

Интеллектуальные электронные устройства для цифровой подстанции

Мокеев А.В.
ЗАО "Инженерный центр "Энергосервис"

Введение

Под интеллектуальными электронными устройствами (ИЭУ) понимаются устройства защиты, автоматики, телемеханики, измерительные устройства и др. 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 так называемых 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, систем регулирования напряжения на подстанции и т.д.

В докладе представлен опыт разработки и внедрения интеллектуальных электронных устройств, разработанных специалистами ЗАО "Инженерный центр "Энергосервис".

Интеллектуальные электронные устройства ЭНИП-2

Новые модификации многофункциональных измерительных преобразователей телемеханики ЭНИП-2 обладают улучшенными метрологическими характеристиками и расширенными функциональными возможностями. Одно из важнейших достоинств ЭНИП-2 связано с возможностью реализация доступных по стоимости решений для цифровых подстанций.

В ЭНИП-2 реализованы функции телемеханики (ТИ, ТУ, ТС), мониторинг качества электроэнергии, технический учет электроэнергии, замещения щитового измерительного прибора [4,5]. 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 ЖКИ (рис. 1).

В ЭНИП-2 применяются оригинальные алгоритмы обработки сигналов, обеспечивающие высокое быстродействие при заданной точности измерений при изменении

параметров входных сигналов и наличии помех в виде свободных составляющих электромагнитных переходных процессов и высших гармоник [6,7].

