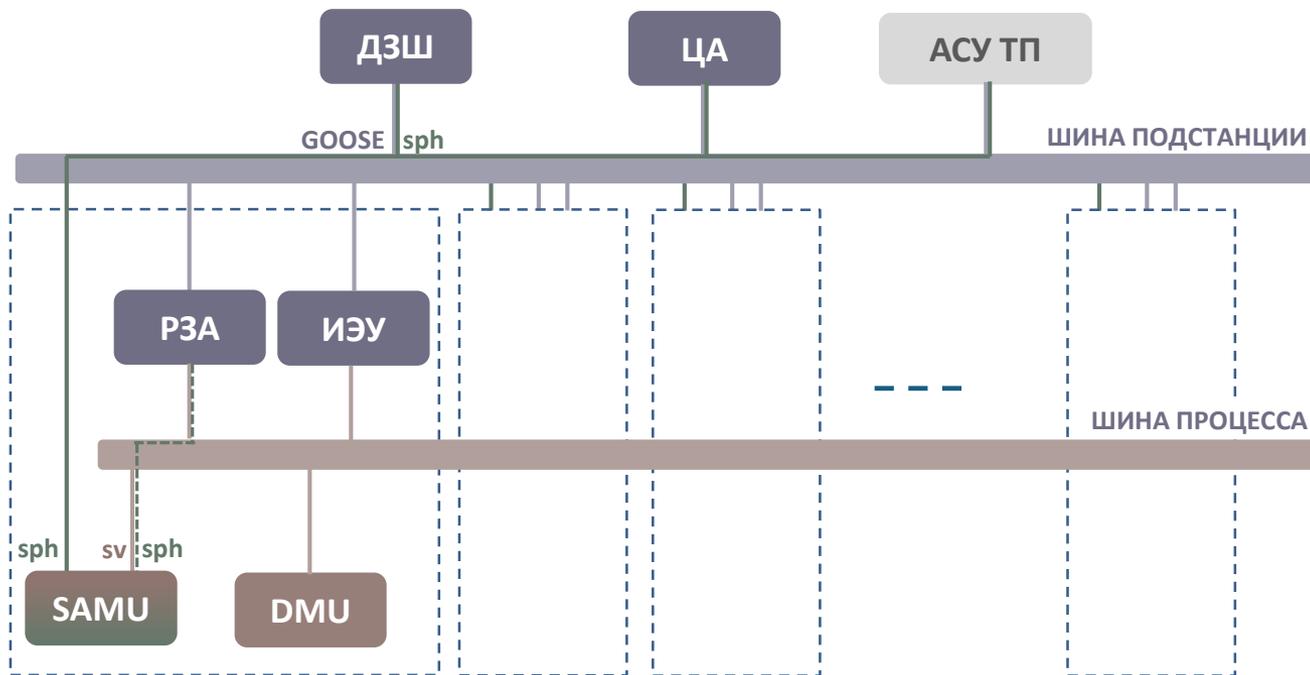
3 порта Ethernet 100Base-T/FX

Формирование и одновременная передача

- 3 потока SV (sv256, sv80m, sv80r),
- синхронизированных векторных измерений IEEE C37.118.2,
- передача телемеханической информации МЭК 60870-5-104.

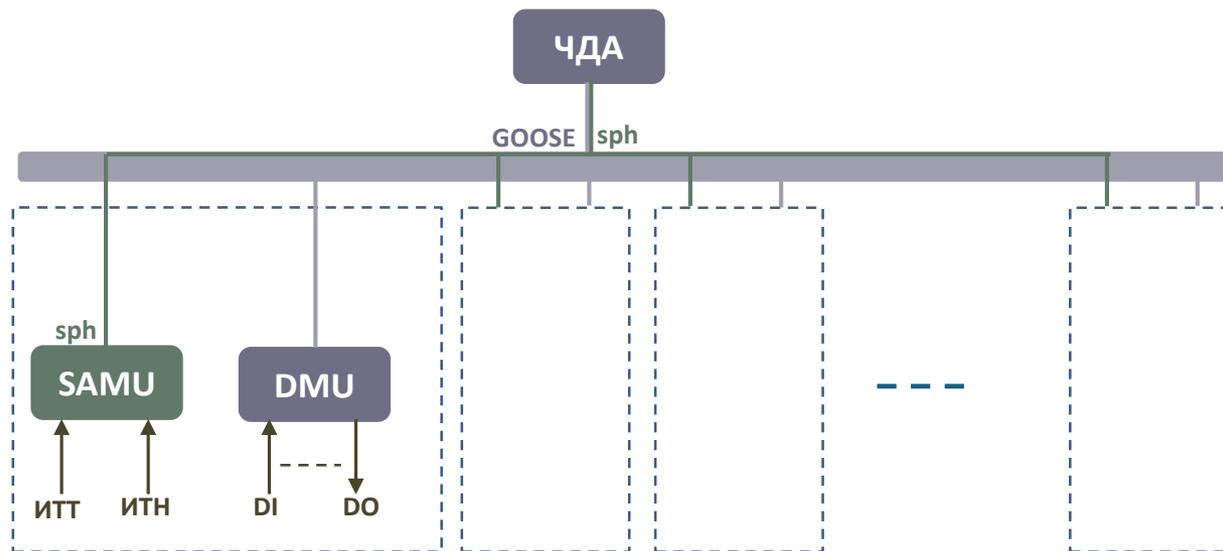
Синхронизация времени

оптический интерфейс SYNC: PTP, PPS, IRIG-A/B.



