Снижение количества традиционных медных связей на высоковольтных подстанциях с использованием системы шины процесса согласно стандарту МЭК 61850

ДЭВИД МАКГИНН (D.G.), МАЧЕК ГОРАЧ (M.G.), ДЖОРДЖ Карденас (J.C.)
GE Digital Energy

Канада, Испания
Maciej.Goraj@ge.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Высоковольтные подстанции, система РЗА, шина процесса, измерительные трансформаторы, выборки сигналов, синхронизация по времени, оптоволоконные кабели, протоколы связи, стандартизация.

1. ВВЕДЕНИЕ

Стандарт МЭК 61850-9-2 [1] сосредотачивается на вопросах обеспечения прозрачности и стандартизации процесса обмена данными. Вопросы практической реализации такие, как создание подходящей для использования архитектуры системы релейной защиты и автоматики (РЗА), обеспечение требуемой надежности функционирования, обеспечение синхронизации данных во времени, доступности данных устройствам системы, удобства эксплуатации и обслуживания, а также возможности дальнейшего расширения таких систем не охватываются данным стандартом.

Архитектура технологической шины является отсутствующим элементом на пути к реализации систем РЗА следующего поколения. Под созданием архитектуры в данной статье подразумевается определение точек интерфейса в первичный процесс, распределение функций по физическим устройствам, определение правил процесса синхронизации данных по времени, процесса задания уставок и настройки ПО, определение схемы обмена данными, способной сохранять свою работоспособность при отказе отдельных ее элементов, определение требуемой пропускной способности данных и выдержек времени по передаче данных, определение шаблонов данных и других сопутствующих аспектов.

Детальный анализ закономерностей, характерных для схем распределительных устройств высоковольтных подстанций позволяет определить шаблоны передачи данных по технологической шине, исходные и конечные точки передачи данных и пропускную способность требуемую для осуществления простой, надежной, расширяемой и гибкой архитектуры технологической шины в соответствии со стандартом МЭК 61850. Само размещение первичного оборудования в схемах распределительных устройств подстанций диктует структуру системы РЗА, основанную на обмене данными между устройствами.

Данная статья представляет практическую реализацию архитектуры технологической шины, которая соответствует стандарту МЭК 61850-9-2 и удовлетворяет требованиям РЗА элементов подстанции.

2. АТРИБУТЫ НАДЕЖНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ШИНЫ

Успешными техническими решениями являются те решения, которые направлены на разрешение важных четко определенных реальных мировых проблем. Следовательно, разработка технологической

шины для системы РЗА должна осуществляться с позиции современного энергопредприятия, которое признает и старается разрешить реальные и насущные нужды, наиболее важными из которых являются уменьшение стоимости и ускорение ввода в работу. Предлагаемая система технологической шины является результатом желания достичь на энергопредприятии таких целей, как:

- Снижение расходов
- Снижение затрат по времени, требуемых на реализацию проекта, или времени простоя объекта
- Переход от затрат на рабочую силу к затратам на предварительно изготовленную продукцию
- Признание затрат на монтаж электрических кабельных связей основной составляющей затрат на рабочую силу
- Снижение требований к опыту персонала
- Поддержке оптимального выполнения работы
- Повышение уровня производительности систем и уровня безопасности
- Реализация взаимозаменяемой системы, подчиняющейся открытому стандарту

Следующее поколение систем РЗА должно заменить монтаж медных проводов, преимущественно связанный с увеличением стоимости, трудозатрат и затрат по времени, на размещение электронных модулей по ОРУ и использование оптоволоконных линий связи для дуплексного обмена данными. По сути это очередная стратегия удаленных входов/выходов, практикуемая десятилетиями в области автоматизации промышленных предприятий. Однако при применении в области РЗА подход удаленных входов/выходов встречает уровень трудностей который намного превосходит уже преодоленый и доказанный реальными применениями автоматизации на промышленных предприятиях.

