

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВВОДА/ВЫВОДА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ШИНЫ ПРОЦЕССА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

А.М. Маслов (ООО «АББ Силовые и Автоматизированные Системы»)

*В статье рассмотрены элементы оптимальной архитектуры шины процесса, представлена модульная система сопряжения с шиной процесса SAM600 компании АББ и приведены варианты архитектуры шины процесса на ее основе. Дано краткое описание концепции построения шины процесса на базе модульного устройства сопряжения с шиной процесса (УСШ), приводятся некоторые технические аспекты реализации концепции для реальной подстанции 220/110 кВ.*

*Ключевые слова: модульная система ввода/вывода, устройство сопряжения, шина процесса, цифровая подстанция.*

### Введение

Одним из ключевых вопросов при реализации элементов цифровых подстанций в рамках инновационных проектов остается построение оптимальной архитектуры шины процесса — коммуникационной среды для передачи данных от устройств полевого уровня (измерительные трансформаторы и коммутационная аппаратура). Какая структура удовлетворит максимальному числу требований: надежности, производительности, гибкости, безопасности, удобства обслуживания? При этом необходимо сохранить соответствие современному стандарту связи, обеспечивающему функциональную совместимость между устройствами различных производителей — МЭК61850. Следующая задача после выбора оптимальной архитектуры — это выбор оборудования, которое позволит эту архитектуру реализовать.

### Оптимальная архитектура шины процесса

В [1,2] проведен анализ возможных архитектур шины процесса и перечислены варианты ее оптимизации. На основе анализа сформированы ключевые требования к характеристикам полевых устройств:

- для удобства замены полевого интеллектуальное электронное устройство (ИЭУ) должно обрабатывать все сигналы, относящиеся к элементу первичного оборудования;
- для удобства расширения существующих систем должен использоваться стандарт связи, обеспечивающий функциональную совместимость, то есть стандарт МЭК 61850. Для такой системы возможно поэтапное внедрение, а также расширение в ходе дальнейшей реконструкции;
- аппаратное исполнение полевого ИЭУ должно обеспечивать оптимальное физическое размещение в распределительном устройстве, в том числе минимизацию использования медных кабелей;
- для обеспечения взаимодействия полевых ИЭУ различных производителей необходимо строгое соответствие стандарту МЭК 61850.

Кроме того, для шины процесса важны поддержка резервирования и синхронизация времени.

При реализации резервирования шины процесса применимы только протоколы с нулевым временем восстановления для гарантированной доставки сообщений сервисов SV (передача выборок токов и напряжений, англ. Sampled Values) и GOOSE (передача дискретной информации):

— протокол PRP, при использовании которого два идентичных сообщения посылаются в две независимые подсети;

— протокол HSR, при использовании которого два идентичных сообщения отправляются в обоих направлениях физического кольца.

Выбор того или иного протокола может меняться в зависимости от конечной архитектуры шины процесса, но применение HSR позволяет достичь более высоких показателей надежности благодаря исключению коммутаторов. Поэтому для соединения полевых устройств между собой именно протокол HSR является предпочтительным.

Синхронизация времени будет основываться на IEEE 1588 в ближайшем будущем, а именно с того момента, как данный протокол начнет поддерживаться всеми устройствами, при этом для синхронизации используется сама шина процесса, а не выделенная подсистема синхронизации. Однако на текущий момент «облегченная» версия стандарта МЭК 61850–9–2LE подразумевает использование сигнала 1PPS для синхронизации устройств.

Кроме того, архитектура шины процесса должна соответствовать эксплуатационным требованиям в отношении удобного и эффективного обслуживания оборудования и возможности дальнейшего расширения.

Эффективное обслуживание систем с шиной процесса — важный фактор в оценке соответствия решений требованиям завтрашнего дня. Оно влияет на показатели готовности системы, эксплуатационные расходы, а также на безопасность работы персонала и вероятность возникновения в системе ошибочных действий. Факторы, влияющие на возможность эффективного обслуживания:

- понимание и управление потоками данных;
- доступ к данным во время наладки;
- изоляция устройств во время проведения испытаний;
- замена устройств и сокращение времени простоя оборудования.

Инвестиции в системы с шиной процесса должны быть обоснованы, такие системы должны иметь возможность расширения в будущем, включая:

- расширение распределительного устройства (РУ), например, добавление новых присоединений;
- реализация новых технологий на существующих РУ, например, замена традиционных трансформаторов (ТТ/ТН) на «цифровые»;

- расширение и обновление функционала систем автоматизации подстанций, например, добавление новой функции в ИЭУ уровня присоединения.