Пример использования синхронизированных векторных измерений для реализации устройств РЗА отдельных присоединений, дифференциальной защиты шин (ДЗШ), централизованной автоматики (ЦА) управления нормальными и аварийными режимами, а также для АСУ ТП подстанции. Разумное сочетание децентрализованного и централизованного принципа для решения задач управления, защиты и автоматики в его классическом понимании.

В предлагаемом варианте реализации цифровой подстанции предусмотрено преимущественное использование синхровекторов (sph), в том числе и эквивалентных синхровекторов.



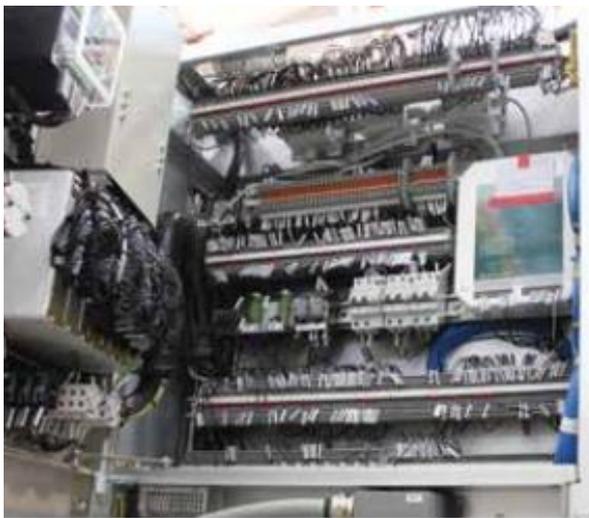
Пример использования СВИ для реализации устройств РЗА отдельных присоединений, дифференциальной защиты шин (ДЗШ), централизованной автоматики (ЦА) управления нормальными и аварийными режимами, а также для АСУ ТП подстанции. При этом обеспечивается разумное сочетание децентрализованного и централизованного принципа для решения задач управления, защиты и автоматики в его классическом понимании.

В предлагаемом варианте реализации цифровой подстанции предусмотрено преимущественное использование синхровекторов (sph), в том числе и эквивалентных синхровекторов, а потоки выборочных значений токов и напряжений (sv) имеют ограниченное использование.

НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ КРУ 6-35 КВ

Большое количество медных проводов как внутри ячейки, так и между ячейками вследствие использования устаревших технологий и **многократного дублирования аналоговых и дискретных сигналов** для устройств РЗА, ТМ, управления ячейкой, для реализации оперативных блокировок и др.

Большая доля ручного труда, сложность тестирования ячеек после их сборки, отсутствие диагностики указанных цепей приводит к снижению надежности и увеличению затрат при производстве и эксплуатации высоковольтных ячеек.



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**. Наиболее *привлекательный вариант: промышленная сеть FlexRay* (10 Мбит/с).

FlexRay - надежная и устойчивая 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.

Взаимодействие между микропроцессорами устройства РЗА и СМ_16 производится с помощью сухих контактов и промежуточных реле.

Необходим **переход на цифровое взаимодействие между устройством РЗА и с БУ ВВ.**

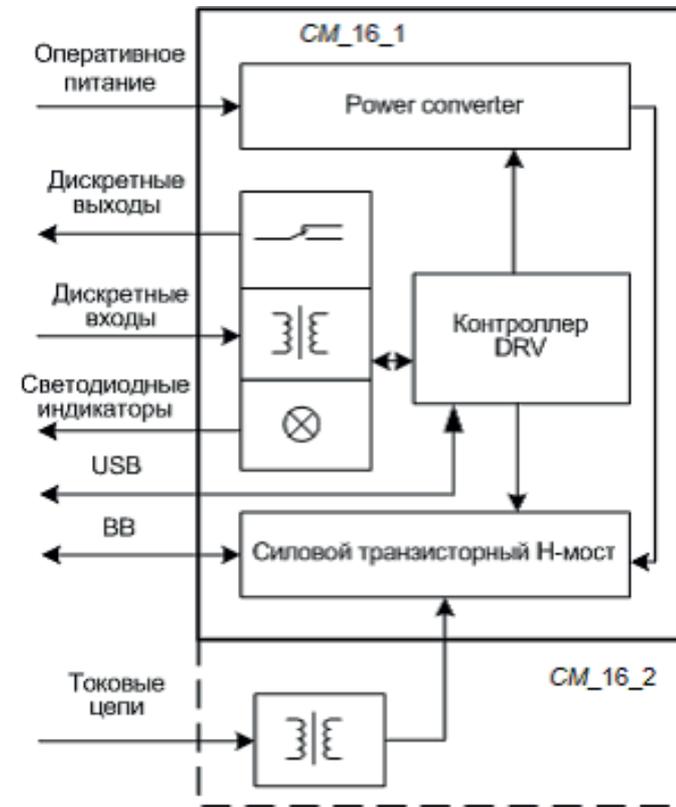
Микропроцессор в блоке управления СМ_16 диагностирует около 10 неисправностей, но информация доступна только через сухой контакт и частоту мигания светодиода.