2.1. Архитектура должна быть законченной и интуитивно-понятной

Любой компонент системы, включая полевые (соединяюшие) устройства, интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ, т.е. микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики), инфраструктуру сети, наборы данных, синхронизацию по времени, и так далее, может быть разработан только после того как создана полная архитектура, показывающая конечную структуру системы. Архитектура должна быть простой и интуитивно-понятной для всех затронутых подразделений оранизации пользователя. Она должна следовать сегодняшним проверенным принципам РЗА и служить для достижения одной цели – правильного решения реальной проблемы. Первичная задача – это передать данные с ОРУ к устройствам РЗА и передать команды от устройств РЗА на оборудование ОРУ. Не все технологические данные требуются для всех ИЭУ. Данные, необходимые для каждого конкретного ИЭУ ограничены и ясно и однозначно определены виртуально зафиксированным размещением силового оборудования. Сеть технологической шины не должна разрабатываться для приспосабливания к произвольно выбранным или развивающимся требованиям данных для ИЭУ.

2.2. Обеспечение требуемого уровня надежности

С увеличением числа устройств и соединений в системе надежность системы уменьшается. Это может быть легко продемонстрировано на примере типовых данных средней наработки на отказ с выполнением вычислений для гипотетической архитектуры технологической шины [3,4]. Каждый дополнительный элемент системы будет увеличивать частоту отказов. В правильно разработанной архитектуре не требуется применение каких-либо компенсирующих мер, которые часто увеличивают сложность и стоимость системы.

2.3. Обеспечение минимального числа взаимных связей между элементами системы

В настоящее время каждая зона защиты может быть выведена из работы для усовершенствования, устранения недостатков, проведения периодической проверки или обслуживания без влияния на остальную часть вторичной системы. Это разделение доказало совершенно необходимую основу

практического проектирования РЗА, и должно быть сохранено в решениях последующих поколений. К примеру, обновление ПО единственного цифрового компонента системы без соответствующего анализа может привести к непредвиденному поведению системы и в конечном итоге вызвать обновление ПО смежных устройств. Такие эффекты домино, возникающие в результате взаимозависимостей нежелательны, они могут являться потенциальными причинами отказов системы и в конечном итоге стать препятствием в аттестации системы.

2.4. Обеспечение возможности расширения систем

Система должна допускать возможность ее расширения. Должна существовать возможность ввода системы в работу в соответствии с первоначальными требованиями объекта и при необходимости возможность расширения защищаемой зоны по мере того как это будет требоваться. При этом расширение или модификация не должны вызывать какие-либо опасения перегрузки сети или другие проблемы. Как в случаях усовершенствования так и в случаях проектирования «с нуля» система должна быть и практически осуществимой и экономически эффективной.

2.5. Обеспечение удобства проверки и обслуживания

Система должна предусматривать возможность проведения тестирований и обслуживания. Под тестированием в данном случае понимается проверка и повторная проверка полной системы РЗА после того как она была введена в работу – начальная наладка, ремонт, периодический или после того как были проведены большие работы, например, расширение системы, обновление ПО или замена компонента. Удобство обслуживания обеспечивается наличием простых, безопасных и проверенных средств для осуществления изменений ПО и уставок, а также замены неисправных элементов системы.

2.6. Обеспечение сетевой безопасности

Система должна удовлетворять требованиям сетевой безопасности. Высокие скорости передачи данных по технологической шине и требование постоянной готовности этих данных создают трудности при использовании уже известных решений сетевой безопасности, таких как обнаружение несанкционированного доступа или кодировки данных. Если не учесть проблемы сетевой безопасности, это может привести к замедлению адаптации системы или необходимости ее дальнейшего наращивания, и/или может вызвать удорожание системы и вызвать излишние усилия пользователя при вводе системы в работу или когда она уже находиться в работе. Лучшее решение - это разработать архитектуру, которая не представляет проблем с точки зрения сетевой безопасности с самого начала.

3. ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТИПОВЫХ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ

Структура распределительных устройств подстанций подчиняется строгим правилам. Первичная схема любой подстанции может быть условно разделена на зоны защиты. С целью минимизации перерывов снабжения при срабатывании защиты эти зоны обычно охватывают единственный элемент сети. Каждая зона защиты ограничивается трансформаторами тока (ТТ), что позволяет определить место КЗ, и выключателями (ВЫКЛ), которые позволяют изолировать КЗ. Для обеспечения лучшей селективности эти границы измерения и отключения близки друг к другу и перекрываются определенным образом (измерительная зона обычно больше чем отключаемая зона).

Традиционно, для обеспечения защиты определенной зоны используется одно многофункциональное реле. Такому устройству требуется доступ ко всем ТТ, ограничивающим зону для данного вида защиты, и требуется управления всеми выключателями ограничивающими такую зону. Тем не менее, для любого подобного реле исходные данные четко определены – нет необходимости заводить все возможные сигналы на все возможные реле. Следуя той же логике, сигналы любых подобных реле имеют четкое место назначения. Обычно эти места назначения (Выключатели)

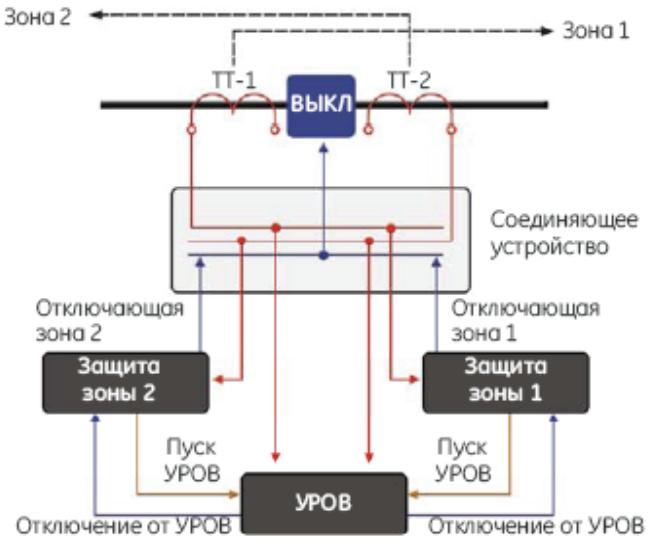

Рис.1: Схема передачи данных «один-ко-многим»

совпадают с местами сбора исходных данных (ТТ) так как измерительная и отключающая границы зон защит физически близки друг к другу.

С позиции реле необходимо осуществлять дуплексный обмен данными с точками, ограничивающими зону защиты. Это создает постоянный шаблон потока данных «один-ко-многим». Одно единственное исключение - это реле защиты шин, которое имеет значительное число точек ТТ/Выключатель окружающих его зону защиты, для всех остальных видов защиты доступ требуется только к нескольким точкам – обычно ко всем локальным 3-фазным проводникам защищаемого элемента сети (комбинация ТТ/Выключатель), и при необходимости напряжению внутри зоны.

Для исключения «мертвых зон» защиты обычно проектируются так, чтобы их зоны перекрывали друг друга. В идеале это перекрытие должно происходить на выключателях, или по крайней мере в непосредственной близости к выключателям. Проектирование точной схемы обнаружения КЗ без соответствующих мер по его ликвидации не имеет экономического смысла (исключения составляют, например, выводы трансформатора), следовательно ситуация представленная на Рисунке 1 является типовой. При такой схеме присоединений защита зоны 1 определяет КЗ от ТТ-1 (среди других) и отключает выключатель, в то время как защита зоны 2 определяет КЗ от ТТ-2 и отключает тот же самый выключатель. Функция УРОВ может быть встроена в одно или оба реле защиты, или осуществлена в отдельно стоящем реле. В любом случае, функция УРОВ будет измерять те же самые токи, что и две зоны защиты.

Полевое (соединяющее) устройство на Рис.1 определено как устройство, поддерживающее связь как с ТТ так и с Выключателем на пересечении двух зон защиты. С этой точки зрения такое устройство должно поддерживать связь только с двумя или тремя реле: реле зон 1 и 2, и возможно отдельностоящим реле УРОВ. Это создает универсальный шаблон для дуплексного обмена данных между соединяющим устройством и его реле «один-ко-многим».

