



ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ. СТАНДАРТ МЭК61850, МОСКВА, ИЮЛЬ 2019

# Практические вопросы внедрения ЦПС

Стефан Майер, ABB Grid Automation Systems, Швейцария, Андрей Маслов, АББ СиАС, Россия



---

# Содержание

Примеры архитектур

Модель данных МЭК 61850

Точная синхронизация времени

Выход за пределы подстанции



# Примеры архитектур

# Архитектура шины процесса

Шина процесса с резервированием PRP, охватывающая все подстанцию

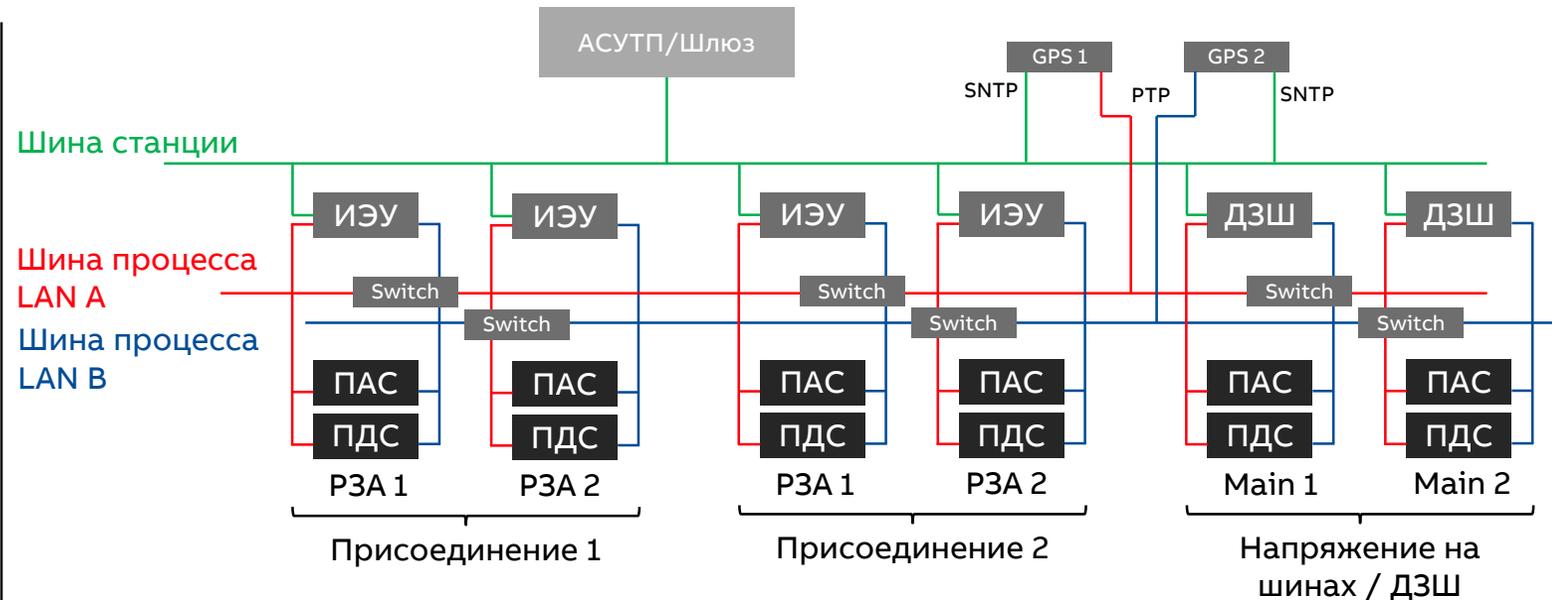
## Плюсы и минусы

### Преимущества

- Гибкий обмен данными процесса между присоединениями
- Гибкий обмен данными процесса между защитами одного присоединения
- Коммутаторы обеспечивают информацию для анализа, диагностики и моделирования

### Недостатки

- Высокая стоимость из-за большого количества коммутаторов
- Обязательное управление трафиком (VLAN, MAC-фильтрация)



# Цифровая подстанция Oborniki Slaskie (Оборники-Слёнске) - Польша

Применение FOCS 110 кВ и ПАС SAM600

## Объем проекта

- 5 x ОТТ FOCS, резервированные
- 10 x ПАС SAM600 (для ТТ)
- 12 x REF620 в качестве ПДС
- 4 x REF615 в качестве РЗА и ПАС для ДЗТ
- 13 x Relion 670 (RED, RET, REB, REC)
- АСУТП с резервированной СЕВ на базе GPS (PTP)

Шкаф наружной установки



Шкаф РЗА



# Оборники-Слёнске

## Архитектура

Шина станции на базе PRP

Единая шина процесса на базе PRP

2 КП для всей ПС

СЭВ на базе GPS с резервированием (PTR), подключенная к шине станции и шине процесса

Терминалы СН в качестве ПАС для ДЗТ (сторона НН)

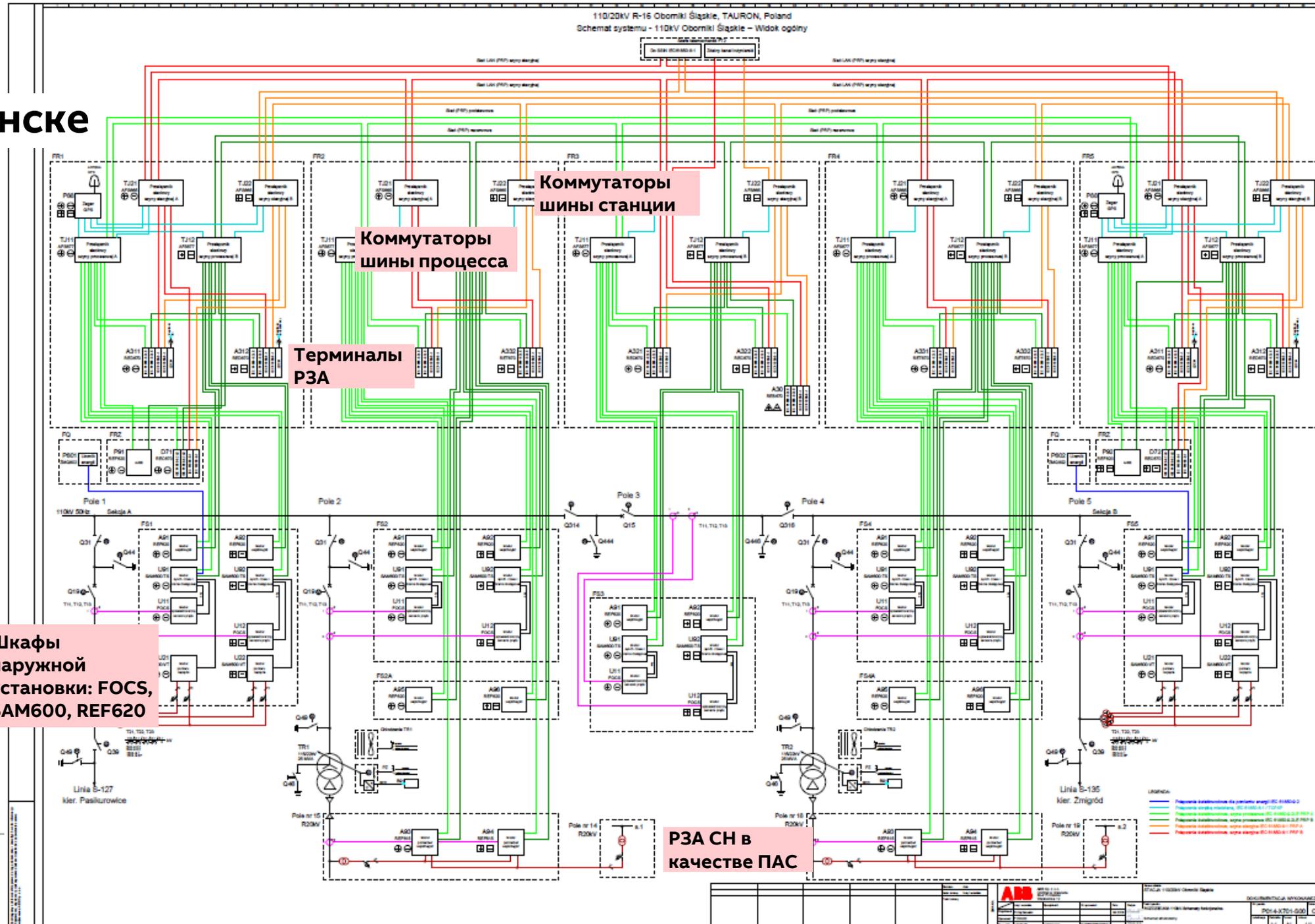
Шкафы наружной установки: FOCS, SAM600, REF620