Неисправности, индицируемые СМ_16

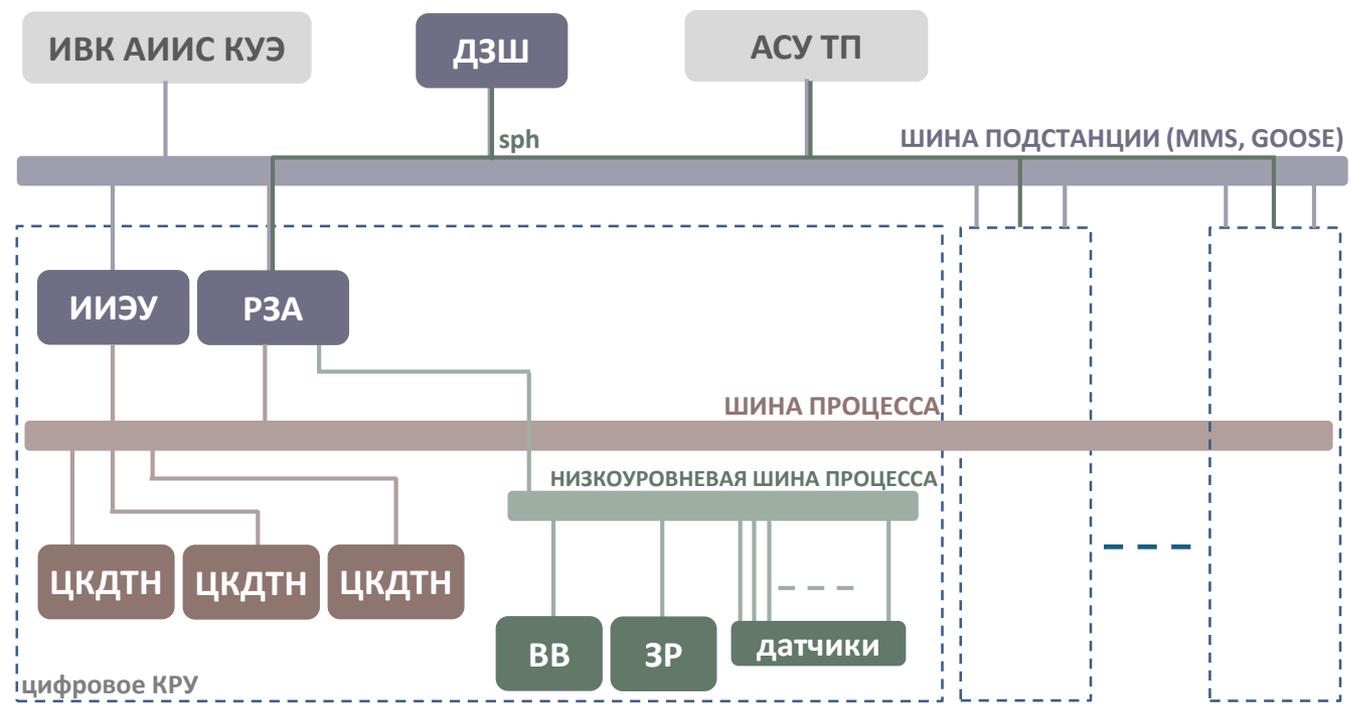
- отсутствие оперативного питания более 1,5 с
- отказ включения или отключения ВВ
- обрыв в цепи электромагнита
- короткое замыкание в цепи электромагнита
- коммутационный модуль отключён и заблокирован
- перегрев модуля управления
- самопроизвольное отключение
- внутренняя неисправность модуля управления