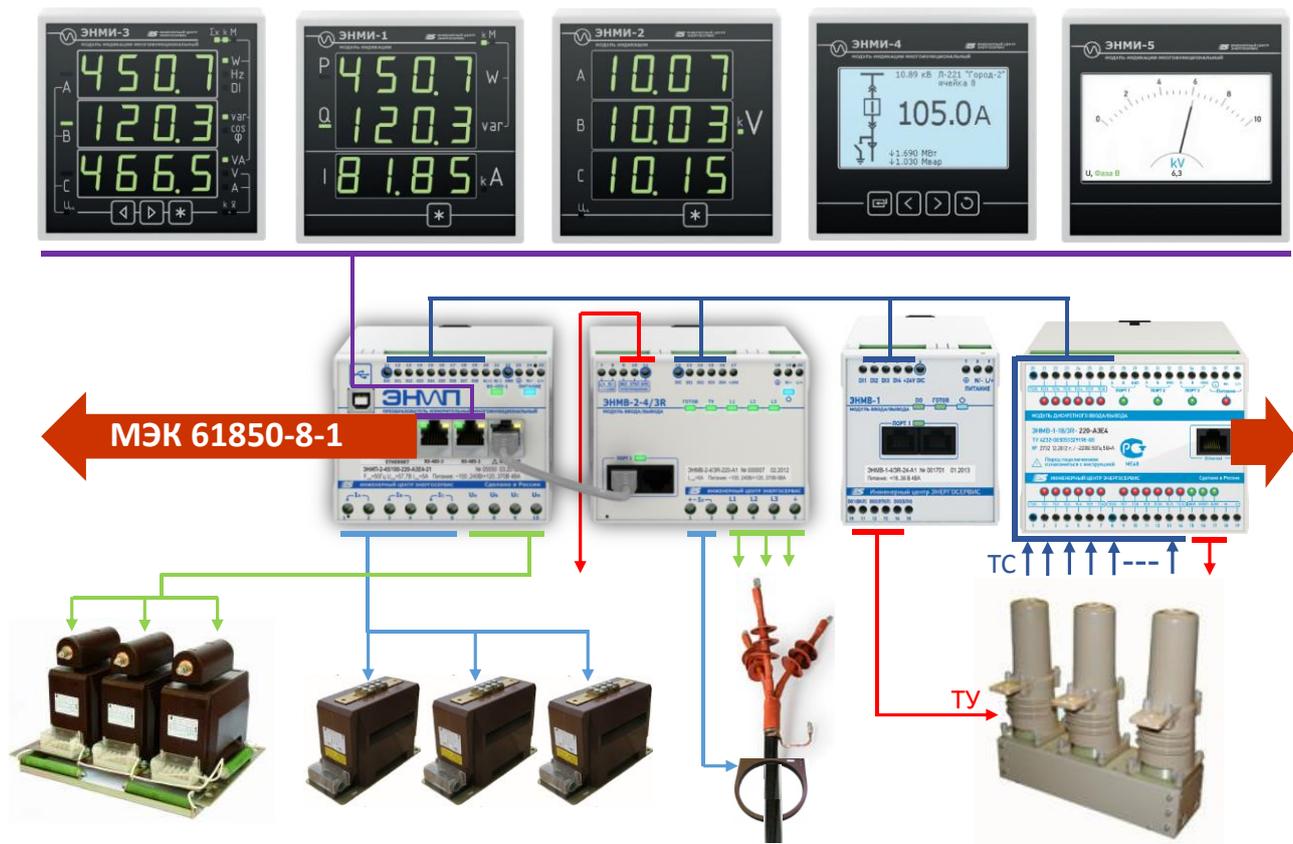


Рис. 1. Применение ЭНИП-2 и модулей расширения

Специалистами ЗАО “Инженерный центр ”Энергосервис” постоянно ведется работа по совершенствованию метрологических характеристик ЭНИП-2, в том числе связанных с требованиями “Положения о Единой технической политике в ОАО ”Россети” по обеспечению высокой точности измерений в широком диапазоне измерения параметров режима электрической сети.

В новых модификациях ЭНИП-2 относительная погрешность измерений параметров режима электрической сети значительно ниже предельных значений, приведенных в документации на ЭНИП-2 и заявленных в описании типа.

На рис. 2 приведены графики относительных погрешностей измерения фазных токов (среднеквадратичные значения), желтым цветом выделена область допустимых значений. На графике также приведены относительных погрешностей измерений $\delta(t)$ для измерительных трансформаторов тока различного класса точности: 0,5, 0,5S, 0,2S (кривые 1,2,3). Метрологические характеристики ЭНИП-2 при измерении действующих значений токов лучше, чем у ИТТ класса 0,2S. В диапазоне от 20% до 120% номинального напряжения относительная погрешность измерений в ЭНИП-2 ниже 0,1%.