Коммутаторы шины станции

Коммутаторы шины процесса

Терминалы РЗА

РЗА СН в качестве ПАС



# Архитектура шины процесса

Кольца HSR для каждого присоединения/комплекта РЗА, отдельное кольцо для ДЗШ

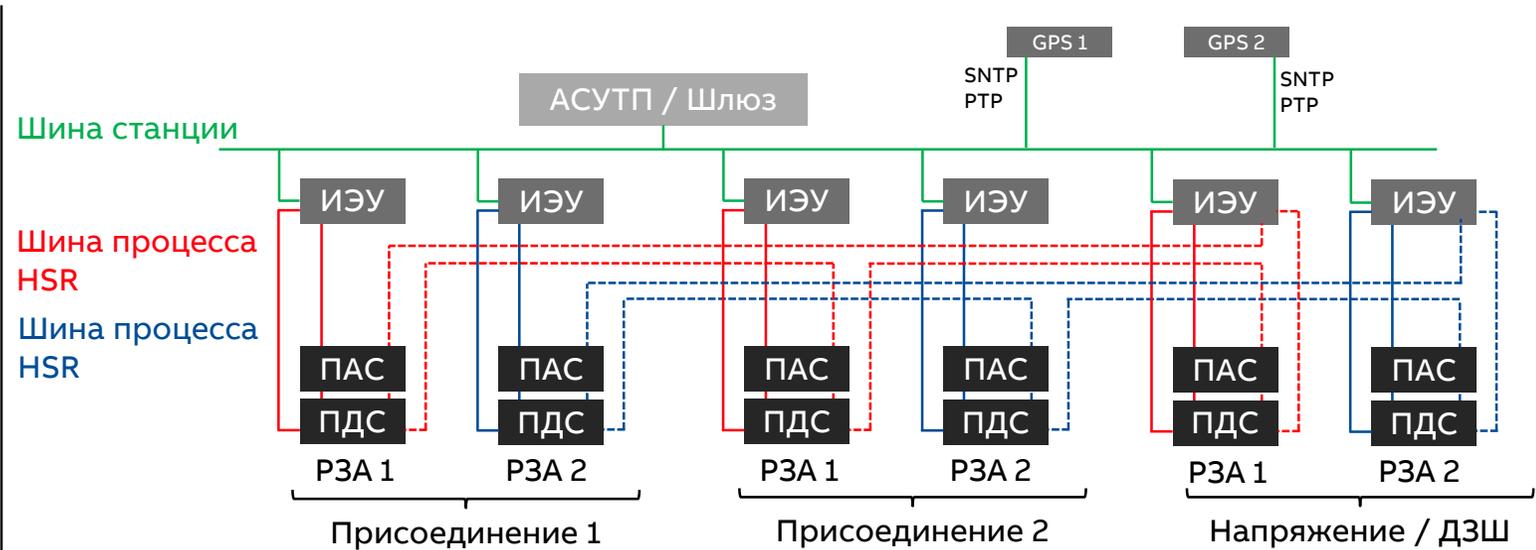
## Плюсы и минусы

### Преимущества

- Разграничение трафика в основе архитектуры
- Нет влияния на работу защит и комплектов присоединения при обслуживании
- Не требуется расчет и управление трафиком
- Размер ПС не влияет на производительность шины процесса
- Нет коммутаторов в составе шины процесса

### Недостатки

- Связь между комплектами защиты только по шине станции
- Ограничение обмена данными между присоединениями
- Обеспечение надежной синхронизации РТР требует резервирование шины станции



- Напряжение передается от ПАС ТН по «станционным» кольцам HSR (или по шине станции)
- ПАС присоединений получают напряжение из «станционного» кольца HSR и передают по кольцам HSR присоединений
- Функция граничных часов РТР в терминалах для синхронизации колец шины процесса

# Langedalen (Лангедален) - Норвегия

ПС 132 кВ с ОТТ FOCS и SAM600

**«Мы создаем новые возможности для завтрашнего дня»**

Заказчик: ВКК (энергетика, инфраструктура), занимается генерацией, продажей, передачей энергии, созданием оптических сетей

Ввод ПС в эксплуатацию: декабрь 2018

Устройства:

- ОТТ FOCS с резервированием
- ПАС и ПДС на базе модульного устройства SAM600
- Терминалы РЗА и управления серии Relion 670
- Шина процесса на базе колец HSR



# Лангедален

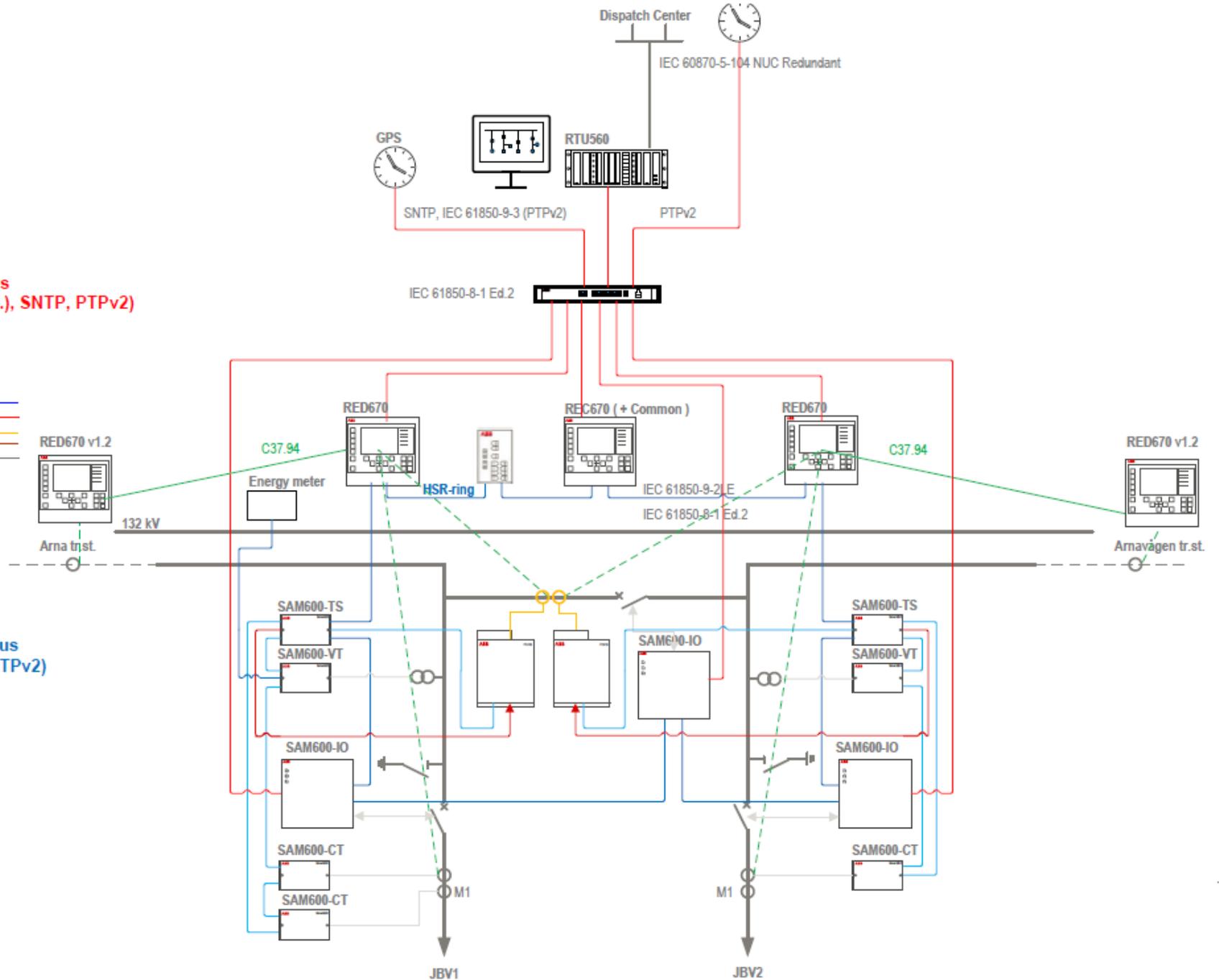
## Шина процесса HSR

IEC 61850 Station Bus  
(MMS, GOOSE (Interl.), SNTP, PTPv2)

**Legend:**

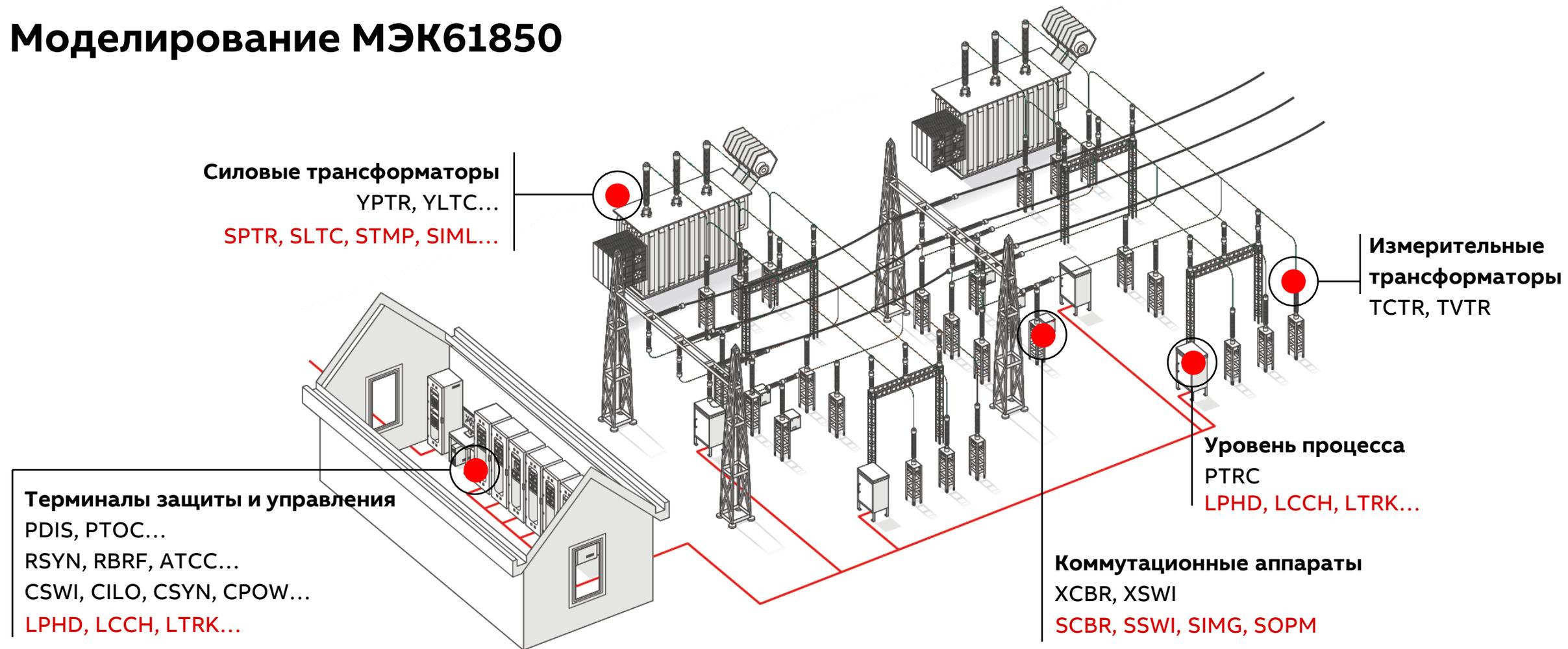
- Blue lines: IEC 61850 process bus
- Red lines: IEC 61850 station bus
- Orange lines: FOOS CT connection, optical
- Brown lines: 1PPS (pulse per second), optical
- Grey lines: Electrical connections