Блок управления СМ_16



ВАРИАНТ 1. ПОЛНОЦЕННОЕ РЕШЕНИЕ СОГЛАСНО МЭК 61850

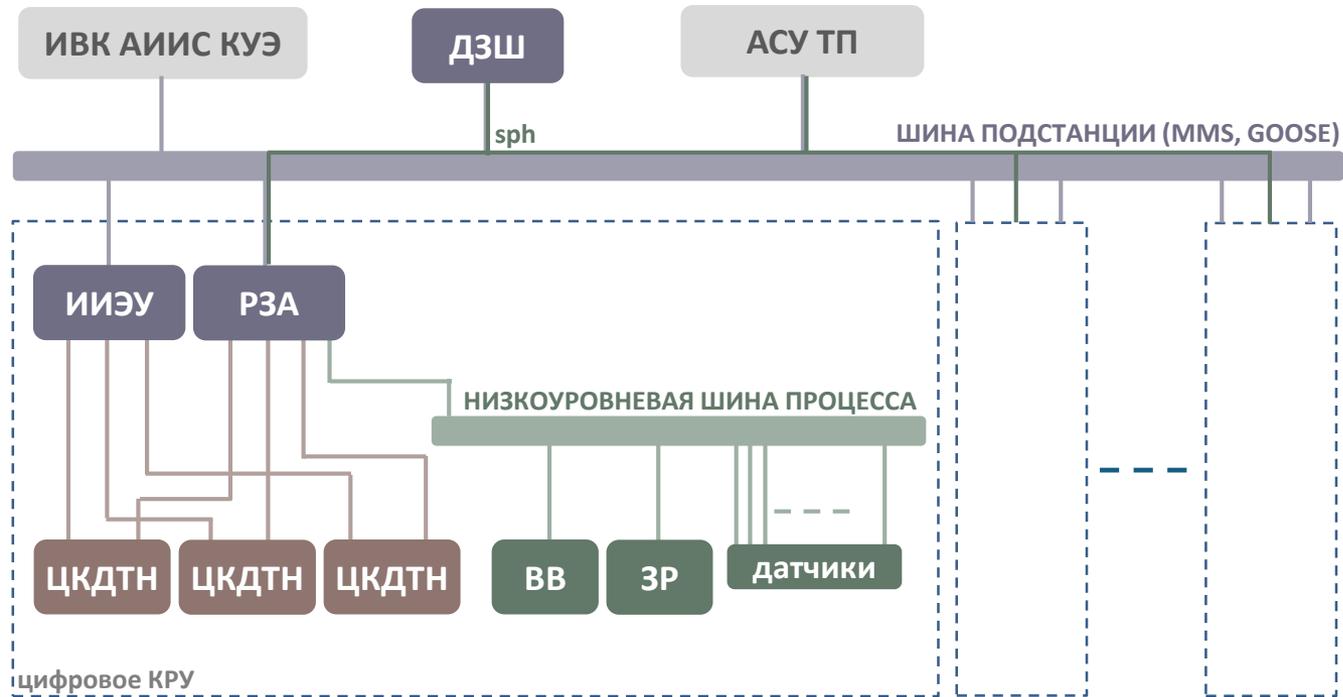


Полноценная реализация шины процесса, совместимость с существующими УРЗА.
 Необходимость применения сетевых коммутаторов для реализации шины процесса.

Существенное удорожание ЦП

- ЦКДТН – цифровой комбинированный датчик тока и напряжения,
- ВВ – вакуумный выключатель,
- ЗР – заземляющий разъединитель,
- ИИЭУ – многофункциональное измерительное ИЭУ.

ВАРИАНТ 2. УПРОЩЕННЫЙ ВАРИАНТ ШИНЫ ПРОЦЕССА



Эффективно только при использовании цифровых **комбинированных** датчиков тока и напряжения.

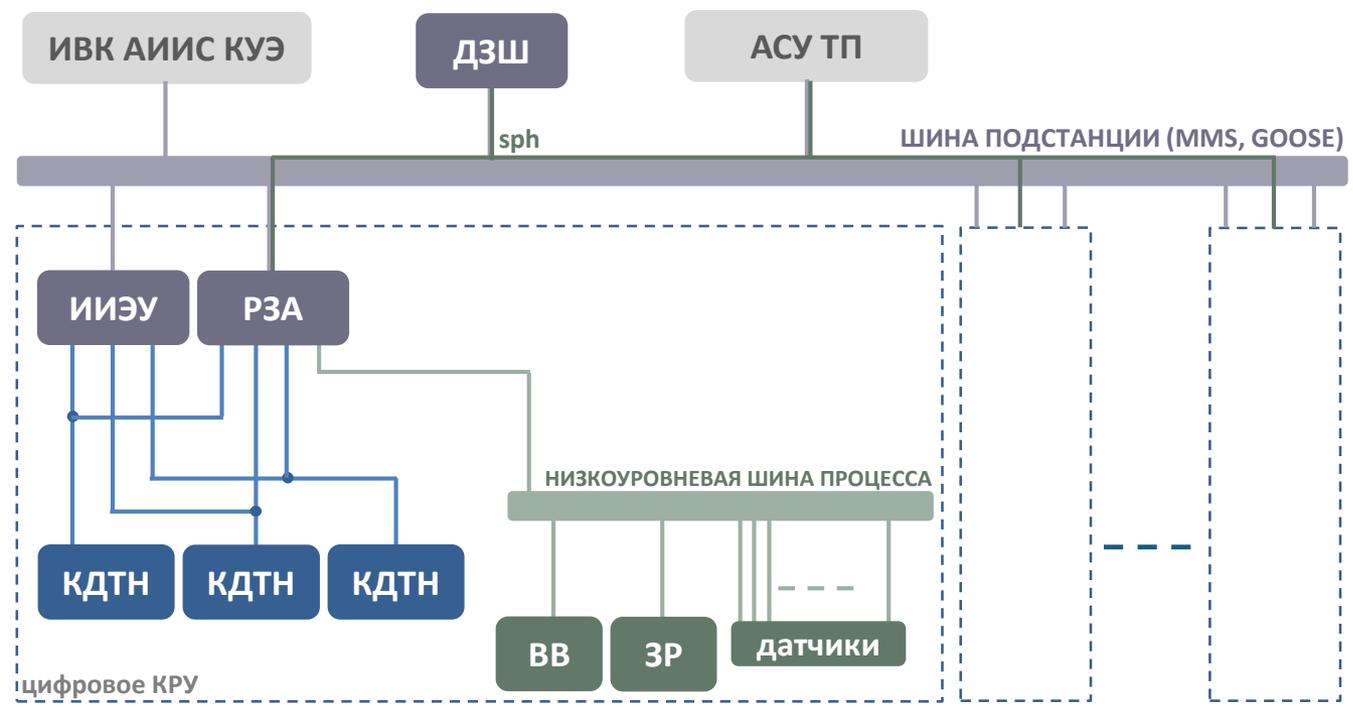
Шина процесса простейшей топологии (точка-точка), только аналоговые sv-потoki.

