

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 6–35 кВ

А.В. МОКЕЕВ
(ЗАО “ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР “ЭНЕРГОСЕРВИС”)



Рассматриваются вопросы внедрения интеллектуальных электронных устройств с поддержкой шины подстанции согласно МЭК 61850-8-1 и шины процесса МЭК 61850-9-2LE для распределительных устройств 6-35 кВ.

ВВЕДЕНИЕ

Под интеллектуальными электронными устройствами (ИЭУ) понимаются устройства релейной защиты, автоматики, телемеханики, измерительные устройства и другие, обеспечивающие реализацию стандартов цифровой подстанции согласно МЭК 61850 [1, 2].

Принципиальное отличие интеллектуальных устройств различного функционального назначения от традиционных связано с применением более скоростных коммуникаций на основе промышленного Ethernet с поддержкой технологий резервирования и безопасности, возможностью реализации горизонтальных связей между ИЭУ для обмена дискретной и аналоговой информацией [2, 3]. Организация горизонтальных связей между ИЭУ позволяет реализовать надежную систему оперативных блокировок на подстанции, обеспечить реализацию более эффективных алгоритмов устройств защиты и автоматики и т.д.

Переход на цифровые технологии связи на подстанциях позволит реализовать полноценный мониторинг и диагностику работы как отдельных интеллектуальных электронных устройств, промышленных сетей, высоковольтных ячеек, так и подстанции в целом.

Несмотря на очевидные преимущества интеллектуальных электронных устройств, основной сдерживающий фактор для их массового применения в распределительных устройствах 6-35 кВ связан со значительно более высокой стоимостью ИЭУ по сравнению с традиционными микропроцессорными устройствами релейной защиты, автоматики, телемеханики и измерительными устройствами.

Действительно, интеллектуальные устройства с поддержкой МЭК 61850 на начальных этапах развития обладали значительно более высокой стоимостью по сравнению с обычными микропроцессорными устройствами. Но в последнее время наметилась тенденция к снижению стоимости ИЭУ с поддержкой стандартов МЭК 61850-8-1, что позволяет более широко использовать указанные устройства в распределительных устройствах 6-35 кВ.

Специалисты ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” в течение последних 5 лет активно ведут работы по разработке ИЭУ различного функционального назначения. За счет использования современных микроконтроллеров и написания собственного стека протоколов МЭК 61850 удалось во многом приблизиться к решению задачи по обеспечению доступности решений по цифровой подстанции для распределительных устройств 6-35 кВ.

На рис. 1 приведена структурная схема цифровой подстанции, в которой голубым цветом выделены ИЭУ, разработанные специалистами ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” [4, 5]. Устройства условно могут быть разбиты на две группы: устройства с поддержкой шины подстанции (МЭК 61850-8-1) и устройства с одновременной поддержкой шины процесса и шины подстанции (МЭК 61850-8-1 и МЭК 61850-9-2). В настоящей статье рассматриваются только ИЭУ, применение которых целесообразно для распределительных устройств 6-35 кВ.