IEC 61850 Process Bus  
(SV, GOOSE (Trip), PTPv2)



# — Модель данных МЭК61850

# Моделирование МЭК61850



Последовательное применение для защиты, управления, обслуживания

# Моделирование LN

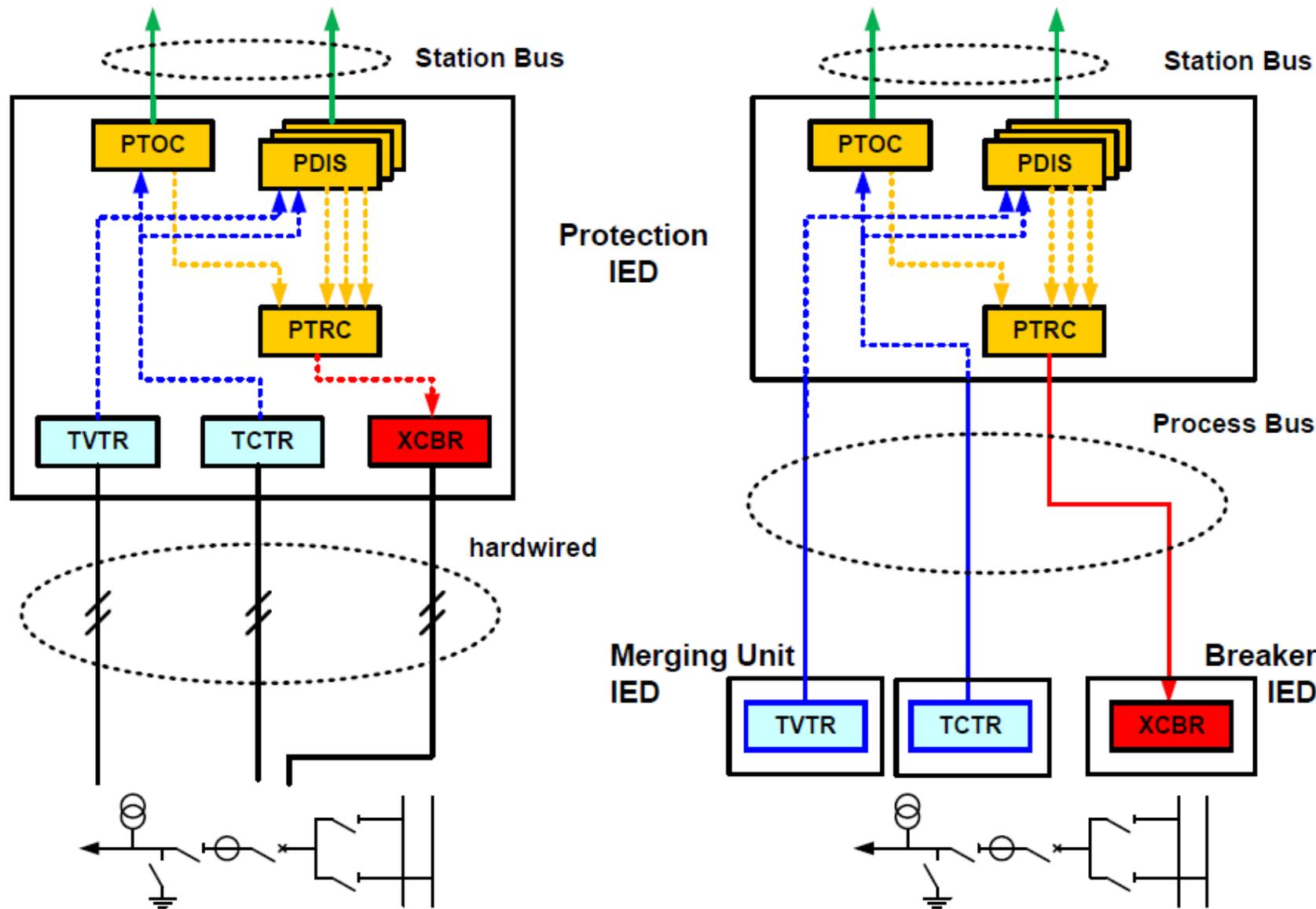
Релейная защита

## Моделирование LN

Защита присоединения

Слева – без шины процесса

Справа – с шиной процесса



# Модель данных в МЭК61850

## Пример

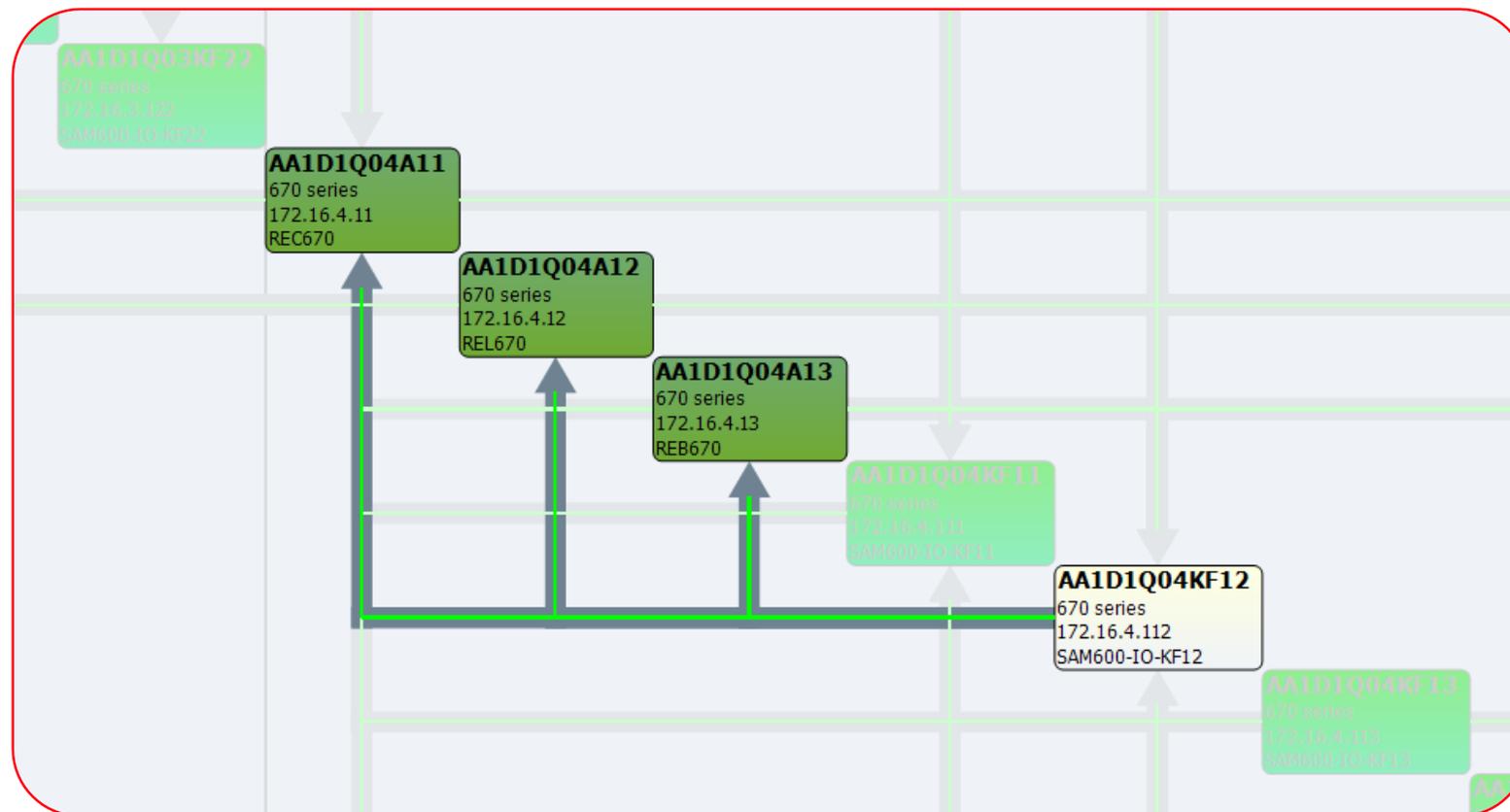
### GOOSE между ИЭУ

Графическое представление обмена данными на базе SCD-файла описания ЦПС

Прямоугольники по диагонали представляют различные устройства

Горизонтальные и вертикальные линии – связи GOOSE

Выделенные линии отражают обмен данными от выбранного устройства к другим терминалам