РЗА и ИИЭУ должны иметь 3 Ethernet порта.

Внешняя шина процесса для всей подстанции (sv и GOOSE) – опционально.

Роль шлюза выполняет устройство РЗА.

ВАРИАНТ 3. ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ



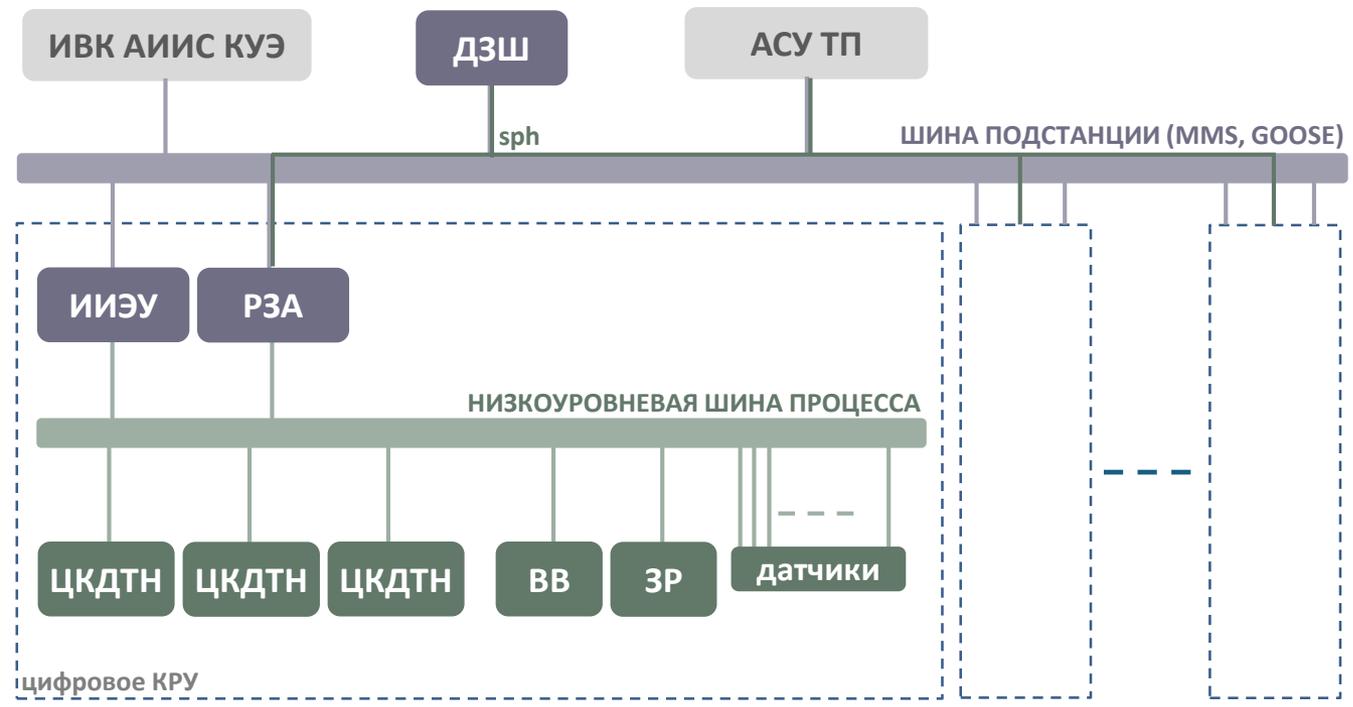
Невысокая стоимость

Уменьшение габаритов и стоимости РЗА

Отсутствие диагностики, худшие метрологические характеристики.