#### Модульная система сопряжения с шиной процесса SAM600 компании АББ

Система сопряжения с шиной процесса SAM600 представляет собой модульное, расширяемое и настраиваемое решение для сопряжения всех видов сигналов процесса и преобразования их в цифровой формат в соответствии с МЭК 61850. Устройство предназначено для применения в распределительных устройствах с воздушной и элегазовой изоляцией при модернизации вторичных систем, а также при полной реконструкции на подстанции, включая интеграцию с самыми современными измерительными датчиками.

По терминологии, используемой в [2], каждый модуль системы является полевым ИЭУ, совокупность модулей, объединенных в систему и выполняющих заданные функции, является объединяющим устройством (англ. MU — merging unit) или, как уже становится общепринятым в отечественной терминологии, устройством сопряжения с шиной процесса (УСП).

#### Основные характеристики системы SAM600

- Один модуль SAM600 соответствует одной единице первичного оборудования, интегрирует традиционный трансформатор тока или напряжения (в версии 1.0) и выступает в качестве отдельного объединяющего модуля (SAMU) в соответствии с МЭК 61850-9-2LE с частотой 80 выборок за период.

- Компактные модули SAM600 устанавливаются на DIN-рейку, предусматривают расположение вблизи первичного оборудования и поддерживают расширенный диапазон температур -40...70 °С.

- Каждый модуль SAM600 интегрирует как основные сигналы процесса, так и дополнительные (например, сигнал неисправности цепей напряжения), тем самым обеспечивая быструю замену и обслуживание.

- Модули SAM600 образуют систему для комбинирования необходимых данных для целей РЗА с возможностью масштабирования.

- SAM600 может взаимодействовать с современными измерительными датчиками согласно протоколу МЭК 61850-9-2LE.

- SAM600 синхронизируется сигналом 1PPS (имеется вход и пять выходов), для внутренней синхронизации системы SAM600 используется IEEE1588 C37.238-2011.

В состав системы SAM600 версии 1.0 входят три типа аппаратных модулей (рис. 1). Каждый из этих модулей обеспечивает определенные функциональные возможности в пределах модульной системы. Модули аналоговых входов для измерения тока и напряжения SAM600-CT и SAM600-VT получают аналоговые данные от измерительных трансформаторов (тока и напряжения соответственно), преобразуют аналоговые данные в цифровой формат и создают потоки данных на своих интерфейсах (точках доступа) в соответствии с МЭК 61850-9-2LE. Модуль синхронизации/шлюз МЭК 61850 — SAM600-TS — обеспечивает четыре точки доступа МЭК 61850 и синхронизацию времени модульной системы SAM600 сигналом 1PPS от внешнего источника времени. Кроме того, модуль SAM600-TS может выполнять роль мастера синхронизации времени сигналом 1PPS.

Каждый модуль SAM600 имеет четыре порта связи, два 100BASE-TX и два 100BASE-FX (SFP). Два порта используются для соединения модулей между собой, а другие два порта используются в качестве точек доступа МЭК 61850-9-2LE для ИЭУ уровня присоединения. Модуль SAM600-TS имеет две дополнительные точки доступа МЭК 61850, которые обеспечивают передачу потоков МЭК 61850-9-2LE от системы SAM600 к устройствам защиты и управления. Кроме того, два порта могут использоваться в качестве встроенного коммутатора для получения информации, передаваемой по шине процесса МЭК 61850-9-2LE от других устройств сопряжения, и позволяют реализовывать конфигурации без использования коммутаторов. Система SAM600 объединяет все измерения напряжения и тока, имеющиеся на системной шине SAM600, в поток МЭК 61850-9-2LE. Этот комбинированный поток МЭК 61850-9-2LE доступен на всех точках доступа МЭК 61850 во всех модулях SAM600. Электрические и оптические порты универсальны — их функция в составе системы задается конфигурацией. Как показано далее, модули SAM600 могут быть размещены в одном шкафу или же отдельно в непосредственной близости к первичному оборудованию



Рис. 1. Аппаратные модули SAM600: синхронизации, измерения тока и измерения напряжения