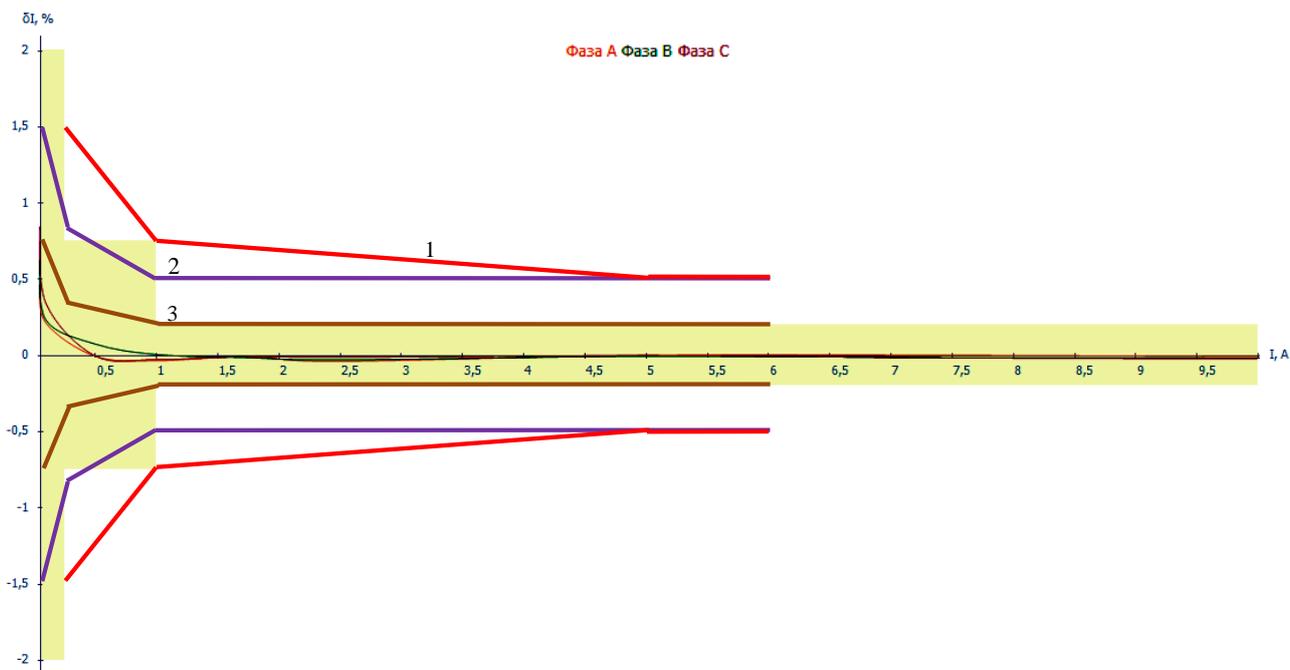


Рис. 2. Относительные погрешности измерений тока

Отличительными особенностями ЭНИП-2 является сочетание высокого быстродействия и высокой точности обработки сигналов по основной гармонике и RMS, измерение параметров режима электрической сети в расширенных диапазонах токов и напряжений: по току $(0,01-2)I_{ном}$, по напряжению $(0,05-1,5)U_{ном}$, 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. Устройства содержат один или два порта Ethernet (витая пара 2x100BASE-TX или оптика 2x100BASE-FX MM LC). Возможна как независимая работа портов, так и работа через встроенный сетевой коммутатор с реализацией протоколов резервирования PRP и RSTP. В ЭНИП-2 реализован сервер MMS-сообщений, публикатор и подписчик GOOSE-сообщений для реализации оперативных блокировок и управления.

При создании цифровых подстанций важно обеспечить совместимость оборудования различных производителей по стандарту МЭК 61850. Новые модификации ЭНИП-2 проходили тестирование в первой сессии испытаний на совместимость в НИУ “МЭИ” при поддержке ООО «Теквел» (апрель 2013 года) и в испытаниях в НТЦ “ФСК ЕЭС” на соответствие МЭК 61850 (январь 2014 года) [8].

Интеллектуальные устройства ЭНИП-2 могут применяться не только для реализации цифровых подстанций с установкой в РУ 110 кВ и выше, но и на подстанциях 6-20 кВ. Если в первом случае целесообразно применение ЭНИП-2 с поддержкой протокола резервирования PRP и соответствующего сетевого оборудования, то во втором случае с

целью снижения стоимости во многих случаях целесообразно применение ЭНИП-2 с использованием встроенного сетевого коммутатора поддержкой протокола резервирования RSTP. 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 6-20 кВ.

Основным компонентом РУ 6-20 кВ нового поколения является цифровая ячейка [9]. В рамках совместного проекта ЗАО “Инженерный центр ”Энергосервис” и ЗАО “ТК ”Электроцит” - ”ТМ Самара” по разработке цифровой ячейки на базе СЭЩ-70 прорабатывается несколько вариантов цифровой ячейки [9]. Первые два из них связаны с применением ЭНИП-2 и модулей расширения.

Первый из рассматриваемых вариантов (рис.1) имеет максимальную степень готовности к серийному производству. Во втором варианте цифровой ячейки наряду с ЭНИП-2 предусматривается использование распределенной системы дискретного ввода-вывода с заменой концевых выключателей и блок-контактов на бесконтактные датчики и переходом на взаимодействия с блоком управления вакуумным выключателем с электромагнитной защёлкой по цифровым интерфейсам. Второй вариант предусматривает использование специальных модулей дискретного ввода-вывода ЭНМВ-4-XX. Можно рассматривать данную подсистему как простейший вариант шины процесса для дискретного ввода-вывода в цифровой ячейке. Модули дискретного ввода-вывода максимально приближены к датчикам дискретных сигналов. Подключение модулей к головному устройству производится с помощью промышленной сети CAN.

ИЭУ для цифровой подстанции с поддержкой шины процесса

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 или подключаются к традиционным трансформаторам тока и напряжения (SAMU, Stand-Alone Merging Unit).