КДТН – комбинированный датчик тока и напряжения с низкоуровневыми аналоговыми сигналами

ВАРИАНТ 4. НИЗКОУРОВНЕВАЯ ШИНА ПРОЦЕССА



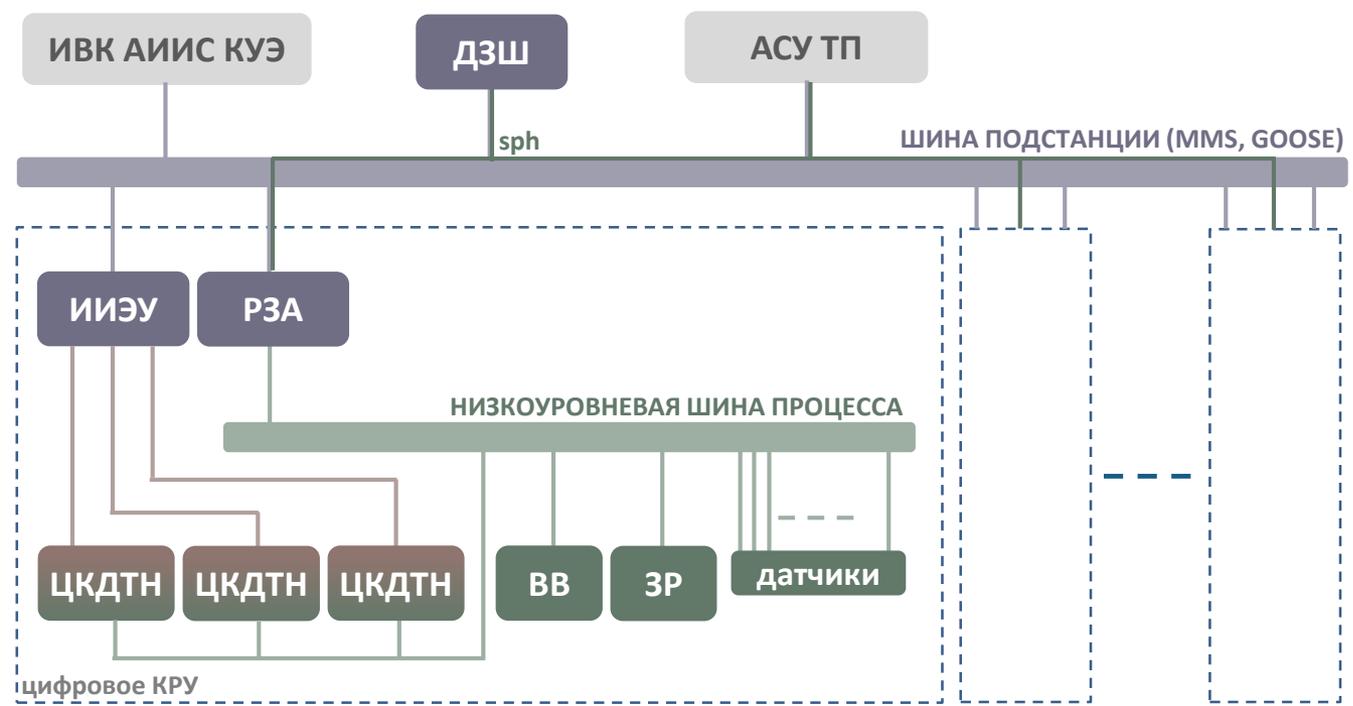
Эффективно как при использовании цифровых **комбинированных** датчиков тока и напряжения, так и отдельных датчиков тока и напряжения.

Низкоуровневая шина процесса объединяет все данные внутри КРУ.

Равный доступ всех ИЭУ к цифровым данным.

Внешняя шина процесса для всей подстанции (sv и GOOSE) – опционально.

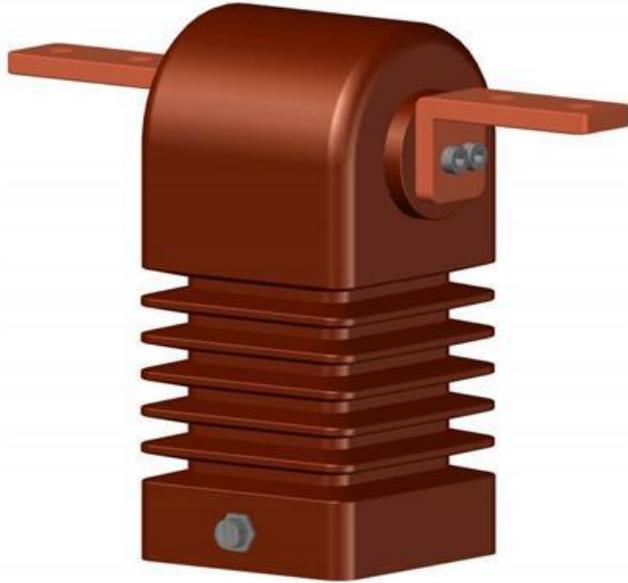
ВАРИАНТ 5. КОМБИНИРОВАННЫЙ ВАРИАНТ



Отдельные сети для устройства РЗА и ИИЭУ.