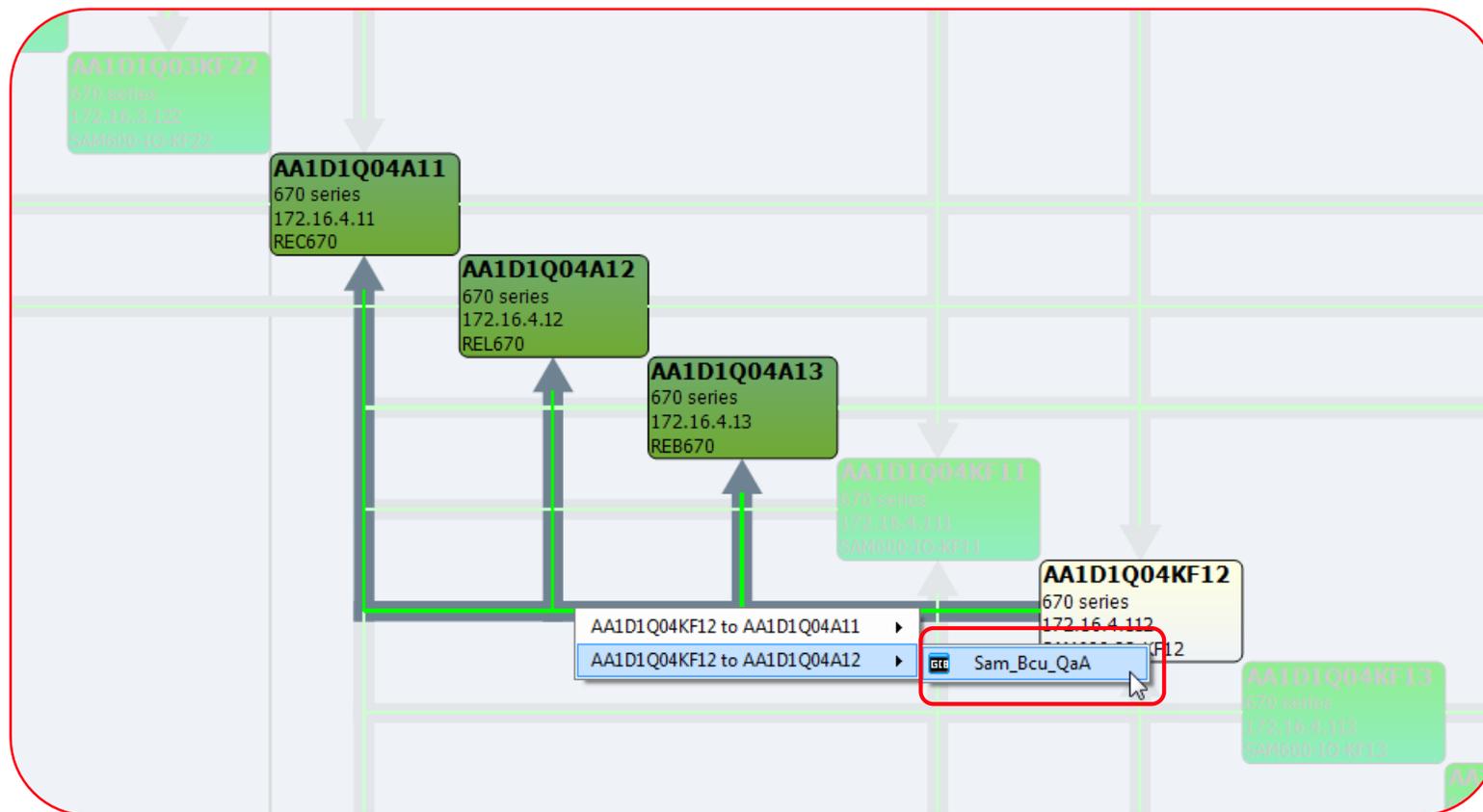


# Модель данных в МЭК61850

Пример

## Передаваемые данные

Правый щелчок мышкой на связях показывает передаваемые наборы данных (dataset)



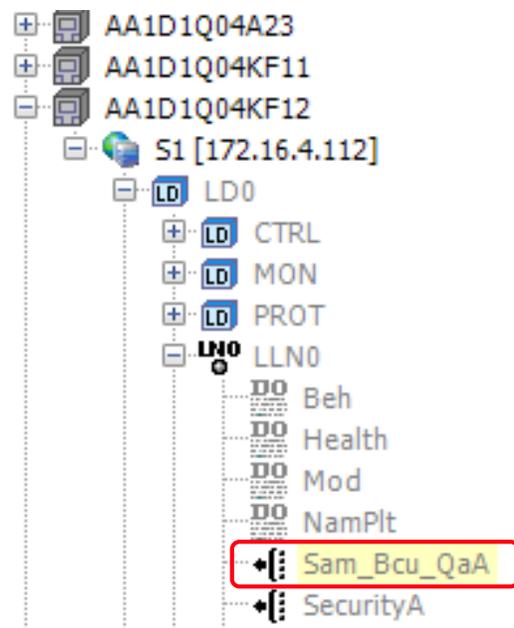
# Модель данных в МЭК61850

## Пример

### Содержимое набора данных

Модель данных дает ясное представление о содержимом

Соблюдение правильного моделирования данных в устройствах позволяет эффективно выполнять работы по конфигурированию, пуско-наладке и обслуживанию



Element	Description
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.Beh.stVal	Behaviour parameter for 61850
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.Beh.q	Behaviour parameter for 61850 Quality
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.Loc.stVal	Indication that the function is in local mode
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.Loc.q	Indication that the function is in local mode
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.LocKey.stVal	Indication that the function is in local mode
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.LocKey.q	Indication that the function is in local mode
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.OpCnt.stVal	Operation counter value
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.OpCnt.q	Operation counter value Quality
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.Blk.stVal	Block parameter for 61850
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.Blk.q	Block parameter for 61850 Quality
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.CBOPCap.stVal	Breaker operating capability 1 = None, 2 =
AA 1D 1Q04KF 12CTRL/SXCBR 1.CBOPCap.q	Breaker operating capability 1 = None, 2 =

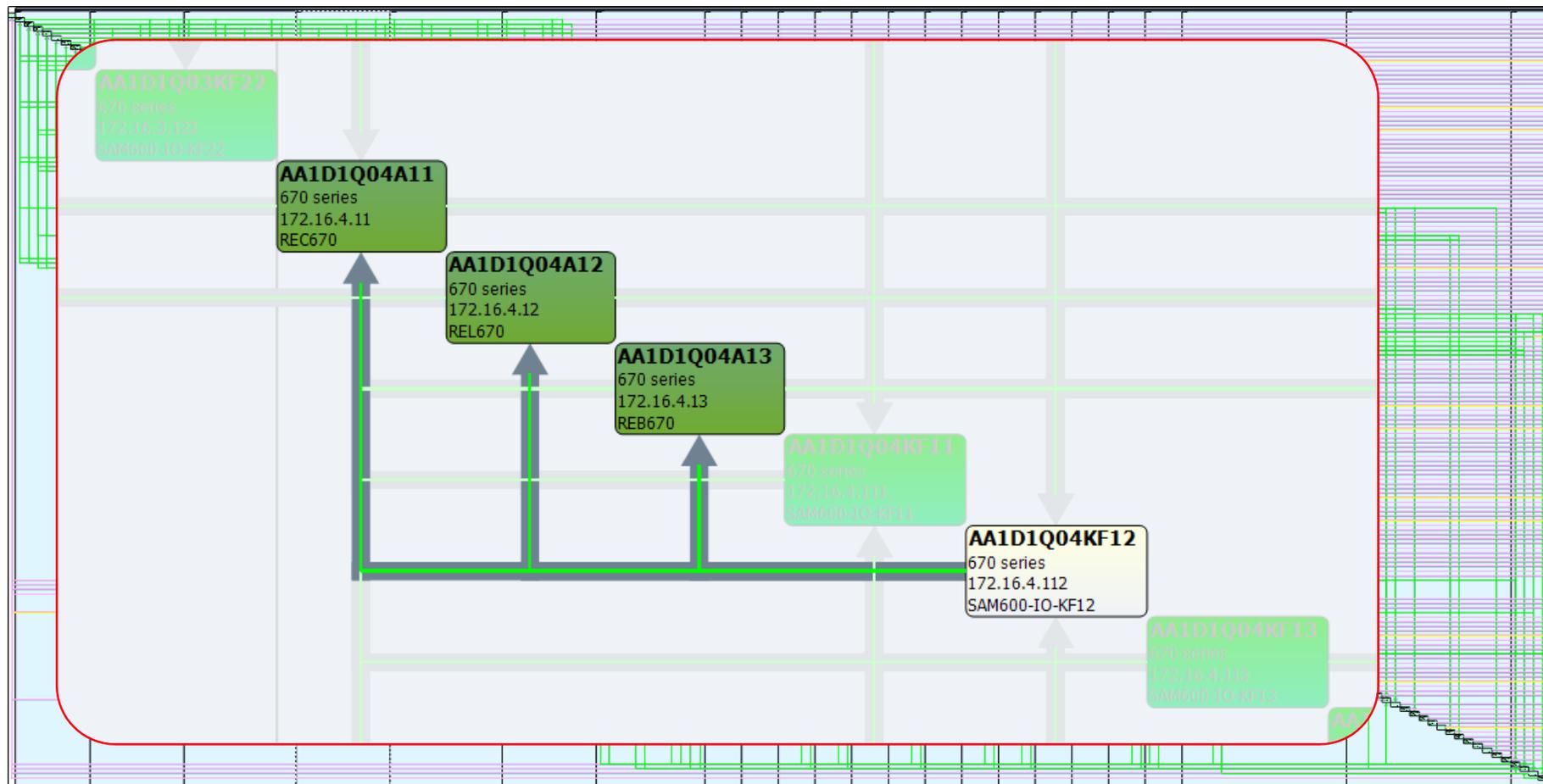
Моделирование МЭК61850 – ключ к эффективному инжинирингу