Разработка устройств сопряжения с шиной процесса ENMU (рис.3) ведется специалистами ЗАО “Инженерный центр ”Энергосервис” с 2011 года. Устройства имеют модульную структуру. Основные модули: модуль тока для подключения к измерительной и релейной обмоткам трансформатора тока, модуль напряжения, процессорный модуль, модуль дискретного ввода-вывода, модуль питания [10,11].

При конфигурировании ENMU задаются следующие возможные режимы работы: формирование отдельных или совмещенных потоков данных от релейной и измерительной обмоток трансформатора тока для выборок тока (sampled values) и для векторных измерений. В последних модификациях ENMU реализована одновременная передача по двум Ethernet-портам 3 потоков sampled values (sv256, sv80m, sv80r), реализован протокол резервирования PRP (IEC 62439-3). Процессорная плата содержит дополнительный сервисный порт Ethernet. Синхронизация часов реального времени производится разными способами: через оптический порт сигналом PPS, через порт RS-485 IRIG-A или с помощью встроенного GPS-приемника (опционально). Ведется работа по синхронизации внутренних часов ENMU при использовании протокола PTP (IEEE 1588 v.2).

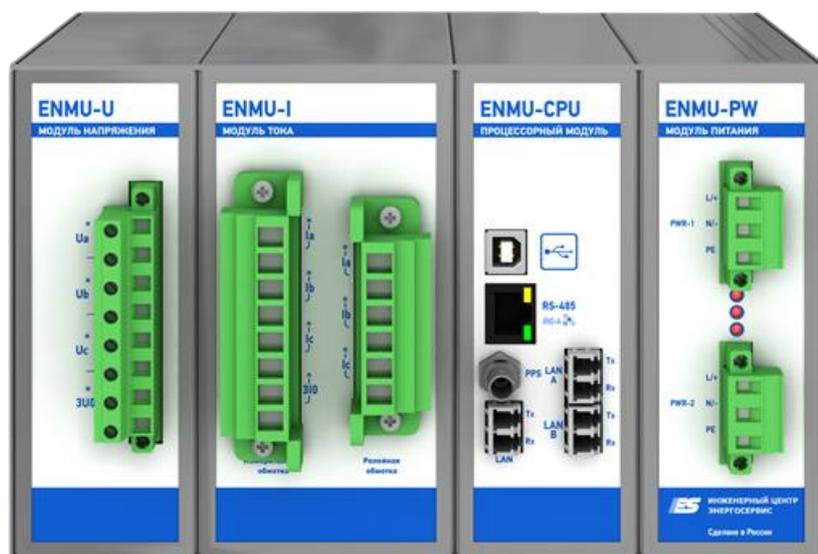


Рис. 3. Устройство сопряжения с шиной процесса ENMU

Отличительной особенностью ENMU является реализация функций PCMU (Phasor Control and Measurement Unit). Реализована поддержка протокола IEEE C37.118.2 и ведется работа по поддержке в ENMU протокола МЭК 61850-90-5. Это дает возможность использования ENMU в территориально-распределенных системах управления и измерений WAMPAS. В ENMU предусмотрена как одновременная передача данных по протоколам МЭК 61850-9-2LE и IEEE C37.118.2 как через один порт, так и через разные порты.

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. Дополнительно в ENMU обеспечивается измерение эквивалентных векторов на основе среднеквадратических значений токов и напряжений.

Первым интеллектуальным электронным устройством, разработанным ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис», с поддержкой шины процесса является специальная модификация устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-3 (рис.4).



Рис. 4. Интеллектуальное электронное устройство ЭНИП-3

Для демонстрации возможностей ЭНИП-3 специалистами ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» разработан специальный ресурс pmu.ens.ru/pmulive. С помощью интернет-технологий организован доступ к результатам измерений устройств ЭНИП-3, установленных в офисах фирмы в г.Архангельске и г.Москва, в офисе фирмы НПФ «Энергосоюз» Санкт-Петербург, в офисе «А2 Систем» Новосибирск. Обновление результатов измерений производится чаще, чем раз в секунду. Через ftp-сервер обеспечивается доступ к архивным файлам векторных измерений (дискретность измерений 50 раз/сек).