Способность одного полевого устройства обеспечивать данными четыре реле удовлетворяет всем типовым применениям, что доказывает детальный анализ типовых компоновок подстанций. В некоторых исключительных случаях, когда данными из одной и той же точки должно снабжаться большее колличество реле, может быть добавлено второе полевое устройство, подключеное к тем же самым сигналам.

Зоны защиты охватывают и связывают выключатели и элементы сети по всей подстанции. Это означает, что если для данной интересующей точки на ОРУ использовать единственное соединяющее устройство, то получается следующий эффект домино: ИЭУ-1 требуются данные от полевого устройства (ПУ-1); ПУ-1 может обеспечивать данными ИЭУ-2, которое, в свою очередь, будет под-

соединено к полевому устройству (ПУ-2) для осуществления своих функций и т.д. Это означает что шаблоны данных от ИЭУ «один-ко-многим» пересекаются с шаблонами данных «один-ко-многим» от полевых устройств, помещая таким образом все ИЭУ и полевые устройства в одну сеть связи, что приводит к образованию локальной сети охватывающей всю подстанцию. Это может создать проблемы обслуживания и надежности, но этого можно избежать, соблюдая правило: от полевого устройства требуются только четыре логические связи, которые легко могут быть обеспечены на специализированной основе точка-к-точке.

4. ПРЕДЛАГАЕМАЯ АРХИТЕКТУРА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ РЗА НА БАЗЕ СТАНДАРТА МЭК 61850

Предлагаемая система включает в себя полевые устройства, монтируемые на корпусах первичного оборудования, реле, заранее-подключенные кабели, и оптоволоконные переходные панели для кросс-коммутации полевых устройств и реле.

Полевые устройства разработаны для взаимодействия со всеми сигналами, обычно использующимися для автоматизации подстанции и защиты, настолько близко к их соответствующим оригиналам, насколько это осуществимо; к этим сигналам относятся токи и напряжения от измерительных трансформаторов, сигналы положения выключателя и аварийные сигналы, сигналы управления выключателем, сигналы положения и управления разъединителем, сигналы датчиков температуры и давления, и.т.д.

Полевые устройства, разработанные специально для этой цели, называются Брик (Brick), что подчеркивает их прочность и функциональность в качестве «строительных блоков» системы шины процесса. Соединяющие устройства разработаны для суровых условий окружающей среды, включая экстремальные температуры, ударные воздействия и вибрацию, электромагнитную совместимость, действие солнечных лучей, струи воды под давлением и подверженность воздействиям соли и других грубых химических веществ. Это позволяет устанавливать их на улице в непосредственной близости от оборудования распределительного устройства.

Полевые устройства собирают аналоговые сигналы ТТ/ТН, а также сигналы состояний от выключателей, разъединителей, заземляющих ножей и преобразователей, таких как датчики температуры и давления и т.д. Помимо сбора аналоговых и дискретных сигналов от первичного оборудования, преобразования их в цифровой формат и пересылке устройствам РЗА, полевые устройства получают по оптоволоконной связи сигналы команд от ИЭУ и выполняют операции отключения или включения выключателей или разъединителей.

Архитектура связи приведенная на Рис. 2 основывается на топологии «точка-к-точке». Между полевыми устройствами и ИЭУ РЗА имеются строго определенные оптоволоконные линии связи. Для обеспечения необходимой функциональности каждое полевое устройство и каждое ИЭУ могут поддерживать несколько связей «точка-к-точке». В практическом применении данной архитектуры, реализованной в качестве коммерчески доступной системы называемой HardFiber, каждое полевое устройство поддерживает четыре независимых канала связи, а каждое ИЭУ поддерживает максимум до восьми каналов связи.