# Модель данных в МЭК61850

Пример

## Реальная система

- 80+ ПДС
- 70+ ПАС
- 90+ ИЭУ

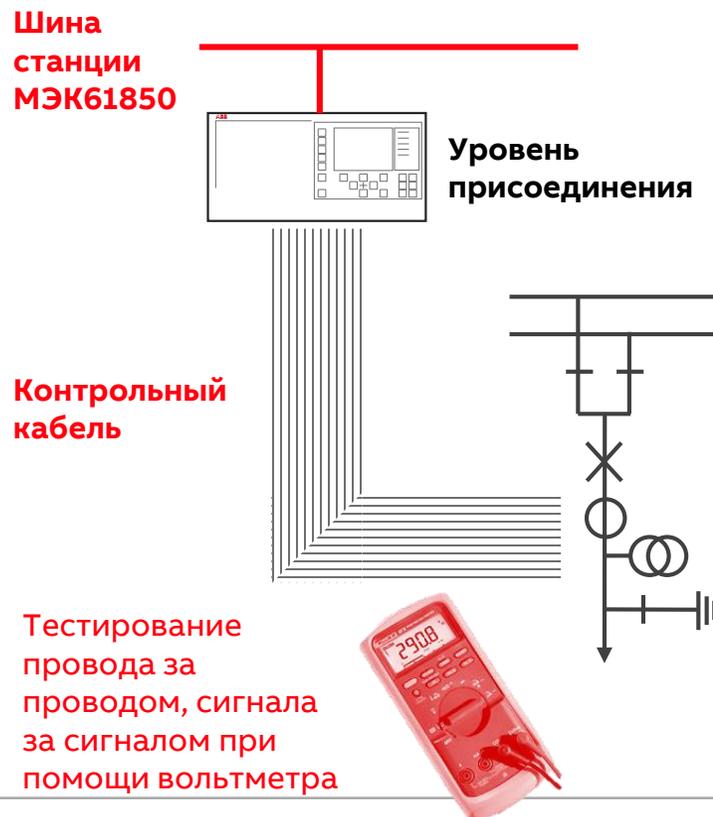


Представьте эту задачу с применением GGIO ...

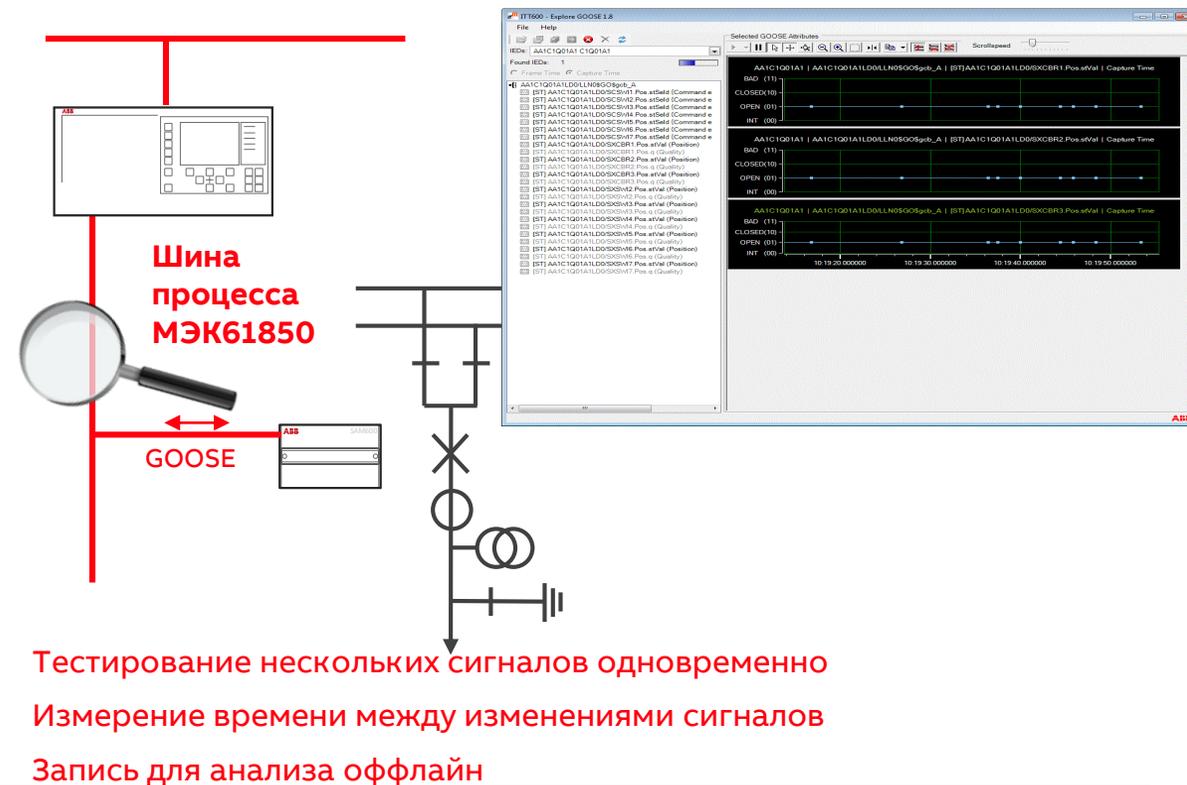
# Модель данных в МЭК61850

## Эффективное обслуживание

### Обмен данными по контрольным кабелям



### Обмен данными по МЭК61850 GOOSE





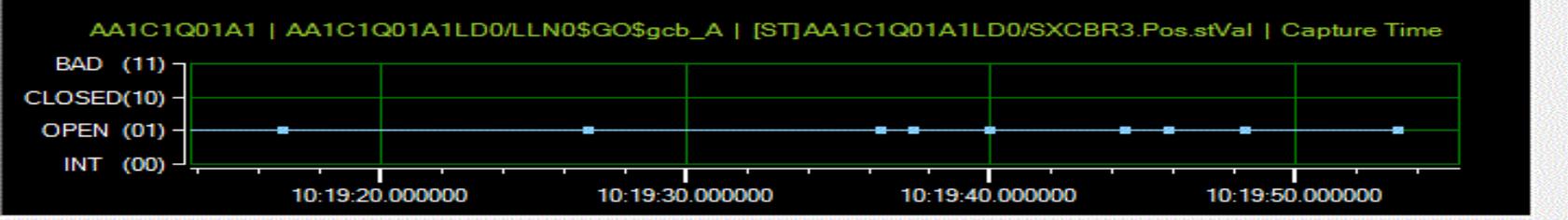
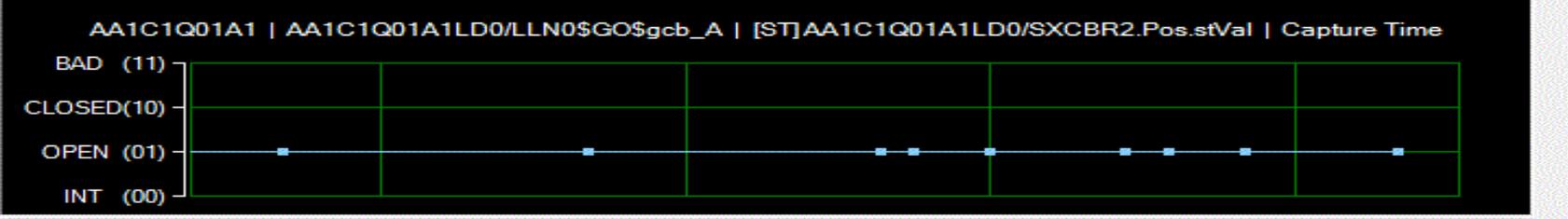
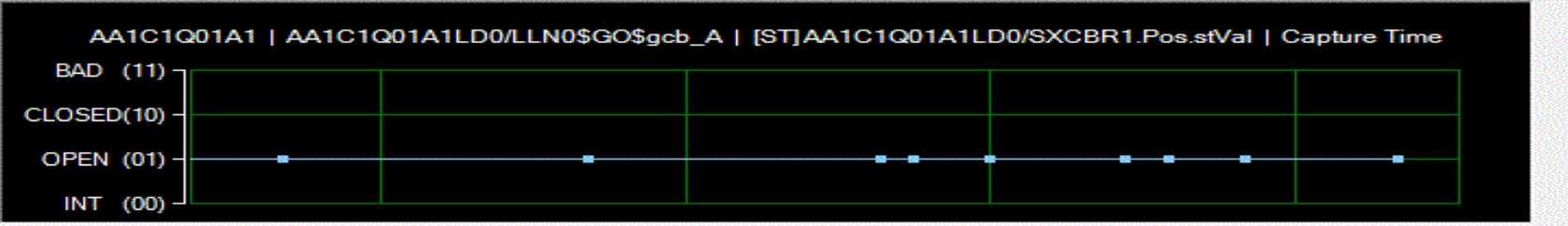
IEDs: AA1C1Q01A1 C1Q01A1

