

Эффективные решения для цифровой подстанции

Сегодня Цифровая Подстанция (далее ЦПС) – одна из наиболее обсуждаемых в энергетическом сообществе тем. Многие отождествляют ее с инновациями в области автоматизации электрических подстанций. При этом отсутствует общепринятое определения данной технологии. В условиях модернизации экономики и перевода ее на «цифровые рельсы», ярлык «цифровое» вешается буквально на все. Кто-то называет ЦПС систему автоматизации или РЗА с реализацией информационного обмена по МЭК 61850-8-1 (GOOSE, MMS), а кто-то и вовсе причисляет к рядам «цифровых» объекты, имеющие цифровые каналы передачи данных в диспетчерские центры и/или между оборудованием. Не критикуя тот или иной подход, отметим, что в данной статье под термином ЦПС подразумевается объект электроэнергетики, в котором данные от первичного оборудования передаются устройствам защиты и управления в цифровом виде посредством коммуникационной инфраструктуры объекта – шины процесса.

Автор

Анисимов А.И.

АРХИТЕКТУРЫ ЦПС

Как известно существуют две полярные архитектуры ЦПС: централизованная и децентрализованная.

Централизованная архитектура представляет собой реализацию функций защиты, управления, измерений и т.д. для распределительного устройства или подстанции в целом в одном вычислительном устройстве (сервере) с резервированием. Для реализации данной концепции необходимы значительные вычислительные мощности сервера, реализующего алгоритмы защиты и управления. Такой производительностью обладают мощ-

ные серверные платформы общего назначения с многоядерной архитектурой, способные обрабатывать большое количество SV потоков и решать множество алгоритмических задач в режиме реального времени. Например, среди серверов, серийно-выпускаемых компаниями DELL, Hewlett-Packard, IBM, Cisco и др., возможно подобрать необходимую по производительности аппаратную платформу для реализации централизованной архитектуры ЦПС.

Однако применение аппаратных платформ общего назначения имеет ряд существенных недостатков:

- стоимость оборудования привязана к курсу USD, т.к. используется иностранное оборудование;
- узкий температурный диапазон эксплуатации (в среднем 10-35 °С);
- вентиляторное охлаждение (как следствие снижение надежности, чувствительность к наличию в воздухе частиц пыли, сервер работает как «пылесос»);
- необходимость обслуживания;



Рис. 1. Серверные платформы общего назначения

■ ограниченный срок эксплуатации (в среднем 5 лет).

Конечно, ограничения по условиям эксплуатации можно обойти, устанавливая серверы в специализированных помещениях (серверных комнатах), оборудованных системой поддержания климата и защищенных от электромагнитных помех. Однако данные помещения существуют далеко не на каждой подстанции. В основном, серверные помещения имеются на крупных подстанциях магистральных сетей, что делает недоступной технологию ЦПС для сегмента distribution, а технология должна быть масштабируемой.

Децентрализованная архитектура подразумевает сохранение традиционной структуры систем защиты и управления, когда за отдельную функцию отвечает отдельное устройство. Придерживаться децентрализованной архитектуры при построении ЦПС довольно «удобно», т.к. структурная схема объекта автоматизации имеет привычный заказчику и проектировщику вид. Например, на каждый фидер устанавливаются цифровые терминал РЗА и контроллер присоединения. При этом большинство разработчиков оборудования РЗА и АСУ ТП «превращают» обычный терминал или контроллер в «цифровой» IED, заменяя блок аналогового ввода и дискретного ввода/вывода на цифровой интерфейс. При этом концептуально устройство остается традиционным, изменился лишь метод обмена данными этого устройства с «внешним миром».

Для реализации данной архитектуры ЦПС подразумевается применение большого числа устройств. Т.е. количество терминалов, контроллеров и др. IED остается прежним относительно «традиционной» архитектуры, но к их числу добавляются аналоговые и дискретные устройства сопряжения (AMU, DMU), а также сетевые коммутаторы. Безусловно ЛВС, образующая шину процесса, требует резервирования, т.к. является критической точкой отказа всей системы. При этом, если устройства, подключаемые в шину процесса, не поддерживают протокол резервирования PRP, то необходимо применение большого числа устройств RedBox. Также если устройства AMU не поддерживают синхронизацию по шине процесса посредством протокола RTP,