Наличие четырех логических полевых устройств в одном физическом устройстве характеризуется четырьмя независимыми портами связи. В действительности в представленной системе полевое устройство содержит четыре независимых цифровых сердечника, каждый из которых состоит из микроконтроллера с индивидуальной двунаправленной оптоволоконной линией связи, обеспечивающей соединение «точка-к-точке» с одним реле. Благодаря данной конструкции повышается надежность устройства, поскольку вместо одного центрального процессора, обрабатвающего одина-ковые части программного/аппаратного обеспечения, для управления несколькими каналами связи имеются четыре независимых ЦПУ обрабатывающих независимые программные коды, служащие для передачи потоков данных в соединениях «точка-к-точке». Кроме четырех цифровых сердечников, для осуществления связи в полевом устройстве имеется один общий микроконтроллер входов/выходов представляющий собой надёжную конструкцию, которая имеет полную изоляцию и независимость от цифровых сердечников.

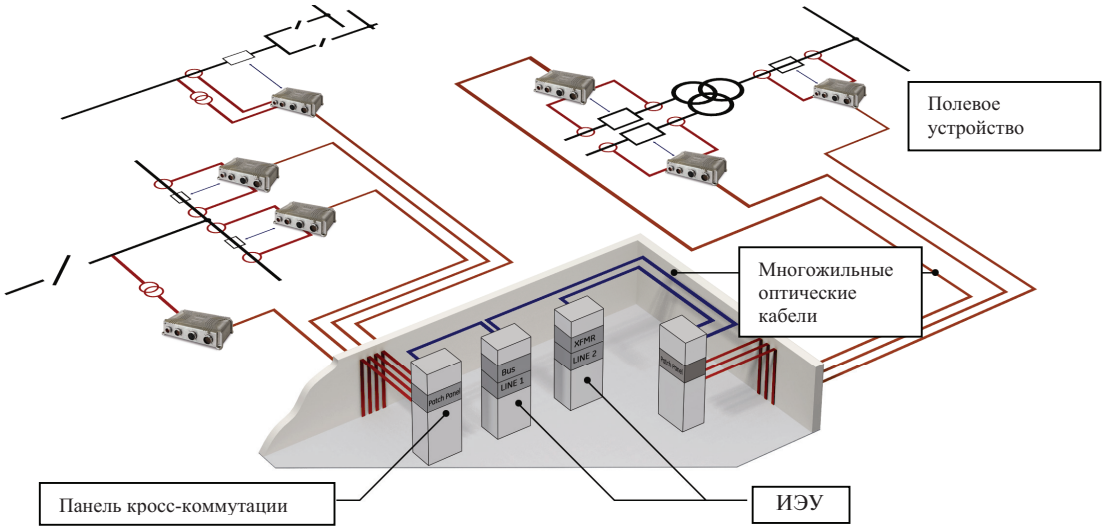

Рис. 2: Архитектура «точка-к-точке» шины процесса для системы РЗА

Каждое реле получает сигналы для выполнения своих функций по надежной специально выделенной сети, состоящей из прямых оптоволоконных связей жестко-привязанных к каждому соответствующему полевому устройству по МЭК 61850. Благодаря полностью определенному потоку данных по этим специально выделеленным связям, для синхронизации используется простой и надежный метод, при котором каждое реле контролирует время выборок присоединенных соединяющих устройств кернов по линии связи, не полагаясь, для синхронизации данных по шине, на внешний задающий генератор.

Передача данных от полевых устройств к ИЭУ РЗА осуществляется согласно стандарту МЭК 61850-9-2 с использованием оптоволоконных кабелей подключенных к панелям кросс-коммутации, которые распределяют соответствующие сигналы по ИЭУ. Передача команд управления от ИЭУ к полевым устройствам осуществляется по тем же оптоволоконным кабелям с помощью сообщений GOOSE стандарта МЭК 61850-8-1.

Улучшение надёжности и готовности защиты может по желанию достигаться посредством использования дублированных полевых устройств. Алгоритмы РЗА не реализованы внутри полевых устройств; их единственная задача – это высокоскоростной и надежный интерфейс МЭК 61850 на ОРУ.