Подключение ИИЭУ с ЦКДТН с использованием шины процесса (топология точка-точка), подключение РЗА – через низкоуровневую шину процесса .

Комбинированный датчик тока и напряжения 10 кВ ТЕСV.P1-10



Модификации ТЕСV.P1-10

- активный,
- пассивный (в разработке),
- цифровой.

Измерение тока

- трансформатор тока маломощный
- катушка Роговского

Измерение напряжения

- емкостной делитель напряжения

Цифровой КДТН на основе ТЕСV.P1-10 со **встроенным аналоговым устройством сопряжения (АМУ)**.

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

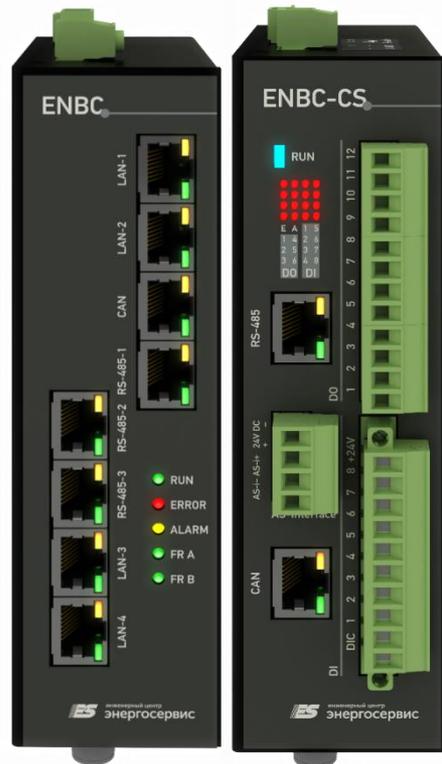
Поддержка сети FlexRay (2 резервируемых канала передачи данных).

Содержимое передаваемых выборочных значений токов и напряжений от цифрового КДТН по сети FlexRay аналогично выборочным данным шины процесса.

Дополнительно реализованы функции УСВИ.



**Altea,
Оптимерик,
КРВ Intra s.r.o.**



Многофункциональное устройство ENBC

Предназначено для работы совместно с цифровыми комбинированными датчиками тока и напряжения TECV.P1-10.

Устройство ENBC подключается к КДТН посредством низкоуровневой шины процесса FlexRay.

Выполняемые функции:

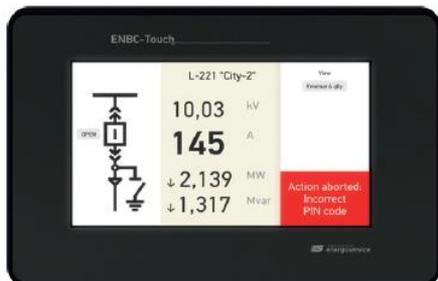
- **контроллер присоединения,**
- **релейная защита и автоматика,**
- **устройство синхронизированных векторных измерений,**
- **шлюз FlexRay/IEC61850.**

Как контроллер присоединения ENBC обеспечивает обмен данными с АСУ ТП объекта, другими ENBC и прочими интеллектуальными электронными устройствами (IED) на объекте по сети Ethernet в рамках шины подстанции МЭК 61850-8-1.

Кроме того, ENBC обеспечивает передачу данных согласно IEEE C37.118.2.

Модуль ENBC-CS

обеспечивает интеграцию в низкоуровневую шину процесса дискретных сигналов, цифровых датчиков и выдачу воздействий через контакты дискретных выходов или по цифровому интерфейсу.





Традиционные
(1/5A), TH(57/100 V)

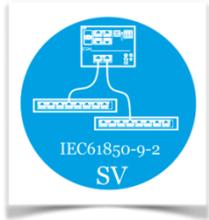


LPCT или электронные
ТТ, ТН



ESM может применяться в качестве

- **многофункционального измерительного преобразователя ТМ,**
- **счетчика электрической энергии (класс точности 0,2S),**
- **прибора для измерения ПКЭ,**
- **многофункционального щитового прибора,**
- **устройства синхронизированных векторных измерений (PMU).**



Шина процесса
IEC 61850-9-2LE



Основные модификации:

- **с аналоговыми входами (ИТТ и ИТН),**
- **с аналоговыми низкоуровневыми входами (КДТН),**
- **с цифровыми входами (3xEthernet, МЭК 61850-9-2LE),**
- **с цифровыми входами FlexRay (2 канала).**