В настоящее время специалистами ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» завершаются работы по разработке нового многофункционального устройства ESM с цифровыми входами согласно МЭК 61850-9-2, которое выполняет функции многофункционального измерительного преобразователя телемеханики, счетчика коммерческого учета электроэнергии, прибора измерения показателей качества электроэнергии и устройства синхронизированных векторных измерений (рис.5).

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 отображение параметров устройств в рамках цифровой подстанции (подписка на GOOSE-сообщения, MMS-сообщения).



Рис. 5. Интеллектуальное устройство ESM

Разрабатываемые устройства сопряжения с шиной процесса ENMU 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.

В рамках совместного проекта ЗАО “ГК ”Электрощит” - ”ТМ Самара” по разработке цифровой ячейки на базе СЭЩ-70 на базе контроллера присоединения ENBC [10] разрабатывается совмещенное устройство сопряжения с шиной процесса с реализацией дополнительных функциональных возможностей (рис.6). Новая модификация контроллера присоединения включает в себя аналоговый (МСШ-А) и дискретный (МСШ-Д) модули сопряжения с шиной процесса, а также до трех процессорных модулей ПМ1, ПМ2, ПМ3. Один из процессорных модулей совместно с МСШ-А выполняет функции SAMU и РСМУ (процессорный модуль 3), второй выполняет функции контроллера присоединения (процессорный модуль 1), третий - функции устройства релейной защиты и автоматики (процессорный модуль 2). Процессорные модули ПМ1 и ПМ2 содержат до 2 портов Ethernet с реализацией протоколов шины подстанции МЭК 6185-0-8-1 (MMS- и GOOSE-сообщения). Предусматривается возможность разработки процессорных модулей ПМ1 и ПМ2 сторонними разработчиками.

При этом, как и в описанном ранее варианте, предусматривается использование распределенной системы сбора дискретной информации, включающей следующие модули: модуль ввода информации с бесконтактных датчиков положения, модуль ввода информации

с ”сухих” контактов, модуль ввода-вывода с актуаторов, модуль взаимодействия с блоком управления вакуумным выключателем с магнитной защелкой.