ИЭУ С ПОДДЕРЖКОЙ ШИНЫ ПОДСТАНЦИИ

Многофункциональные измерительные преобразователи телемеханики ЭНИП-2

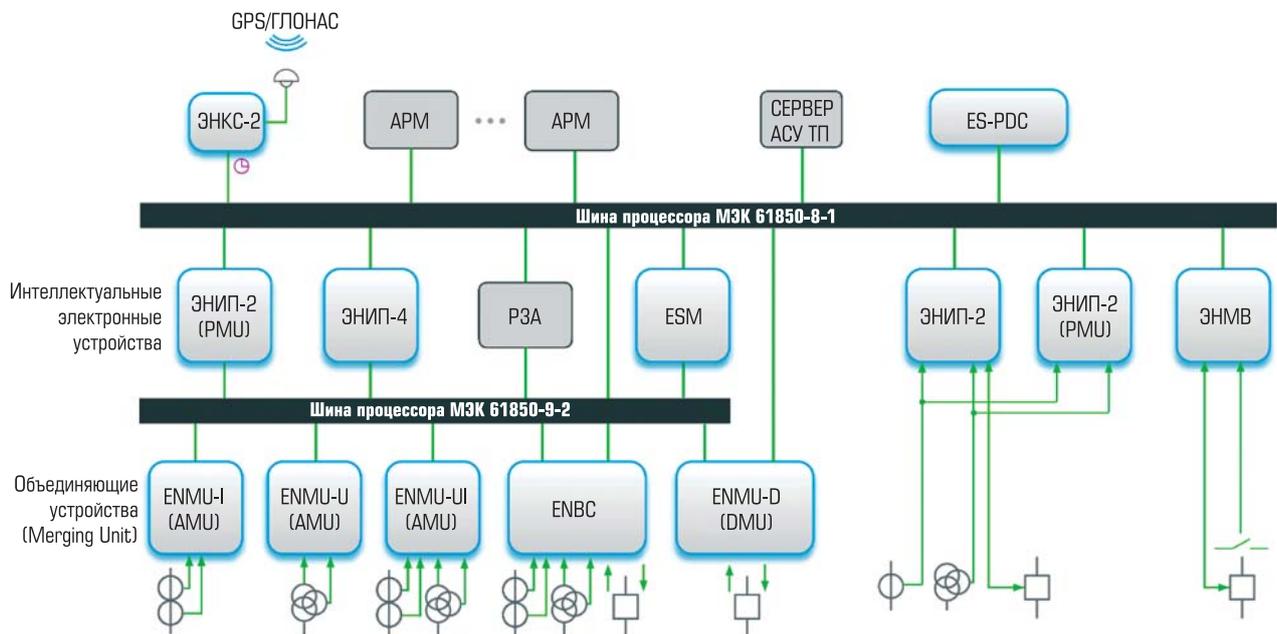


Рис. 1. Интеллектуальные электронные устройства

(рис. 2) и устройства дискретного ввода-вывода ЭНМВ обеспечивают реализацию протоколов МЭК 61850-8-1. При этом стоимость ЭНИП-2 с поддержкой протоколов МЭК 61850 сопоставима со стоимостью обычных многофункциональных измерительных преобразователей телемеханики, что делает доступными решения по цифровой подстанции для распределительных устройств 6–35 кВ.

Устройства ЭНИП-2 серийно производятся более 5 лет и широко применяются на электростанциях и подстанциях электрических сетей различных классов напряжения. ЭНИП-2 обеспечивают синхронные из-

мерения параметров режима энергосистем на основе среднеквадратических значений, токов и напряжений основной гармоники, выполнение функций телеизмерений, телесигнализации и телеуправления, мониторинг качества электроэнергии, технический учет электроэнергии, замещения щитового измерительного прибора [5, 6]. Для расширения функциональных возможностей ЭНИП-2 дополняются модулями дискретного ввода/вывода, блоками телеуправления со встроенными реле, модулями кабельных сетей 6–35 кВ, модулями ввода-вывода с различных датчиков по шине 1-Wire (температурные датчики, датчики влажности, датчики охранных систем и т.д.), модулями индикации на основе светодиодных индикаторов, черно-белых и цветных сенсорных жидкокристаллических индикаторов.

Для замещения щитовых приборов и индикаторов состояния ячейки предлагается два основных конструктивных решения: раздельное размещение ЭНИП-2 и одного или нескольких модулей индикации и совмещение ЭНИП-2 и модуля индикации в единое устройство с установкой на место щитового прибора.

Отличительными особенностями ЭНИП-2 являются:

- сочетание высокого быстродействия и высокой точности обработки сигналов по основной гармонике и RMS при наличии



Рис. 2. Интеллектуальные электронные устройства ЭНИП-2

помех в виде свободных составляющих электромагнитных переходных процессов и высших гармоник;

- измерения параметров режима электрической сети в расширенных диапазонах токов и напряжений;
- точные измерения реактивной мощности и энергии без ограничений на несинусоидальность токов и напряжений;
- поддержка стандартов цифровой подстанции МЭК 61850.