Шина FlexRay

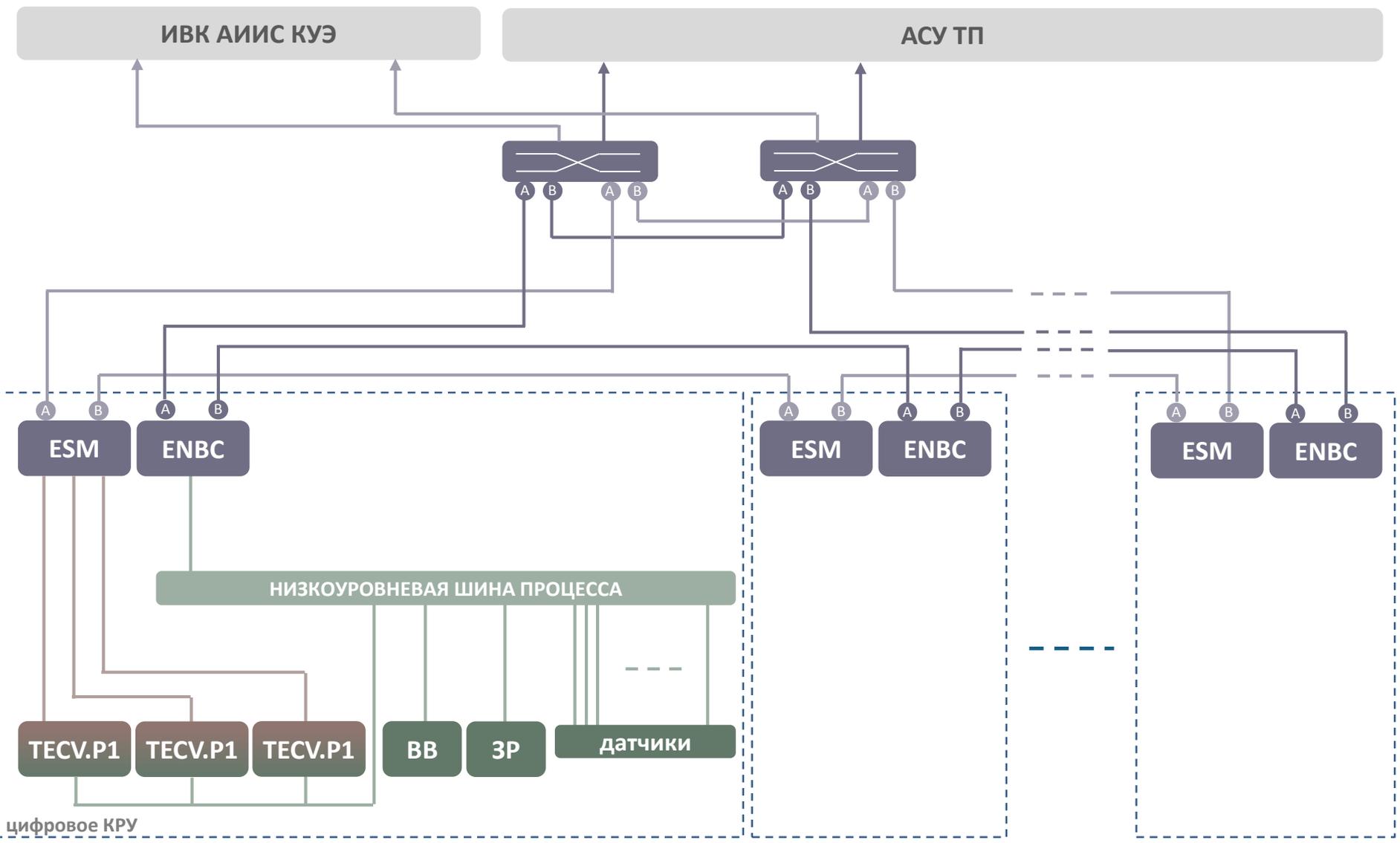


Интеграция в шину подстанции:

2(4) порта Ethernet с поддержкой протоколов МЭК 61850-8-1.

Интеграция в традиционные автоматизированные системы Modbus RTU/TCP, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104.

Для индикации показаний
специальный модуль индикации ЭНМИ-6.



Экономичный вариант интеграции цифровых ячеек в шину подстанции. Всего 2 сетевых коммутатора и использование встроенных в ESM и ENBC коммутаторов.



Разработаны *прототипы цифровых КРУ* с тремя ведущими КРУ-строительными заводами.

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



Благодарим за внимание!

Мокеев Алексей Владимирович

зам. генерального директора, д-р техн. наук

ООО "Инженерный центр "Энергосервис",

a.mokeev@ens.ru

<http://www.enip2.ru>

Ульянов Дмитрий Николаевич

зам. генерального директора

ООО "Инженерный центр "Энергосервис"

d.ulyanov@ens.ru

<http://www.enip2.ru>