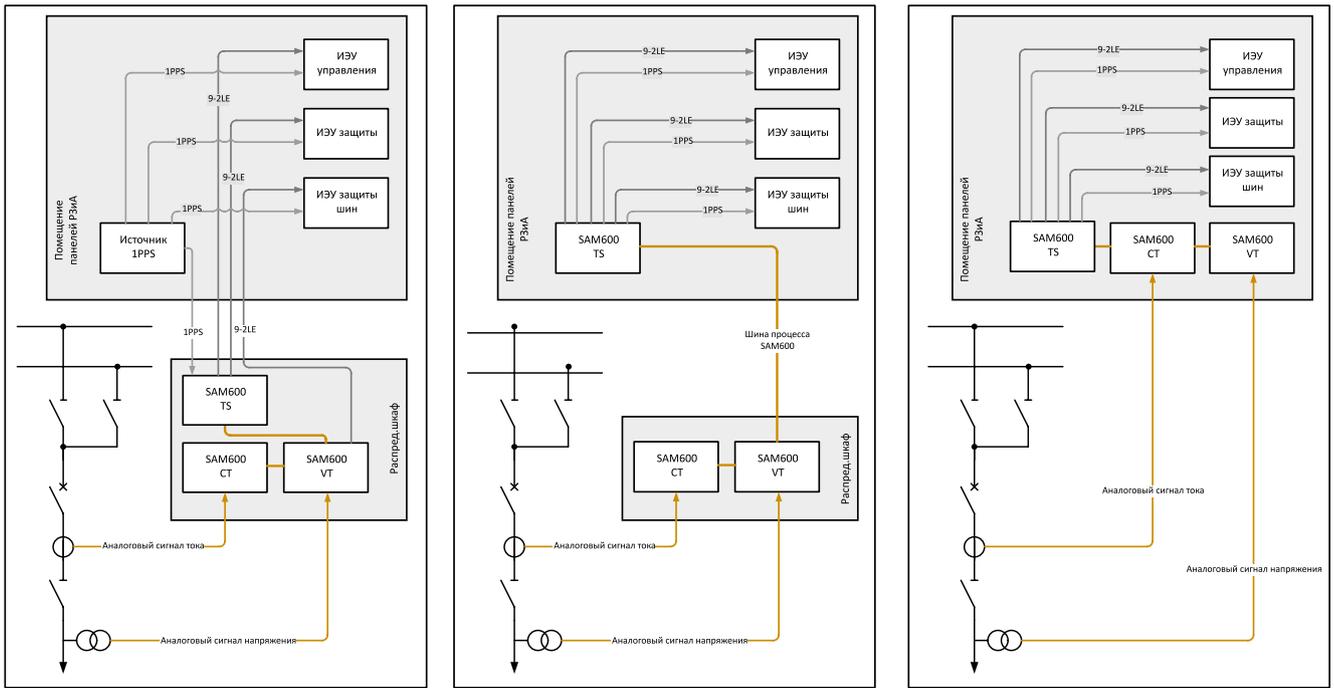


Рис.2. Типовые архитектуры шины процесса на базе SAM600

(рис. 2). При установке в одном шкафу системная шина SAM600, как правило, реализуется через порты 100BASE-TX [3]. При установке в различных шкафах в полевых условиях системная шина, через которую

модули SAM600 связаны друг с другом, должна быть реализована через оптические порты 100BASE-FX.

Система SAM600 может работать в автономном режиме или синхронизироваться сигналом 1PPS.

В свою очередь SAM600 может выполнять синхронизацию других устройств сопряжения или ИЭУ через модуль SAM600-TS посредством пяти выходов 1PPS.

Как показано на рис. 2, на базе SAM600 могут реализовываться различные архитектуры шины процесса, наиболее подходящие в конкретной ситуации.

Все модули SAM600 могут устанавливаться в распределительном шкафу промежуточных зажимов, который расположен рядом с первичным оборудованием (рис. 1 а). Кабели от измерительных трансформаторов тянутся только до данного шкафа, и для дальнейшей передачи измерений устройствам защиты и управления используется оптоволокно.