Для облегчения процедур наладки и замены все кабели имеют концевую соединительную муфту и подключены заранее, при этом используются стандартные компоненты военной/авиационной категорий. Для опеспечения оперативного питания полевых устройств оптоволоконные кабели наружной установки содержат пару проводов питания постоянным током, они же используются для подачи внутреннего напряжения на полевые “сухие” контакты (например, промежуточных переключателей, датчиков давления, и т.д.), связанные с каждым полевым устройством на ОРУ, независимо от оперативного питания на ОРУ.

Коммутационные панели служат для подведения и организации кабелей из ОРУ, а также для индивидуального снабжения оперативным питанием полевых устройств. Для выполнения “жесткой оптоволоконной привязки” используются стандартные патч- корды, которые выполняют все необходимые связи по стандарту МЭК 61850 между реле и полевыми устройствами, в соответствии с конфигурацией подстанции на основе базиса “один-к-одному” без использования сетевых переключателей.

5. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРУДНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Двумя наиболее значительными техническими проблемами следующего поколения архитектуры РЗА являются совместное использование данных и синхронизация выборок входов переменного

тока. Остальные технические трудности, такие как управление ПО, упрощаются как только решаются эти две фундаментальные проблемы. Заметьте, что ни одна из этих двух проблем не имеет место в сегодняших жестко-соединенных применениях: аналоговые сигналы доставляются по проводам к каждому индивидуальному реле.

Предлагается следующий подход: каждое соединяющее устройство содержит совмещенную структуру входов/выходов и четыре цифровых керна. Структура входов/выходов контролируется независимо от реле и цифровых кернов с помощью аппаратного обеспечения низкого уровня. Цепи управления исключительно стандартные и подходят для следующих применений. Принцип совмещенной структуры входов/выходов позволяет иметь одно компактное полевое устройство и связанную с ним обвязку. Эта структура входов/выходов изолирована от цифровых кернов, и использует соответствующее аппаратное буферное устройство. При таком подходе невозможно неправильно взаимодействовать с совмещенными входами/выходами при возможных небольших неисправностях цифровых кернов. Цифровые керны полностью изолированы на аппаратном уровне и состоят из независимых микроконтроллеров, исполняющих независимые элементы ПО, и обменивающихся данными с ИЭУ через независимые оптоволоконные приемопередатчики. Интерфейс для совмещенной структуры входов/выходов и оперативного питания разработан с обеспечением полной независимости цифровых кернов. Каждый цифровой керн привязан к определенному ИЭУ, и каждый керн работает, как будто он является единственным в соединяющем устройстве. Независимые керны в комбинации с принципом связи “точка-к-точке” позволяют разрешить две наиболее значительные технические проблемы.

Каждое реле действует в своей собственной “временной зоне”, образовывая свой особенный сигнал дискретизации для запоминания отсчетов для того, чтобы внутренне соответствовать требованиям специфических алгоритмов применения. Этот сигнал дискретизации для запоминания отсчётов посылается с использованием сообщений GOOSE МЭК 61850 ко всем полевым устройствам подключенным к реле (до 8 в предлагаемой архитектуре). Благодаря соединениям “точка-к-точке”, любой “чужой” поток данных предотвращается, и все сообщения GOOSE доставляются к полевым устройствам быстро и с постоянной выдержкой времени. В таком исполнении “дрожание” сигнала дискретизации гарантировано менее 1 микросекунды, при этом нет необходимости выполнения системы фазовой автоподстройки частоты для сглаживания “дрожания” сигнала дискретизации. Содержимое сообщений GOOSE является набором данных контролирующих локальную дискретизацию и выходы соединяющих устройств (отключение, включение, блокировка).

Общая структура входов/выходов полевого устройства с относительно высокой скоростью собирает выборки переменного тока на основе собственного свободно-бегущего генератора синхронизации. Индивидуальные копии этих физических выборок посылаются каждому из четырех цифровых кернов по независимой цифровой линии внутри соединяющих устройств. После приема виртуальных сигналов дискретизации в виде сообщений GOOSE, эти керны производят перевыборку своих собственных потоков физических выборок для получения и возврата виртуальных выборок в точной синхронизации с ИЭУ, для которого предназначаются эти выборки. Таким образом каждое соединяющее устройство поддерживает 5 привязок по времени: одну свою и по одной для каждого из 4 реле, относительно друг от друга все временные привязки работают асинхронно. Каждое реле получает свои выборки, синхронизированные со своим собственным сигналом дискретизации. Высокая физическая частота выборок позволяет обеспечить высокую точность при производстве перевыборки, что требуется для измерений и чувствительных функций защиты.