В ЭНИП-2 реализованы различные интерфейсы и протоколы обмена, в том числе протокол МЭК 61850-8-1, сервер MMS-сообщений, публикатор и подписчик GOOSE-сообщений для реализации оперативных блокировок и управления.

Устройства ЭНИП-2 содержат один или два порта Ethernet (витая пара 2x100BASE-TX или оптика 2x100BASE-FX MM LC). Дополнительно поддерживаются протоколы локальных сетей: стандартный протокол для управления устройствами в IP-сетях SNMP (Simple Network Management Protocol), стандартный интерфейс разработки приложений для обеспечения сетевых операций ввода-вывода NetBIOS (Network Basic Input/Output System) и протокол SNTP (Simple Network Time Protocol) для синхронизации внутренних часов ЭНИП-2 при использовании сети Ethernet. Возможна как независимая работа портов Ethernet с реализацией бесшовного протокола резервирования PRP, так и работа через встроенный сетевой коммутатор с реализацией протокола резервирования RSTP.

Использование модификации ЭНИП-2 со встроенным коммутатором перспективна для автоматизации подстанций 6–10 кВ, так как при этом отпадает необходимость в использовании сетевого оборудования Ethernet. Такой вариант обеспечит эффективный переход от использования промышленной сети RS-485 с протоколами Modbus, МЭК 60870-5-101 к более производительной сети на базе Ethernet и протокола МЭК 61850-8-1. При практически одинаковой стоимости двух рассмотренных выше решений по автоматизации подстанций 6–10 кВ использование второго варианта позволяет обеспечить эффективное внедрение на указанных подстанциях новых технологий согласно МЭК 61850. Дополнительным плюсом такого решения в отличие от традиционного является возможность реализации кольцевой сети с резервированием.

Модули дискретного ввода-вывода ЭНМВ-1 и ЭНМВ-2 могут быть использованы как модули расширения ЭНИП-2 или как автономные устройства с поддержкой МЭК 61850-8-1 (GOOSE-сообщения).

Интеллектуальные электронные устройства ЭНИП-2 первыми прошли испытания на соответствие требованиям стандарта МЭК 61850 в ОАО “НТЦ ФСК ЕЭС” в апреле 2014 года в части информационной модели, абстрактных коммуникационных сервисов и протоколов.

ИЭУ С ПОДДЕРЖКОЙ ШИНЫ ПРОЦЕССА И ШИНЫ ПОДСТАНЦИИ

Реализация шины процесса подразумевает полный отказ от использования медных проводов во вторичных измерительных и контрольных цепях и переход на передачу значительных токов, напряжений, а также информации о состоянии оборудования в цифровом виде непосредственно от источников информации (трансформаторов тока, напряжения, коммутационных аппаратов).

В настоящее время специалистами ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” разработаны опытные образцы интеллектуальных электронных устройств с полной поддержкой стандартов цифровой подстанции: аналоговых и дискретных устройств сопряжения (Merging Unit) с шиной процесса ENMU-A и ENMU-D, устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-4, контроллера выключателя ENCB и контроллера присоединения ENBC.

Все устройства имеют модульную конструкцию [7]. Так устройство сопряжения с шиной процесса ENMU-A состоит из модуля тока, модуля напряжения, процессорного модуля и модуля питания. При этом возможна реализация как комбинированного устройства сопряжения с шиной процесса ENMU-A с модулями и напряжения, так и отдельная реализация – только с модулем тока или только с модулем напряжения.

Метрологические характеристики ИЭУ с шиной процесса во многом определяются метрологическими характеристиками устройствами сопряжения с шиной процесса (MU, Merging Unit). Указанные устройства “встраиваются” в современные первичные преобразователи на основе оптико-электронных преобразователей, катушек Роговского и т.д. или подключаются к традиционным трансформаторам тока и напряжения.