Found IEDs: 1

Frame Time Capture Time

- AA1C1Q01A1LD0/LLN0\$GO\$gcb\_A
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SCSW1.Pos.stSeld {Command e}
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SCSW2.Pos.stSeld {Command e}
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SCSW3.Pos.stSeld {Command e}
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SCSW4.Pos.stSeld {Command e}
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SCSW5.Pos.stSeld {Command e}
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SCSW6.Pos.stSeld {Command e}
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SCSW7.Pos.stSeld {Command e}
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXCBR1.Pos.stVal (Position)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXCBR1.Pos.q (Quality)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXCBR2.Pos.stVal (Position)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXCBR2.Pos.q (Quality)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXCBR3.Pos.stVal (Position)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXCBR3.Pos.q (Quality)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW2.Pos.stVal (Position)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW2.Pos.q (Quality)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW3.Pos.stVal (Position)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW3.Pos.q (Quality)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW4.Pos.stVal (Position)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW4.Pos.q (Quality)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW5.Pos.stVal (Position)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW5.Pos.q (Quality)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW6.Pos.stVal (Position)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW6.Pos.q (Quality)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW7.Pos.stVal (Position)
  - [ST] AA1C1Q01A1LD0/SXSW7.Pos.q (Quality)

Selected GOOSE Attributes



—

# Точная синхронизация времени



# Основа построение цифровых подстанций

Точная синхронизация времени

## Повышенная точность

Обработка данных реального времени от различных источников требует синхронизации

Требования к точности при переходе к ЦПС изменяются с 1 мс до 1-4 мкс

Time synchronization class	Accuracy [ $\mu$ s] Synchronization error	Application
TL	> 10 000	Low time synchronization accuracy – miscellaneous
T0	10 000	Time tagging of events with an accuracy of 10 ms
T1	1 000	Time tagging of events with an accuracy of 1 ms
T2	100	Time tagging of zero crossings and of data for the distributed synchrocheck. Time tags to support point on wave switching
T3	25	Miscellaneous
T4	4	Time tagging of samples respectively synchronized sampling
T5	1	High precision time tagging of samples respectively high synchronized sampling

# Сравнение SNTP / PTP / IRIG-B

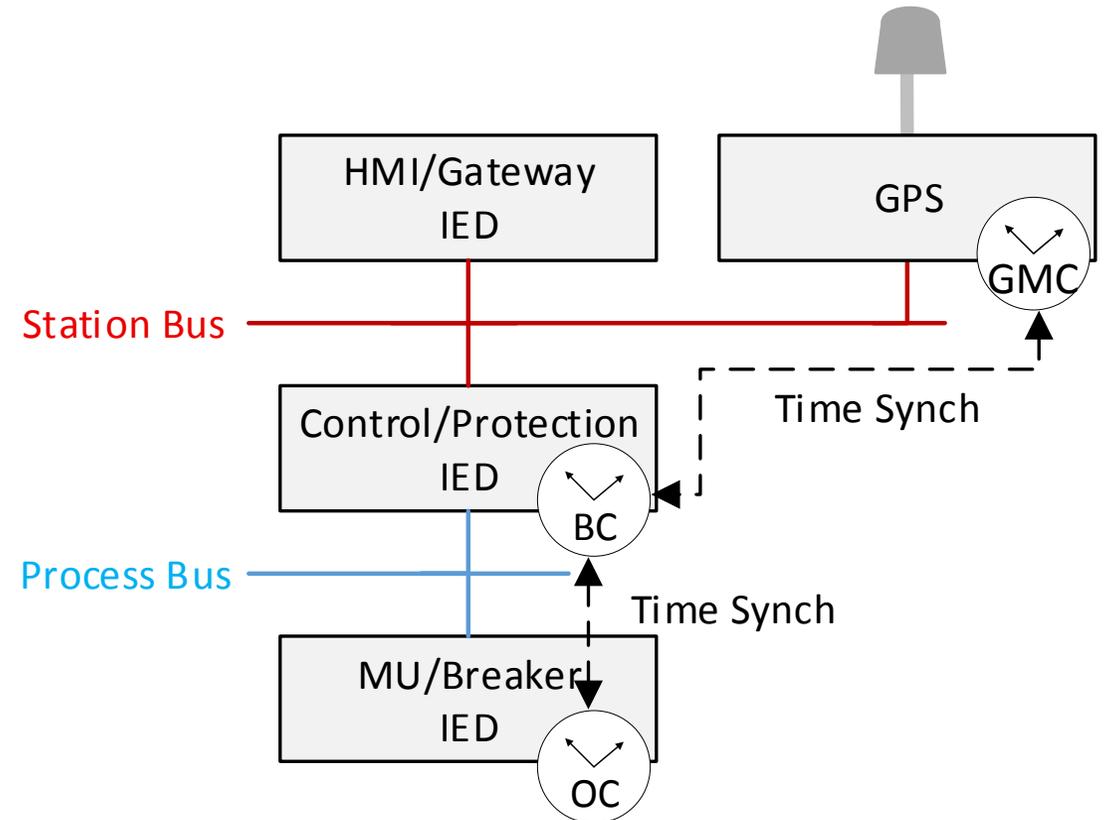
Характеристики	SNTP	PTP	IRIG-B
<b>Архитектура</b>			
Поддерживаемые топологии	Любая	Любая	Звезда или цепочка
Сеть связи	Используется сеть МЭК 61850	Используется сеть МЭК 61850	Выделенная сеть
Поддержка в МЭК61850-совместимых ИЭУ	Да	Да	Limited
Поддержка коммутаторами и маршрутизаторами	Да	Да, специальные версии	Нет
Несколько источников точного времени	Да (ограниченное число источников)	Да (“неограниченное число”, BMCA*)	Нет
Резервированное подключение	Да (PRP, HSR)	Да (PRP, HSR)	Нет
<b>Соответствие стандарту</b>			
Соответствует МЭК 61850	Да	Да	Нет
<b>Точность</b>			
Точность синхронизации	1 мс	1 мкс	100 мкс
Разрешение метки времени в ИЭУ	1 мс	1 мс	1 мс
<b>Диагностика и надежность</b>			
Диагностика	Диагностика всех связей	Диагностика всех связей	Не напрямую, через ИЭУ
Надежность	Высокая при наличии нескольких источников	Высочайшая (BMCA*)	Низкая, единственный источник
<b>ТЭО</b>			
Стоимость оборудования и кабелей	Низкая, не нужна отдельная сеть или специальные коммутаторы	Средняя/высокая, требуются коммутаторы с поддержкой PTP	Высокая, требуется выделенная сеть
	<b>Не подходит для ЦПС</b>		<b>Недостаточно надежно</b>

# Архитектура синхронизации времени

## Раздельные шины процесса и станции

### Граничные часы (Boundary clock – BC) в ИЭУ

- Самый распространенный принцип построения сетей для ЦПС – полное физическое разделение шины станции от шины процесса, осуществляющей передачу критически важных данных в виде GOOSE и SV
- Такой принцип гарантирует максимальную производительность для GOOSE и SV, облегчает обслуживание и позволяет выделить зоны безопасности
- Точность синхронизации имеет особую важность, при этом как правило часы GMC подключаются к шине станции → появляется необходимость в передаче синхронизации в шину станции через устройства нижнего уровня/присоединения





# Архитектура синхронизации времени

## Принципы построения надежных систем

Поскольку многие функции опираются на точную синхронизацию времени, следует опираться на несколько базовых принципов для обеспечения высоких показателей готовности системы:

- Резервирование источников времени GPS/ГЛОНАСС или других типов часов GMC
- Резервированные сети связи – PRP или HSR – для передачи данных процесса и синхронизации
- Функциональное резервирование систем РЗА – выделенные устройства на уровне процесса и уровне присоединения для двух основных комплектов защиты
- Применение устройств, которые могут выступать в роли источника времени (time master) в соответствии с алгоритмом BMC
- Устройства РЗА, выступающие в роли «граничных» часов между шиной станции и шиной процесса
- Постепенная деградация функций в случае ошибок синхронизации – блокировка только тех функций, которые опираются на точную синхронизацию