В такой архитектуре МЭК 61850 каждое реле может выполнять дискретизацию следуя собственной схеме отслеживания частоты, и различные реле могут применять разную частоту дискретизации. Ни сама дискретизация, ни функции защиты не зависят ни от центрального генератора, ни от большого количества сложных и распределенных систем фазовой автоподстройки частоты, ни как часть открытого стандарта, ни как составляющая собственности какой-либо компании, которую надо синхронизировать прежде чем система начнет выдавать и получать данные.

Концепция независимых цифровых кернов в полевых устройствах способствует организации не только независимых временных зон, но и независимых “зон ПО”. При пуске каждое реле проверяет версию ПО во всех подключенных керных полевых устройств. Если версия ПО керна не совпадает с версией ПО реле, реле автоматически загружает необходимое ПО в присоединенный керн, в то время

как другие керны продолжают нормальную работу, не затронутые и неосведомлённые об изменениях, проиходящих с их соседом. Эта операция длиться миллисекунды и абсолютно незаметна ни для пользователя, ни для системы.

Полевое устройство не имеет внутреннего ПО или уставок – всё это контроллируется каждым присоединенным реле. Таким образом, пользователь не имеет проблем с изменениями ПО и уставок между реле и полевыми устройствами (эффект домино). Для того, чтобы взаимодействовать с полевым устройством никакие программные средста не требуются. Традиционные пограммные средства по настройке реле – как принято сегодня – достаточны для настройки системы. Вся терминология стандарта МЭК 61850 закрыта от пользователя.

6. ВЫВОДЫ

В данной статье описывается новаторский подход применения шины процесса согласно стандарту МЭК 61850, который позволяет применять данную технологию без необходимости модифицирования конструкции первичного оборудования.

Представленная архитектура связи «точка-к-точке» позволяет реализовывать надежное применение функций РЗА на основе концепции цифровой шины процесса. Этот новый подход характеризуется специальными оптоволоконными связями, гарантирующими полную определенность связей Ethernet и устойчивость к проблемам сетевой безопасности. При этом сложной конфигурации свичей Ethernet не требуется (т.е. маркировка приоритетов, протоколы восстановления сети и т.д.), поскольку нет проблем перегрузки, противоречий данных и задержек в линиях связи. Также в сети связи системы процессной шины нет необходимости в дополнительных центральных часах, поскольку каждый ИЭУ является мастером синхронизации времени и данных для полевых устройств, которые к нему подключены.

Описанный подход процессной шины идет вне концепции полевых устройств, описанной в соглашении по внедрению МЭК 61850-9-2LE (сокращенное издание), которое ограничивает полевые устройства устройствами, разработанными для обработки сигналов токов и напряжений от нетрадиционных измерительных трансформаторов. Полевые устройства, описанные в данной статье, разработаны для обработки всех возможных типов сигналов подстанций: напряжений и токов, входных сигналов состояния, дискретных выходных команд, аналоговых входных сигналов от преобразователей и датчиков. При первом применении представленной концепции использовались полевые устройства разработанные на основе военных технологий, годные для уличного монтажа на ОРУ в непосредственной близости от высоковольтного оборудования.

Преимуществом замены традиционных плат входов/выходов в ИЭУ РЗА только на оптоволоконные связи является резкое снижение медных проводов в шкафах РЗА. Медные связи заменяются несколькими оптоволоконными кабелями и программным конфигурированием привязки цифровых сигналов. Новое поколение ИЭУ будет иметь одну плату связи с портами Ethernet вместо нескольких плат преобразования входов/выходов. Оптоволоконные кабели, соединяющие панели РЗА и полевые устройства, смонтированные на первичном оборудовании, по обоим концам имеют специальные наконечники, что минимизирует необходимость обработки кабеля на месте. В случае новых подстанций полевые устройства могут быть смонтированы, предварительно привязаны и проверены на заводе-изготовителе высоковольтного оборудования. Когда первичное оборудование будет поставлено и установлено на подстанции, подключение ИЭУ РЗА будет простым как подключение оптоволоконных кабелей связи, создавая реальность концепции подстанции по технологии «включай и работай».