▲ Рис. 3. Модификации интеллектуального электронного устройства ESM

Если ENMU-A используется в качестве SAMU (Stand-Alone Merging Unit), то при его конфигурировании задаются следующие возможные режимы работы: формирование раздельных или совмещенного потоков данных от релейной и измерительной обмоток трансформатора тока для выборок тока (sampled values) и для векторных измерений. В ENMU реализована одновременная передача трех потоков по протоколу МЭК 61850-9-2LE (sv256, sv80m, sv80r) и передача данных векторных измерений согласно IEEE C37.118.2. Использование векторных измерений можно рассматривать как альтернативу sampled values (МЭК 61850-9-2LE), так как для многих ИЭУ достаточно использование синхрофазоров (комплексных амплитуд) токов и напряжений основной гармоники для вычисления параметров режима энергосистемы.

В ENMU-A реализован протокол резервирования PRP (IEC 62439-3). Процессорная плата опционально может содержать дополнительный сервисный порт Ethernet.

Разрабатываемые устройства предназначаются для применения не только в распределительных устройствах 110 кВ и выше, но и для применения в распределительных устройствах 6–10 кВ. Габаритные размеры и вес устройств позволяют их установить в релейные отсеки высоковольтных ячеек. Но все же такое решение не обладает необходимым набором преимуществ по сравнению с традиционными решениями, основанными на применении микропроцессорных устройств защиты, автоматики и измерений с аналоговыми входами. Для распределительных устройств 6–35 кВ решение данной задачи возможно лишь при использовании инновационных решений по первичным преобразователям тока и напряжения, а также по подсистеме дискретного ввода-вывода.

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ

В настоящее время специалистами ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” завершаются работы по разработке нового многофункционального устройства ESM, которое в дополнение к возможностям ЭНИП-2 выполняет функции счетчика коммерческого учета электроэнергии, прибора измерения показателей качества электроэнергии.

Интеллектуальное электронное устройство ESM имеет 3 основные модификации (рис. 3): с аналоговыми входами (от измерительных трансформаторов тока и напряжения), с аналоговыми низкоуровневыми входами (от датчиков тока на базе катушки Роговского и емкостных датчиков напряжения), с цифровыми входами согласно МЭК 61850-9-2LE.

Третья модификация ESM выгодно отличается от первых двух следующими особенностями: измерения параметров режима энергосистемы в полном диапазоне токов и напряжений, поддержка технологии синхронизированных векторных измерений. В распределительных устройствах 6–35 кВ модификации ESM с цифровыми входами согласно МЭК 61850-9-2LE целесообразно применять совместно с современными цифровыми комбинированными первичными измерительными преобразователями тока и напряжения.

Устройства ESM содержат от 2 до 4 портов Ethernet, которые предназначены для подключения к шине подстанции. Благодаря наличию в ESM встроенного сетевого коммутатора часть портов может быть использована для подключения к шине подстанции других ИЭУ.

Для индикации показаний ESM разрабатывается специальный модуль индикации ЭНМИ-6. В случае отдельной установки ESM и ЭНМИ-6 возможен как стандартный способ подключения ЭНМИ-6 к устройству ESM с помощью интерфейса RS-485, так и подключение по локальной сети Ethernet. Модуль индикации ЭНМИ-6 может использоваться и как автономное устройство для отображения параметров устройств в рамках цифровой подстанции (подписка на GOOSE-сообщения, MMS-сообщения).

Специально для распределительных устройств 6–35 кВ разработана специальная модификация устройства сопряжения ENMU-A, предназначенная для подключения к комбинированному датчику тока и напряжения. Особенность данного устройства сопряжения с шиной процесса – очень малые габариты (52,4×136×121 мм) и вес. Устройство сопряжения ENMU-A устанавливается непосредственно в месте установки трех комбинированных датчиков, образуя с ними трехфазный цифровой первичный измерительный преобразователь тока и напряжения.