Модули SAM600 могут находиться в различных местах, определяемых требованиями по организации связи или по близости к первичному оборудованию. Если ИЭУ

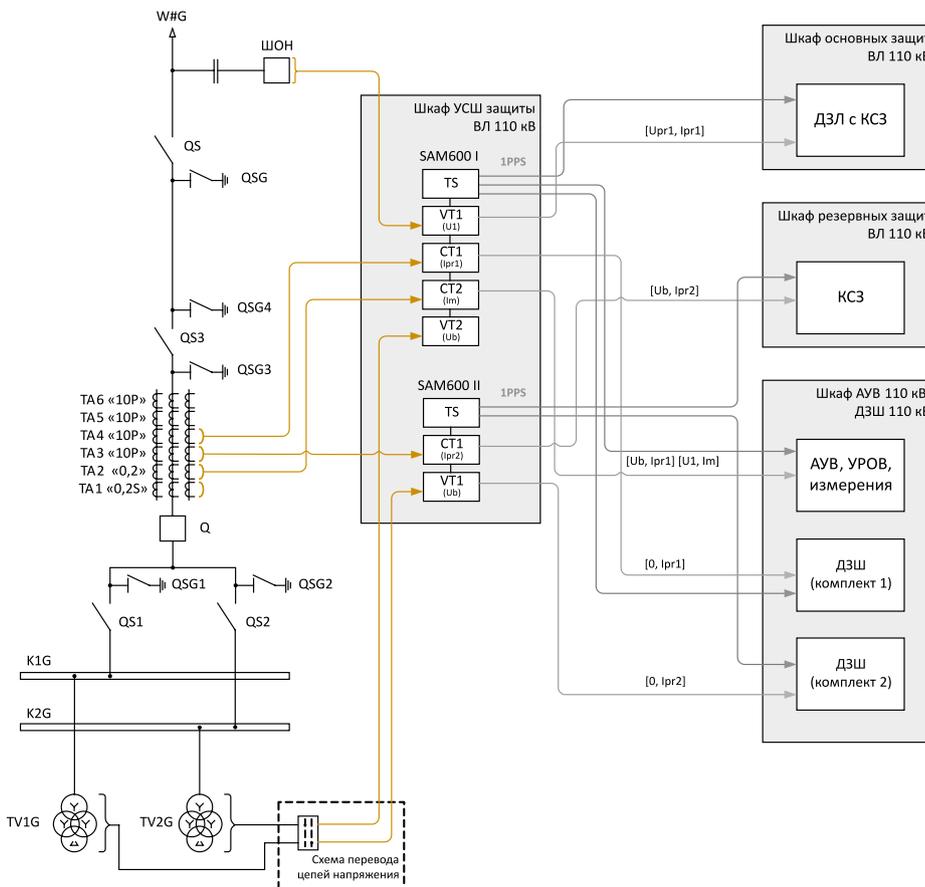


Рис.3. Структурная схема организации шины процесса для релейной защиты, АУВ и измерений ВЛ 110 кВ

РЗА и управления планируется синхронизировать сигналом 1PPS от самой системы SAM600, то модуль SAM600-TS предпочтительнее располагать в шкафах защиты и управления либо в непосредственной близости от них (рис. 1 б).

Шкаф с модулями SAM600 можно разместить в помещении с панелями РЗА (рис. 1 в). Это решение является идеальным для проектов модернизации, в которых уже существуют медные кабели до релейного щита, и их демонтаж не планируется.

### Некоторые практические аспекты построения шины процесса на базе модульной системы ввода/вывода

Специалисты ООО «АББ Силовые и Автоматизированные Системы» совместно с глобальным инженеринговым центром АББ (г. Баден, Швейцария), разработали концепцию шины процесса на базе модульной системы ввода/вывода. Данная концепция была адаптирована в соответствии с техническими требованиями к построению систем релейной защиты, принятым в отечественной практике.

*Ключевые элементы концепции, определяющие архитектуру шины процесса*

- Построение полностью независимых контуров УСШ для каждого из комплектов РЗА. Под конту-

ром УСШ понимается вся совокупность модулей и связей, соединяющих измерительные трансформаторы (включая отдельную измерительную обмотку) и устройства РЗА. Такой подход обеспечивает максимальную надежность функций защиты за счет полного дублирования. Контроллер присоединения подключается к одному из контуров УСШ.

- Подключение между УСШ и ИЭУ присоединения реализуется по принципу «точка-точка» для исключения коммутаторов из архитектуры шины процесса с целью обеспечения максимальной надежности итоговой системы.

- Применение автономной системы синхронизации, когда каждое УСШ является источником синхронизации для «своих» ИЭУ (то есть для устройств, получающих потоки с данного УСШ). Это также обеспечивает резервирование системы синхронизации для обоих комплектов защит.

Дальнейшим этапом стала привязка концепции к реальной подстанции 220/110 кВ ОАО «ФСК ЕЭС».