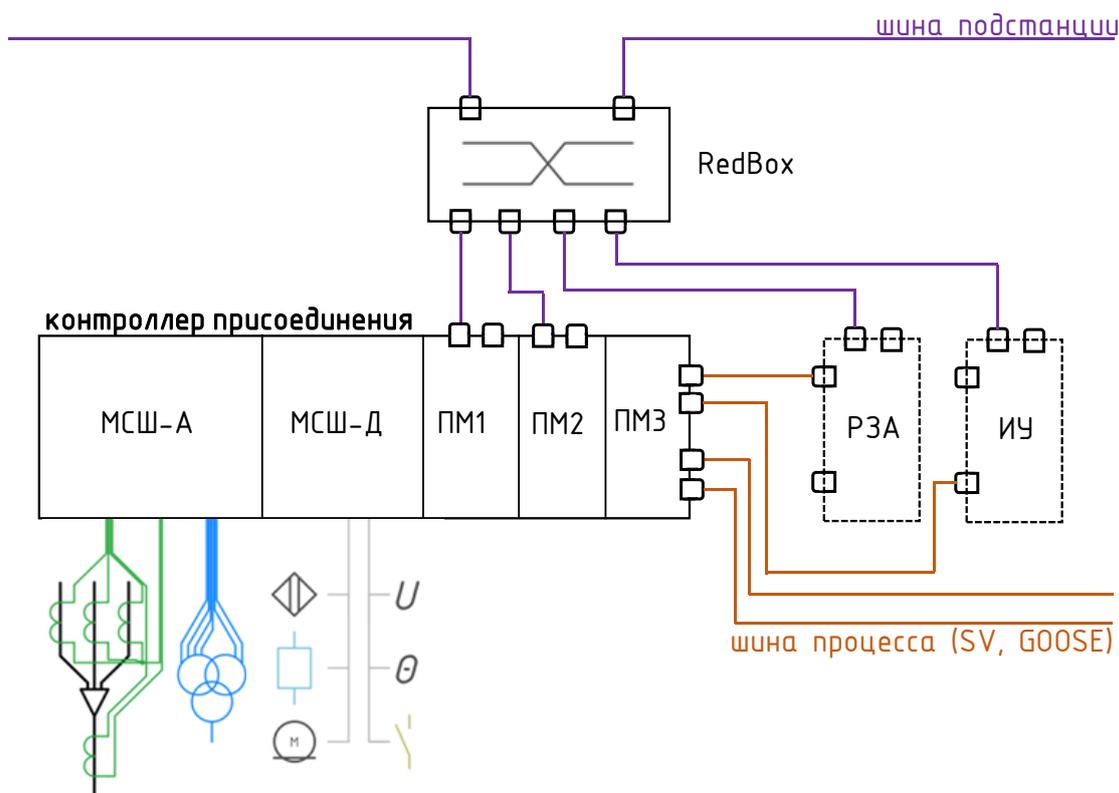


Рис. 6. Цифровая ячейка

Модули дискретного ввода-вывода максимально приближены к датчикам дискретных сигналов. Подключение модулей к головному модулю МСШ-Д производится с помощью промышленной сети CAN. Для реализации оперативных блокировок в разрабатываемом устройстве сопряжения УСЦ-Д 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. Процессорный модуль ПМ2 реализует минимально необходимый набор функций релейной защиты и автоматики для присоединений 6-20 кВ. Функции защиты и автоматики могут быть существенно расширены за счет подключения дополнительного устройства (устройств) к шине процесса. Специализированные устройства РЗА, в том числе централизованные устройства РЗА, дифференциальной защиты линий, шин, централизованные устройства режимной и противоаварийной автоматики, подключаются к шине процесса посредством специального коммуникационного адаптера для сетей с

резервированием RedBox (Redundancy Box) и/или коммутатора с поддержкой протоколов резервирования HSR или PRP.

Литература

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. Мокеев, А.В. Новое поколение интеллектуальных электронных устройств для цифровой подстанции // ИСУП. – 2013. – № 3. – С. 19-22.
5. Бовыкин, В.Н. Совершенствование метрологических характеристик интеллектуальных устройств / В.Н. Бовыкин, А.В. Мокеев // Автоматизация в энергетике. – 2014. – № 3. – С. 4–10.
6. Digital Filters and Signal Processing / A.V. Mokeev and etc., Ed. F.P.G. Márquez and N. Zaman. Rijeka/ – InTech, 2013. – 307 p.
7. Mokeev A.V. Optimal filter synthesis // in Proc. IEEE International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2013. – Krasnoyarsk, 2013. – Pp.1-4.
8. Гуркова П. Прошла первая открытая сессия по испытанию совместимости оборудования в соответствии с МЭК 61850 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://digitalsubstation.ru/2013/04/16/proshla-pervaya-otkry-taya-sessiya-po-isyu-taniyu-sovmestimosti-oborudovaniya-v-sootvetstvii-s-me-k-61850>.
9. Мокеев, А.В. Цифровая ячейка / А.В. Мокеев, И.В. Подболотов, А.Б. Рафиков, Д.Н. Ульянов // ИСУП. – 2014. - № 1. – С. 25-29.
10. 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.
11. Мокеев, А.В. Устройства синхронизированных векторных измерений с поддержкой стандартов IEEE C37.118 и IEC 61850 [Электронный ресурс] / А.В. Мокеев, В.Н. Бовыкин, А.В. Миклашевич, Д.Н. Ульянов // Сб. межд. научно-техн. конф. “Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем”. – Екатеринбург, 2013. – Режим доступа: <http://cigre.ru/activity/conference/relayprotect4>

Сведения об авторе

Мокеев Алексей Владимирович, зам. генерального директора, д.т.н.
ЗАО “Инженерный центр “Энергосервис”,
доцент кафедры “Электроснабжение промышленных предприятий” Северного
(Арктического) федерального университета
Адрес: 163046, Архангельск, ул. Котласская 26
тел.: (8182) 64-60-00, 65-75-65
факс: (8182) 23-69-55
e-mail: a.mokeev@ens.ru
www.enip2.ru, www.ens.ru