# Выход за пределы подстанции

# Передача данных реального времени между ПС

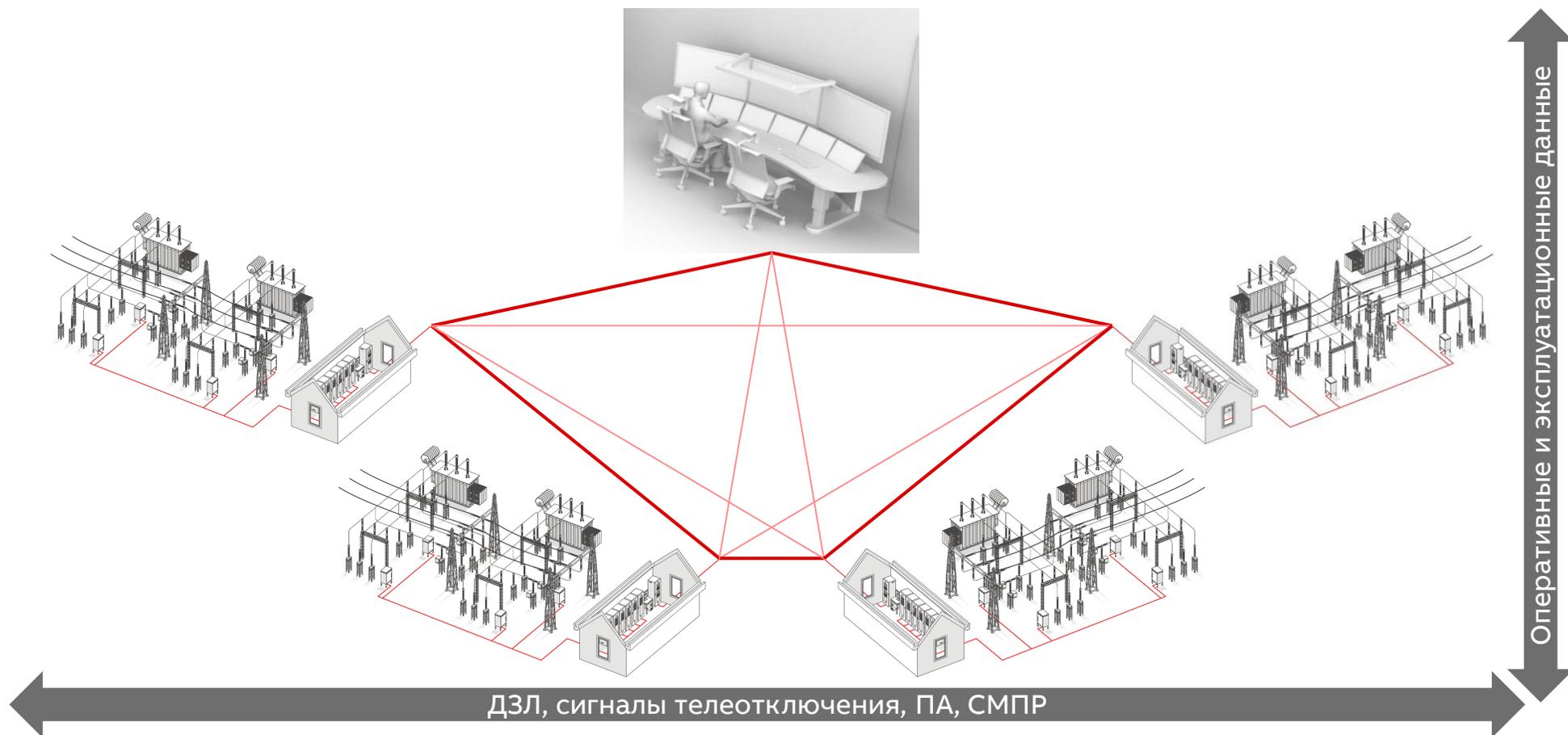
Передача между подстанциями GOOSE и потоков SV

## Новые возможности

Цифровые подстанции, являющиеся частью цифровой сети и обвязанные цифровой системой связи

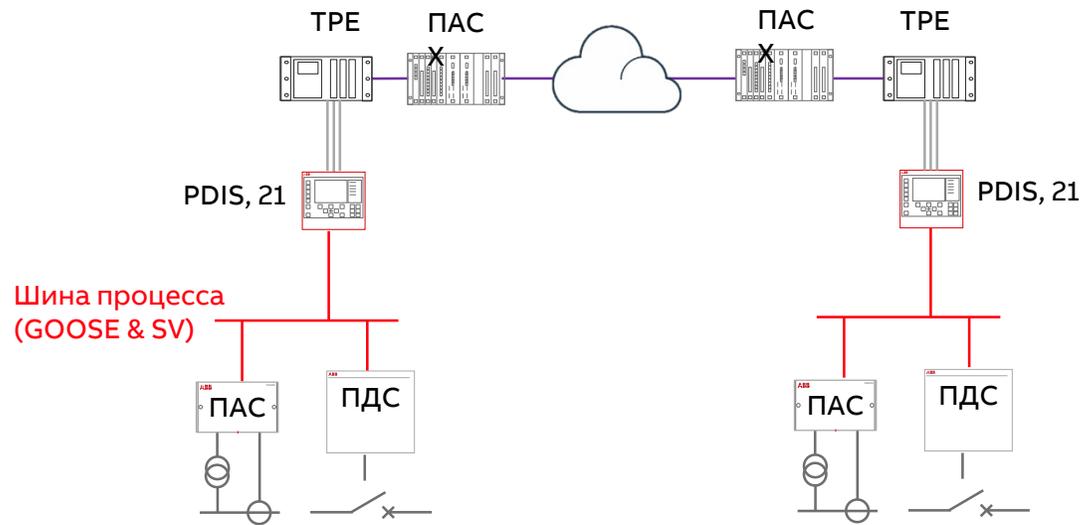
- Данные от первичного оборудования доступны в ЦУ
- Обмен данными GOOSE и потоков SV между ПС

Интеграция на уровне всей энергосистемы увеличивает ценность данных ЦПС

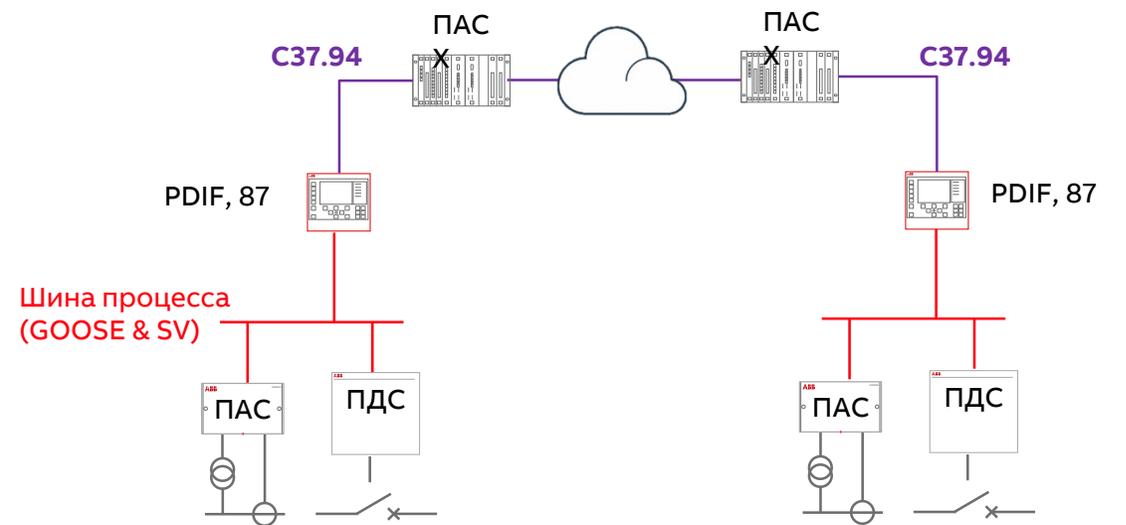


# Цифровые подстанции с традиционной защитой линии

## Дистанционная защита



## Дифференциальная защита

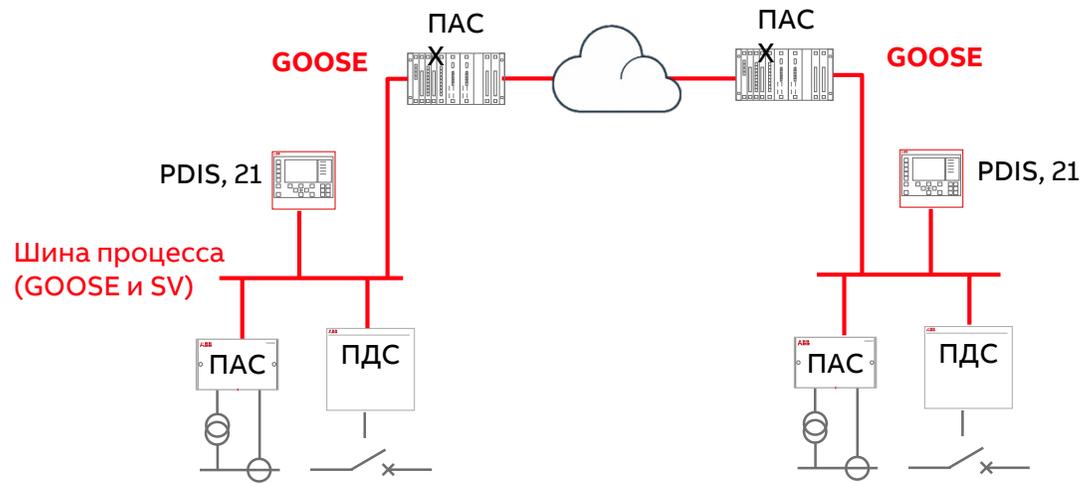


Терминалы РЗА выступают в роли «преобразователя протоколов» между МЭК 61850 и C37.94

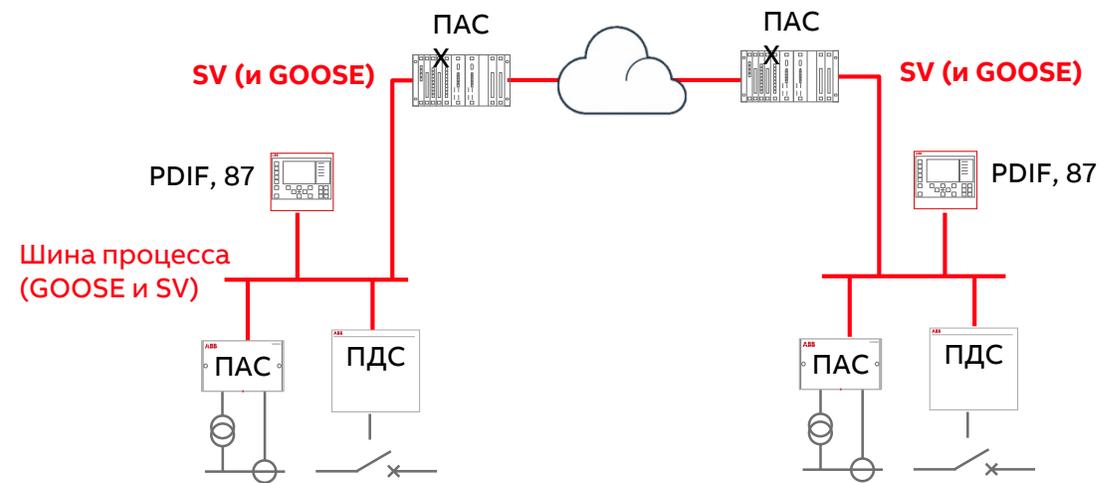
# Цифровые подстанции с цифровой защитой линии