На рис. 3 в качестве примера показана реализация функций защиты линии 110 кВ на базе SAM600. Два УСШ на базе SAM600 состоят из пяти и трех модулей соответственно. Система с пятью модулями обеспечивает потоки данных и синхронизацию для ИЭУ

основного комплекта защит, первого комплекта дифференциальной защиты шин (ДЗШ), контроллера присоединения, на базе которого также реализованы функции автоматики управления выключателем (АУВ) с контролем синхронизма, резервирования отказа выключателя (УРОВ), оперативные измерения нормального режима. Вторая система SAM600 (три модуля) обеспечивает работу ИЭУ резервного комплекта защит и второго комплекта ДЗШ. Дифференциальная защита шин 110 кВ построена на базе распределенной системы, что исключает необходимость сбора всех потоков SV в одном ИЭУ. Синхронизация времени выполняется в автономном режиме от модулей SAM600-TS

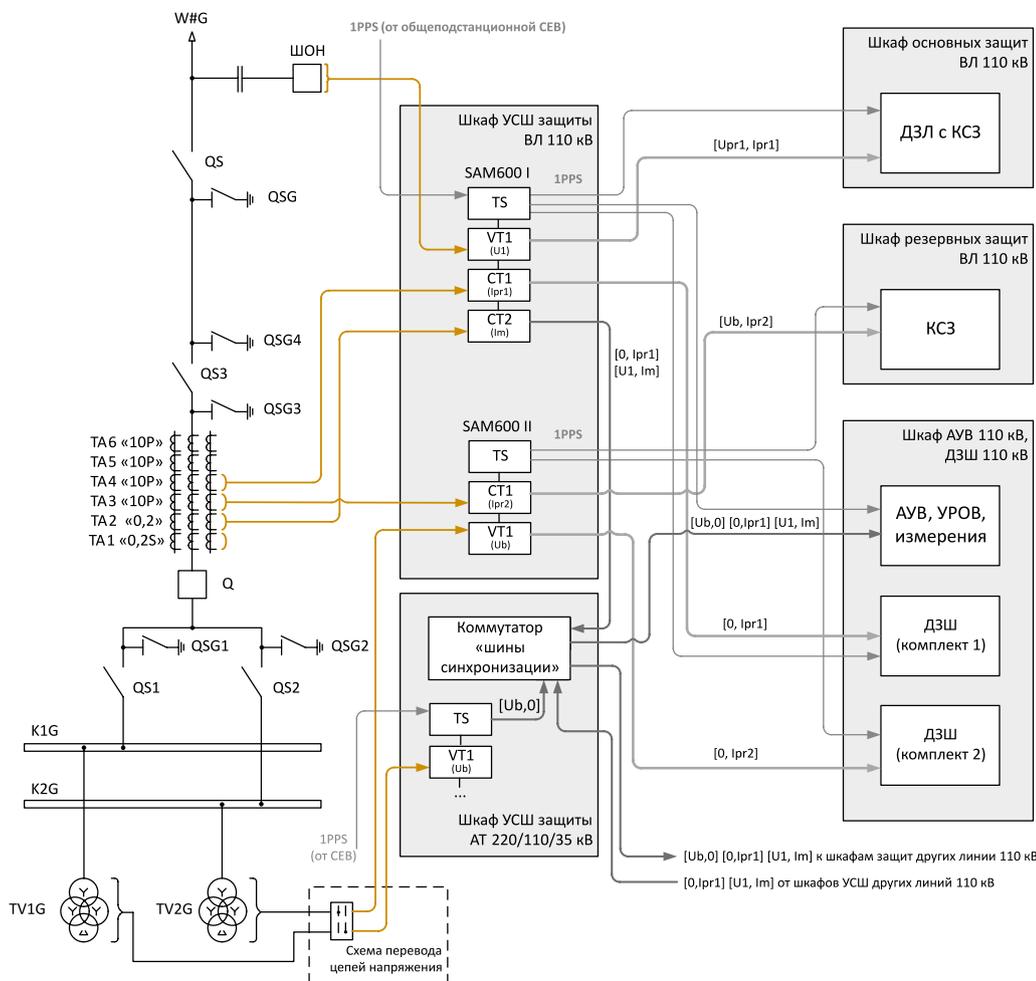


Рис. 4. Структурная схема организации сегмента шины процесса с коммутатором

и не требует привязки к глобальной системе единого времени на подстанции.