Рис. 2. Загрязнение элементов охлаждения из-за применения вентиляторов

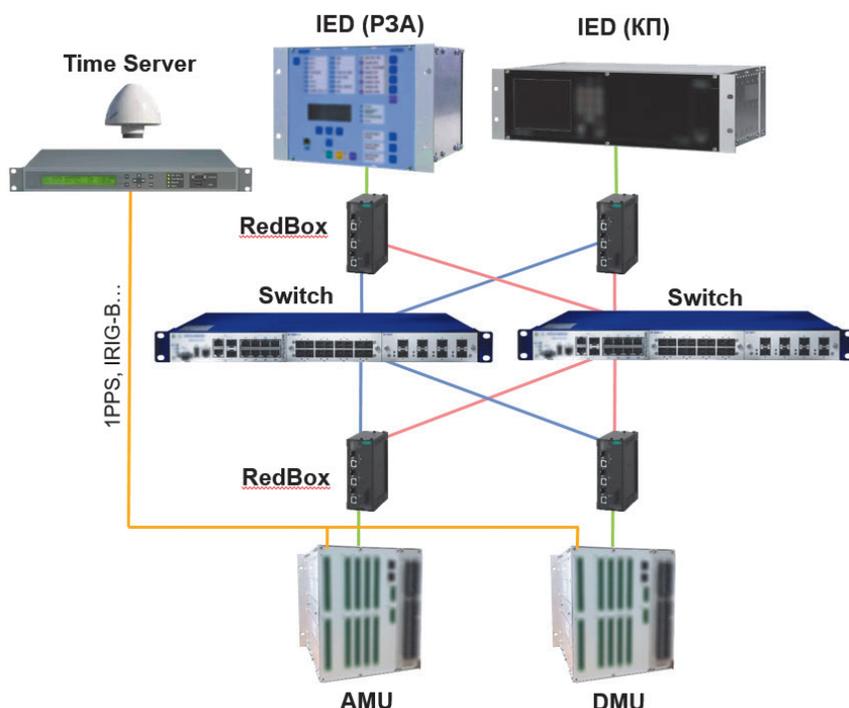


Рис. 3. Структурная схема «неправильной» ЦПС

то для их синхронизации по 1PPS или IRIG-B возникает необходимость построения отдельной сети. На рисунке 3 представлена структурная схема, отражающая «неправильный» подход к построению ЦПС.

Применение подобной архитектуры ведет к многократному удорожанию систем автоматизации, построенных по принципам ЦПС, относительно «традиционных».

Конечно, две рассмотренные выше архитектуры (централизованная и децентрализованная) являются противоположными крайностями, и как большинство радикальных подходов не могут быть оптимальными с точки зрения технико-экономических показателей.

IED СЕРВЕР

Двигаясь в ногу со временем, в рамках развития технологии ЦПС, ООО «ПиЭлСи-Технолоджи» активно занимается разработкой и производством оборудования для данной тематики. В ходе продолжительной работы нами было создано собственное видение концепции ЦПС, а также разработана линейка оборудования и ПО для построения ЦПС.

Мы предлагаем рассматривать ЦПС в виде цифровых сегментов. Такими сегментами могут быть фидер, секция шин, распределительное устройство, подстанция. Общая структура цифрового сегмента представлена на рисунке 4.

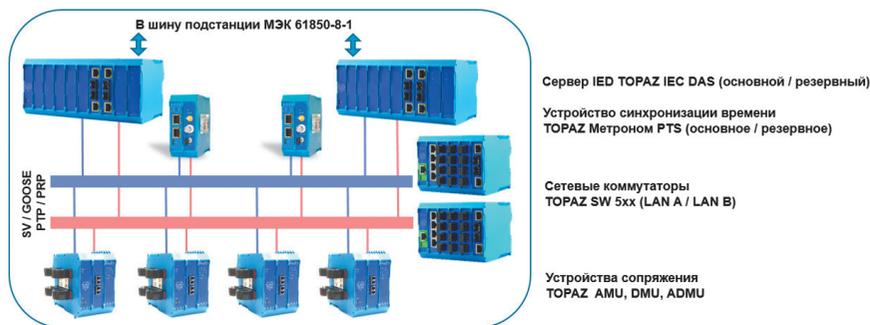


Рис. 4. Структурная схема цифрового сегмента ЦПС



Рис. 5. Индустриальная серверная платформа TOPAZ IEC DAS + алгоритмы защиты и управления = ПТК TOPAZ iSAS



Рис. 6. Устройство сопряжения дискретных сигналов с цифровой шиной процесса TOPAZ AMU TOPAZ DMU (MTU5)



Рис. 7. Устройство сопряжения аналоговых сигналов с цифровой шиной процесса TOPAZ AMU