Авторы верят, что основными преимуществами представленной системы являются прочность, детерминизм, надежность и легкость использования. С дугой стороны Ethernet архитектура «точка-к-точке» при сравнении с архитектурой основанной на переключаемой Ethernet сети может иметь потенциальные проблемы с точки зрения гибкости и масштабируемости. В представленном решении компромисс достигается путем размещения нескольких портов Ethernet в полевых устройствах и ИЭУ, что позволяет иметь им несколько связей «точка-к-точке». Тем не менее необходимо понимать, что шина процесса – это важная инфроструктура для системы РЗА. Если проанализировать скольким ИЭУ необходимо получать аналоговые сигналы от одного ТТ, ответ обычно будет 2 или 3. Маловеро-

ятно, что 12 или 16 ИЭУ будет необходимо получить величину от ТТ одного присоединения. Таким образом для шины процесса нет необходимости в гибкости, предлагаемой переключаемой Ethernet сетью, когда любое устройство может получать данные от любого устройства в сети. Конечно большая гибкость переключаемой сети необходима для шины подстанции, где используются применения типа МЭК 61850 GOOSE для организации блокировок, соединяющих много устройств, но для сегмента шины процесса в этом нет необходимости.

Масштабируемость предлагаемой архитектуры «точка-к-точке» достигается установкой дополнительного полевого устройства на присоединение. Эти компромисс, простота и надежность достигаются ограничением гибкости. Чем большая гибкость необходима, тем больше устройств необходимо добавить в систему, что увеличит общую стоимость.

Первым пилотным проектом системы РЗА на базе представленной в данной статье архитектуре шины процесса на базе стандарта МЭК 61850 является подстанция 345 кВ в Колумбусе, штат Огайо. Два терминала дистанционной защиты и один терминал УРОВ использовались для защиты двух линий передачи 345 кВ, подключенных по полуторной схеме. Наладка была выполнена в августе 2008. Осуществлялась модернизация подстанции и система РЗА основанная на шине процесса работала параллельно существующей системе РЗА. Более детальную информацию по этому проекту, а так же анализ результатов работы можно найти в [5].

Работа, представленная в данной статье, отражает актуальное развитие законченной системы, охватывающей все основные типы применения РЗА. Основной целью на стадии разработки было создание системы, которая предоставит пользователю реальные преимущества в части снижения стоимости, уменьшения длительности выполнения проекта, и упрощения архитектуры системы.

Дальнейшая работа над представленной системой может включать в себя разработку интерфейса для работы полевых устройств (Бриков) с нетрадиционными измерительными трансформаторами в связи с ростом рынка сбыта данной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

[1] IEC International Standard “Communication networks and systems in substations – Part 9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3”, (IEC Reference number IEC/TR 61850-9-2:2004(E), IEC, Geneva, Switzerland).

[2] IEC 61850-9-2 LE: Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2, UCA International Users Group.

[3] M. Adamiak, B. Kasztenny, J. Mazereeuw, D. McGinn, S. Hodder “Considerations for Process Bus deployment in real-world protection and control systems: a business analysis” presented at 42 CIGRE Session, Paris, August 24-29, 2008, paper B5-102.

[4] B. Kasztenny, D. Finney, M. Adamiak, E. Udren, J. Whatley, J. Burger, “Unanswered Questions about IEC 61850 – What needs to happen to realize the vision?” (Proceedings of the 31st Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, 2005).

[5] M. Adamiak, D. McGinn, V. Muthukrishnan, “Designing Copper Wiring Out of High Voltage Substations: A Practical Solution and Actual Installation” (Proceeding of 63rd Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, Atlanta, USA, 2009).