Мультиплексоры с поддержкой GOOSE и SV

## Дистанционная защита



## Дифференциальная защита

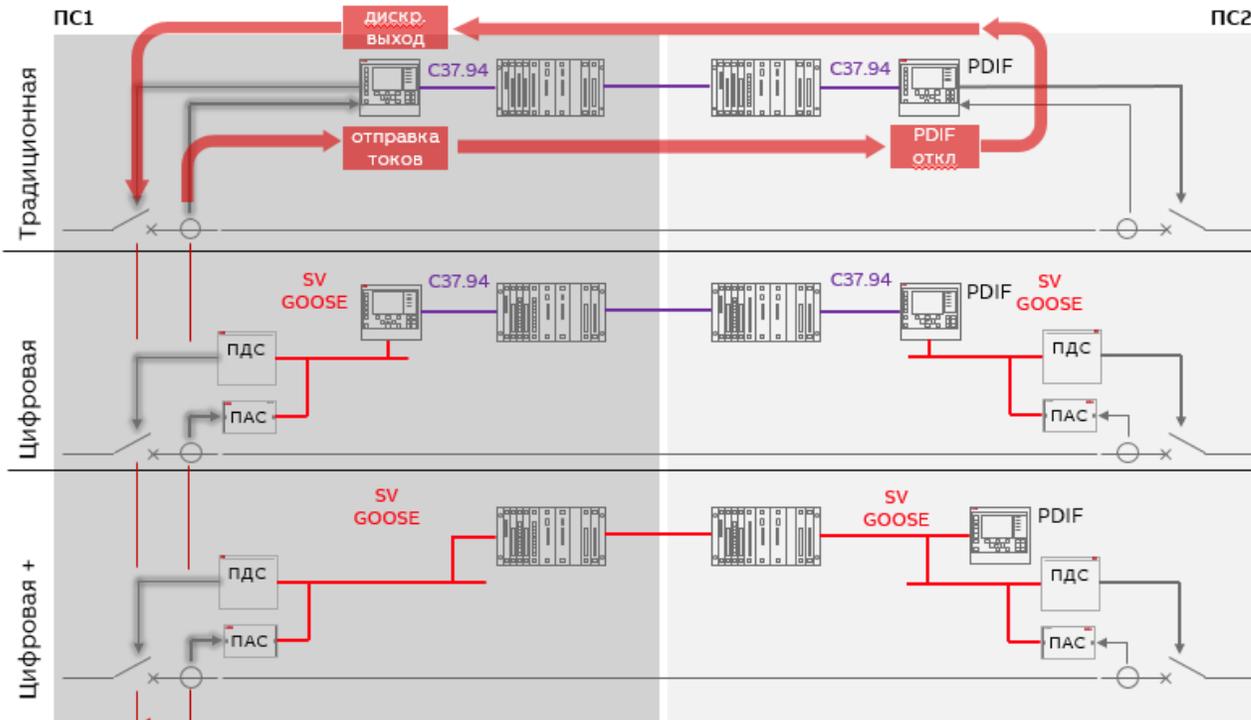


Увеличение быстродействия и гибкости при упрощенной архитектуре

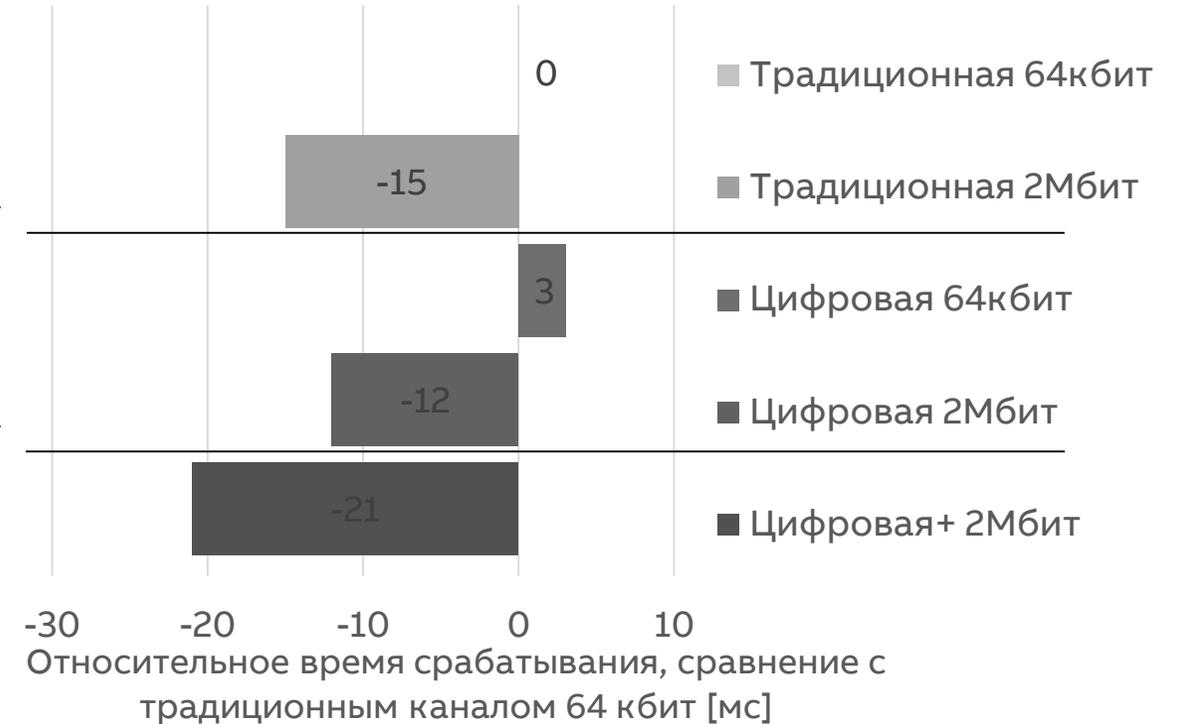


# Цифровые подстанции с цифровой дифференциальной защитой линии

## Сравнение времени отключения



Полное время отключения КЗ



- Традиционный канал связи с модулем LDCM 2Мбит вместо 64кбит сокращает время срабатывания на 15 мс
- Применение на ЦПС с традиционным каналом связи дает небольшую задержку (задержка ПАС + связь + задержка ПДС)
- Передача SV и GOOSE напрямую от ПАС и к ПДС сокращает время срабатывания >20 мс

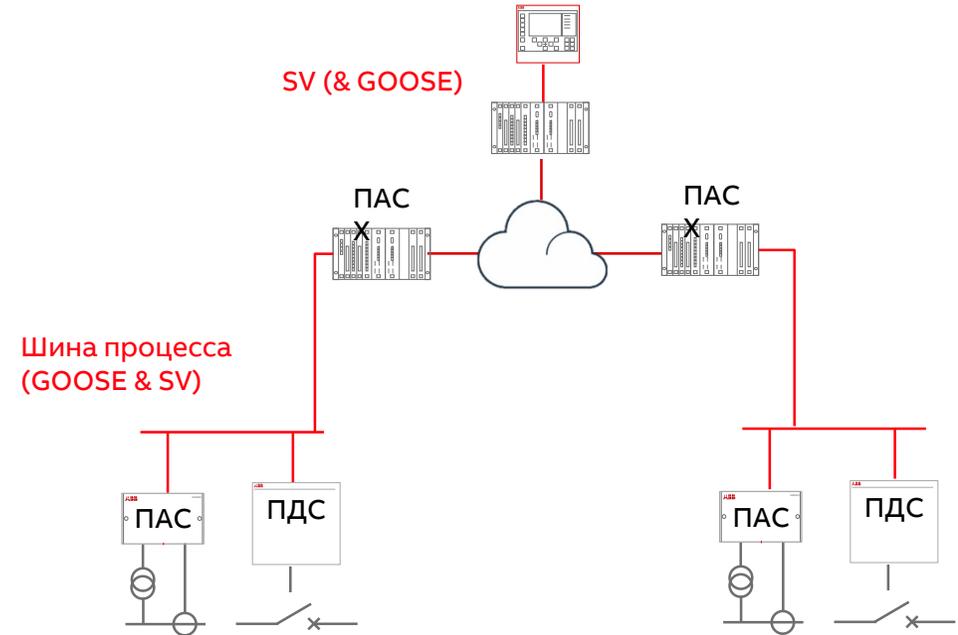
# Передача данных реального времени между подстанциями

GOOSE и потоки SV

## Новые приложения

Возможность передачи измерений реального времени и команд между ПС открывает новые возможности, такие как:

- Автоматическое регулирование напряжения
- Интеграция возобновляемых источников энергии
- Распределенные схемы РЗА / Противоаварийная автоматика
- ...



**AABB**