Основной компонент цифрового сегмента – сервер IED TOPAZ IEC DAS, разработанный и производимый ООО «ПиЭлСи Технолоджи». TOPAZ IEC DAS – это серия специализированных серверных платформ индустриального исполнения, предназначенная для исполнения алгоритмов защиты и управления подстанцией. При таком подходе технология ЦПС превращает терминалы РЗА, контроллеры присоединений, измерительные приборы, регистраторы и др. вторичное оборудование в алгоритмы (программные приложения). В зависимости от количественного и качественного состава исполняемых задач выбирается и необходимая производительность сервера. Алгоритмы защиты и управления реализованы в виде программных приложений, а их структура информационного взаимодействия выполнена в виде информационной модели IEC 61850.

Стоит отметить, что серверные платформы TOPAZ IEC DAS – это индустриальный компьютер, специально разработанный для применения на таких объектах как электроподстанция. К эксплуатационным характеристикам серверов TOPAZ IEC DAS можно отнести широкий температурный диапазон -40: +70 °С, отсутствие движущихся частей, соответствие требованиям по ЭМС.

Серверная платформа TOPAZ IEC DAS с комплектом ПО, реализующего соот-

ветствующие алгоритмы, образуют программно-технический комплекс мониторинга, защиты и управления подстанцией TOPAZ iSAS (intelligent substation automation system). ПТК TOPAZ iSAS является проектно-компонентным и программно-конфигурируемым. Т.е. в зависимости от постановки задачи выбирается серверная платформа TOPAZ IEC DAS с необходимой производительностью и коммуникационными возможностями, далее на нее устанавливается необходимый набор алгоритмов. ПТК TOPAZ iSAS работает под управлением операционной системы Linux.

ООО «ПиЭлСи Технолоджи» разработала следующие алгоритмы защиты и управления подстанцией, которые возможно исполнять на ПТК TOPAZ iSAS:

- РЗА подстанционного оборудования 6–35 кВ;
- управление присоединением 6–220 кВ;
- МИП – измерение электрических параметров;
- регистрация аварийных событий;
- измерение, регистрация, контроль ПКЭ;
- учет электроэнергии.

Набор алгоритмов постоянно расширяется и совершенствуется. В настоящий момент ведутся разработки алгоритмов РЗА подстанционного оборудования 110–220 кВ.

УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ С ШИНОЙ ПРОЦЕССА

Еще один важнейший элемент ЦПС – устройства сопряжения с цифровой шиной процесса TOPAZ DMU, AMU, ADMU.

TOPAZ DMU (Digital Merging Unit) – устройство, предназначенное для интеграции данных от коммутационного оборудования ячейки в цифровую шину процесса. Устройства семейства TOPAZ DMU осуществляют информационный обмен информацией о состоянии коммутационных аппаратов и командами на их управление в соответствии с МЭК 61850-8-1 (GOOSE). Устройства имеют в своем составе выходы с высокой коммутационной способностью, предназначенные для работы в цепях управления приводами выключателей всех типов.

Устройство TOPAZ AMU (Analog Merging Unit) – служит для интеграции аналоговых сигналов, поступающих от измерительных ТТ и ТН, в цифровую шину процесса в соответствии с IEC61869, части 9 и 13. Очень часто для аналоговых устройств сопряжения декларируется соответствие публикуемых цифровых отсчетов спецификации IEC 61850-9-2LE (UCA «Implementation

Guidelines for Digital Interface to Instrument Transformers using IEC 61850-9-2»), т.е. передача в одном пакете мгновенных значений по четырем каналам тока и четырем каналам напряжения. Такой формат передачи данных подразумевает, что устройство AMU имеет, соответственно, 4 канала измерения напряжения и 4 канала измерения тока, что, на наш взгляд, не является оптимальной конфигурацией устройства сопряжения. В нашей идеологии оцифровка сигнала должна происходить как можно ближе к источнику данных (точка измерения), а каждый сигнал оцифровываться единожды. Так, в линейке TOPAZ AMU присутствуют следующие модификации устройств по измерительным входам:

- 4U;
- 4I (измерения/защиты);
- 8U;
- 4U+4I (измерения/защита);
- 4I (измерения) + 4I (защита).

Таким образом возможно спроектировать шину процесса наиболее оптимально, например, устанавливая одно устройство AMU 8U на ячейку ТН, и по одному устройству AMU 4I (измерения) + 4I (защита) на ячейки линейных присоединений, оцифровывая токи измерительных и защитных кернов ТТ одним устройством.