При детальной проработки решений в рамках всей подстанции было решено внести изменения в начальную концепцию. Большое число присоединений 110 кВ привело к дилемме: устанавливать модуль измерения напряжения в составе УСШ для каждого присоединения или построить сегмент локальной вычислительной сети, по которой будут передаваться поток SV со значениями напряжения шин 110 кВ.

Если выборки измерений напряжения формируются модулем, не входящим в состав УСШ конкретного присоединения, то локальную систему единого времени необходимо синхронизировать с астрономическим временем. В конечной структуре системы единого времени (которая внедряется в составе системы автоматизации в любом случае) это приводит к необходимости применения специальных устройств — устройства синхронизации с выходом 1PPS и дополнительного модуля размножения сигналов (SDU — Signal distribution unit), а также обеспечения дополнительного монтажа. Система единого времени усложняется, снижается ее надежность из-за увеличения числа устройств, появляется зависимость от состояния и достоверности данных, получаемых от спутников.

Тем не менее, для конкретного проекта, где РУ 110 кВ выполнено по схеме «две рабочие системы шин, секционированные выключателями», с 14 линиями (на две секции), было решено реализовать сегменты шины процесса с коммутатором, которые получили название «шина синхронизации секций 1–2» и «шина синхронизации секций 3–4». По этим сегментам шины процесса передаются только токи и напряжения линии и напряжения текущей рабочей системы шин (рис. 4). Приемником потоков является контроллер присоединения, выполняющий на основе получаемой из сегмента шины процесса информации функции автоматического повторного включения (АПВ), контроля синхронизма, текущих измерений. Устройства РЗА получают потоки напрямую, для них сохраняется подключение «точка-точка» к УСШ. Источником потока напряжений шин 110 кВ было решено использовать УСШ, задействованное в реализации функций защиты автотрансформатора 220/110/35 кВ.

Выше затронуты только несколько аспектов реализации шины процесса в рамках реального проекта из всего множества вопросов, возникших при проектировании. На приведенном примере наглядно показана гибкость и универсальность УСШ, реализуемого на базе модульной системы ввода/вывода SAM600.

## Заключение

Модульная структура устройств сопряжения позволяет оптимизировать архитектуру шины процесса цифровой подстанции. Компания АББ предлагает систему SAM600, которая имеет ряд ключевых особенностей: модульная концепция, ориентированная на первичное оборудование, включая стандартизованную модель данных; различные варианты размещения благодаря компактному исполнению и монтажу на DIN-рейку; широкий диапазон рабочих температур; наращиваемое число портов связи с ИЭУ нижнего уровня; тиражирование сигнала 1PPS от внешнего источника либо организация локальной подсистемы синхронизации; возможность настройки конфигурации передаваемых данных по каждому порту связи.

Благодаря применению модульной системы заказчик получает ощутимые преимущества:

- возможность расширения системы в дальнейшем, при этом предлагаемый подход может быть сохранен и при переходе на инновационное первичное оборудование — «цифровые» датчики тока и напряжения и коммутационные аппараты со встроенными коммуникационными модулями;
- удобство обслуживания благодаря выбору оптимального расположения модулей (централизованное в одном шкафу/распределенное, уличное/в помещении);
- снижение времени простоев при замене оборудования, минимизация ЗИП;
- решение проблем ограниченной производительности устройств нижнего уровня;
- значительное повышение показателей надежности и коэффициента готовности всей системы за счет снижения числа коммутаторов вплоть до полного их исключения из архитектуры шины процесса;
- упрощение системы синхронизации на подстанции.

## Список литературы

1. Brand K.P., Kreuzer P., Werner T. Towards optimized process bus architectures for power system protection and control, SC B5 Colloquim, Brazil 2013.
2. Клаус Питер Бранд, Питер Крейцер, Томас Вернер. Оптимизация архитектуры шины процесса систем защиты и управления в электроэнергетике // Релейщик. 2014. №1.
3. Маслов А., Майер С., Вернер Т. Построение оптимальной архитектуры шины процесса на базе продуктов АББ // Международная научно-практическая конференция Релавэкспо-2015, Санкт-Петербург, апрель 2015.

*Маслов Андрей Михайлович — начальник отдела развития продукции ООО «АББ Силовые и Автоматизированные Системы».*

*Контактный телефон (8352) 25-61-62 доб.3848*

*E-mail: andrey.maslov@ru.abb.com*