В высоковольтных ячейках 6–35 кВ применяется множественное дублирование ввода-вывода дискретных сигналов, при этом используется большое количество медных проводов, что приводит к снижению надежности. Дискретный ввод-вывод с использованием концевых выключателей, блок-контактов выключателей и т.д. используется в устройствах РЗА, телемеханики, устройств индикации состояния ячейки, для организации оперативных блокировок.

Специалистами ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” для исключения множественного дублирования ввода-вывода дискретных сигналов и для повышения надежности разработано дискретное устройство сопряжения с шиной процесса ENMU-D, которое предусматривает замену концевых выключателей и блок-контактов на бесконтактные датчики и переход на взаимодействия с блоком управления вакуумным выключателем с электромагнитной защелкой по цифровым интерфейсам. Для реализации оперативных блокировок в разрабатываемом устройстве сопряжения предусматривается программируемая логика.

Использование в распределительных устройствах бесконтактных датчиков положения вместо концевых выключателей и блок-

контактов имеет неоспоримые преимущества, связанные с отсутствием “дребезга” контактов и отсутствием необходимости пробоя оксидной пленки, сокращением количества контрольных проводов, уменьшением потребления оперативного тока, повышением надежности и возможностей по диагностике подсистемы ввода-вывода дискретной информации.

Применение специализированных устройств сопряжения с шиной процесса позволит повысить надежность, существенно сократить количество медных проводов в высоковольтных ячейках, существенно упростить реализацию ИЭУ различного функционального назначения, уменьшить их габариты и вес, существенно снизить их стоимость.

На базе комбинированных датчиков тока и напряжения, аналоговых и дискретных устройств сопряжения с шиной процесса, ИЭУ различного функционального назначения ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” разрабатывает цифровую ячейку [8].

Основная задача данного проекта связана с разработкой цифровой ячейки, сопоставимой по стоимости с КРУ при использовании традиционных микропроцессорных устройств и промышленных сетей на основе RS-485. При этом подстанции, оснащенные цифровыми ячейками, должны обладать более высоким уровнем надежности, возможностью тестирования ячеек сразу после их сборки, а также обеспечивать возможность мониторинга и диагностики как отдельных компонентов ячеек, так и ячейки и подстанции в целом.

Список литературы

1. *Baigent D., Adamiak M., Mackiewicz R.* IEC 61850 Communication Networks and Systems In Substations: An Overview for Users // *Protection & Control Journal*, 2009. – pp. 61-68.
2. *Héctor J. Altuve Ferrer, Edmund O. Schweitzer, III et al.* Modern Solutions for Protection, Control, and Monitoring of Electric Power Systems / SEL, 2010. – P. 361.
3. *Аношин А.О., Головин А.В.* Стандарт МЭК 61850. Протокол GOOSE // *Новости Электротехники*. – 2012. – № 6.
4. *Бовыкин В.Н., Мокеев А.В.* Доступные решения для цифровой подстанции // *A&IT*. – 2013. – № 3. – С. 2–6.

5. *Мокеев А.В.* Интеллектуальные электронные устройства с поддержкой протоколов шины процесса и шины подстанции // Новое в российской энергетике. – 2014. – № 6. – С. 13–28.
6. *Бовыкин В.Н., Мокеев А.В.* Совершенствование метрологических характеристик интеллектуальных устройств // Автоматизация в энергетике. – 2014. – № 3. – С. 4–10.
7. *Мокеев А.В.* Продукция и решения ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис” для цифровой подстанции // Сб. 6 Всерос. науч.-техн. конф. “Энергия белых ночей”. – 2013. – С. 107-115.
8. *Мокеев А.В.* Цифровая ячейка / А.В. Мокеев, А.Б. Рафиков, И.В. Подболотов, Д.Н. Ульянов // ИСУП. – 2014. – № 1. – С. 25–29.

Мокеев Алексей Владимирович – докт. техн. наук, заместитель генерального директора ЗАО “ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР “ЭНЕРГОСЕРВИС”.

E-mail: ed@ens.ru

http://www.enip2.ru