Для работы резервного комплекта защит устанавливается отдельное устройство AMU 4I(защита) на отдельный kern ТТ. Стоит отметить наличие в линейке устройств AMU модификаций 4Udc, 8Udc (измерение напряжения постоянного тока), необходимых для измерения напряжения СОПТ.

Из ключевых характеристик устройств AMU следует отметить широкий динамический диапазон и высокую точность при измерении токов и напряжений. Характеристики измерения напряжения: от 5,75 V до 330 V с погрешностью $\pm 0,1\%$. Измерительные каналы тока могут быть двух вариантов:

- МС для точных измерений: 0,01–10 A с погрешностью $\pm 0,1\%$, 10–50 A с погрешностью 0,5 %;
- РС для защиты: 0,05–10 A с погрешностью $\pm 0,1\%$; 10–200 A с погрешностью 0,5 %.

Все устройства сопряжения с цифровой шиной процесса семейства TOPAZ отличаются компактными размерами, оснащаются оптическими или медными портами Ethernet скоростью 100 Мб/с, поддерживают протокол параллельного резервирования PRP, а также протокол точной синхронизации времени PTPv2.

СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Отличительный признак ЦПС – наличие цифровой шины процесса, образованной сетевыми коммутаторами. ООО «ПиЭлСи Технолоджи» для построения шины подстанции и шины процесса разработала линейку управляемых коммутаторов SW5xx. Из ключевых особенностей, важных для реализации шины процесса, стоит отметить поддержку PTPv2 «Прозрачные часы» / «Граничные часы» и тегирование трафика VLAN IEEE 802.1Q.

СИНХРОНИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ

Все устройства сопряжения с шиной процесса должны быть жестко синхронизированы между собой по времени. Это необходимо для корректной обработки дискретных событий, но особенно важная синхронизация важна между устройствами AMU, т.к. рассинхронизация устройств будет выражаться в наличии ложного фазового сдвига между кривыми тока и напряжения, снятыми с разных устройств AMU, что может привести к ложным срабатываниям РЗА, увеличению погрешности при измерении мощности и энергии, искажению информации при записи аварийных осциллограмм и т.д. Рассинхронизация двух устройств AMU в 1 мкс выражается в ложном фазовом сдвиге в 1,08 угловых минуты.

Для синхронизации устройств на подстанции ООО «ПиЭлСи-Технолоджи» разработало устройство синхронизации времени TOPAZ Метроном PTS. Данное устройство поддерживает протоколы синхронизации времени NTP, SNTP, PTPv2, протоколы резервирования RSTP, PRP, HSR, имеет оптический и медный выходы 1PPS. Точность синхронизации формируемой шкалы времени с шкалой времени UTC составляет ± 200 нс.

ВЫВОДЫ

Таким образом сегодня ООО «ПиЭлСи Технолоджи» – возможно, единственная компания, предлагающая полный спектр оборудования для внедрения ЦПС «под ключ», т.е. без применения оборудования и ПО сторонних вендоров. При этом все оборудование построено в строгом соответствии с отечественными и международными стандартами, что обеспечивает информационную совместимость с оборудованием других производителей. Реализация информационного обмена в соответствии с МЭК 61850 в устройствах TOPAZ испытана в международной лаборатории DNV GL (быв-



Рис. 8. Управляемый сетевой коммутатор TOPAZ SW5xx с поддержкой PTPv2



Рис. 9. Устройство синхронизации времени TOPAZ Метроном PTS

шая DNV KEMA, Нидерланды) и имеет сертификат UCA Level A.

ЦПС – прогрессивная технология построения систем защиты и управления подстанцией. Однако на сегодня она не получила широкого применения по ряду причин:

- высокая стоимость предлагаемых решений. Причина тому – применение неоптимизированных архитектур построения ЦПС, описанных в начале статьи;
- слабо проработанная нормативная база. Отсутствие ГОСТов, ОТР, регламентов эксплуатации устройств и систем, реализующих информационный обмен по IEC 61850-9-2;
- недостаточно высокая компетентность обслуживающего персонала в области IT.

Тем не менее мы постарались сделать технологию ЦПС максимально эффективной и доступной. Применяемые нами технические решения делают соизмеримой стоимость внедрения ЦПС и традиционных систем автоматизации, или даже позволяют получать экономический эффект от внедрения ЦПС. В т.ч. это касается и объектов 10(6) кВ. Это удается благодаря оптимальной архитектуре и применению оборудования собственной разработки. Таким образом, мы стараемся сделать «цифровое» будущее энергетики на шаг ближе.