

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

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

Рассматриваются вопросы совершенствования метрологических характеристик интеллектуальных электронных устройств для активно-адаптивных сетей и цифровых подстанций.

Введение

Перспективы развития электроэнергетики связаны с внедрением технологий цифровой подстанции и активно-адаптивных сетей [1]. Совершенствование управления энергосистемами в свою очередь связано с повышением качества и темпов сбора технологической информации для автоматизированных систем технологического управления, широким применением интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) нового поколения, к которым предъявляются повышенные требования по качеству обработки сигналов [2,3].

Современные ИЭУ должны обеспечивать быстрые и точные синхронные измерения, обладать высокой степенью достоверности контроля параметров режима энергосистемы в условиях интенсивных электромагнитных и электромеханических переходных процессов.

Требования к интеллектуальным электронным устройствам

В качестве источников информации для АСУ ТП и АСТУ используются различные устройства: многофункциональные измерительные преобразователи телемеханики, щитовые измерительные приборы, контроллеры присоединения, в ряде случаев регистраторы аварийных процессов, устройства синхронизированных векторных измерений, устройства релейной защиты и автоматики. Перечисленные ИЭУ обеспечивают различное качество измерений. В наибольшей степени современным требованиям соответствуют многофункциональные измерительные преобразователи телемеханики.

Требования по точности измерений к многофункциональным преобразователям, используемым в электрических сетях и на электростанциях, определяются системным оператором: класс точности преобразователей должен быть 0,5 и выше. Устройства должны подключаться к измерительным клеммам измерительных трансформаторов соответствующего класса точности. Ряд многофункциональных измерительных преобразователей, преимущественно российских производителей, как и аналоговые измерительные преобразователи, заявлены с классом точности 0,2 или 0,5 по относительной приведенной погрешности измерений. С другой стороны, в документации некоторых зарубежных производителей отсутствует необходимая информация о типе погрешности, диапазоне измерений и влияющих факторах.

Многофункциональные измерительные преобразователи с приведенной погрешностью 0,5 (0,2) имеют значительные относительные погрешности измерений при токах менее 20% от номинального значения. Таким образом, имеет место несоответствие метрологических характеристик измерительных преобразователей метрологическим характеристикам измерительных трансформаторов тока класса точности 0,5.

Для наглядности на рис.1 приведены графики относительных погрешностей измерений $\delta(i)$ для измерительных трансформаторов тока различного класса точности (0,5, 0,5S, 0,2S, кривые 1,2,3) и устройств с приведенной погрешности измерений (кривая 4), для которых произведен расчет относительной погрешности измерения.

Для сравнения на рис.1 приведены кривые относительной погрешности измерения для многофункциональных устройств, которые сертифицированы по относительной погрешности измерений: популярный российский счетчик 0,5S по измерениям активной энергии (кривая 5), многофункциональный российский счетчик класса точности 0,2S по измерениям активной энергии (кривая 6), многофункциональный преобразователь зарубежного производства (кривая 7),

многофункциональный преобразователь зарубежного производства (кривая 8), многофункциональный устройства российского производства (кривая 9, класс точности 0,2S по измерениям активной энергии).

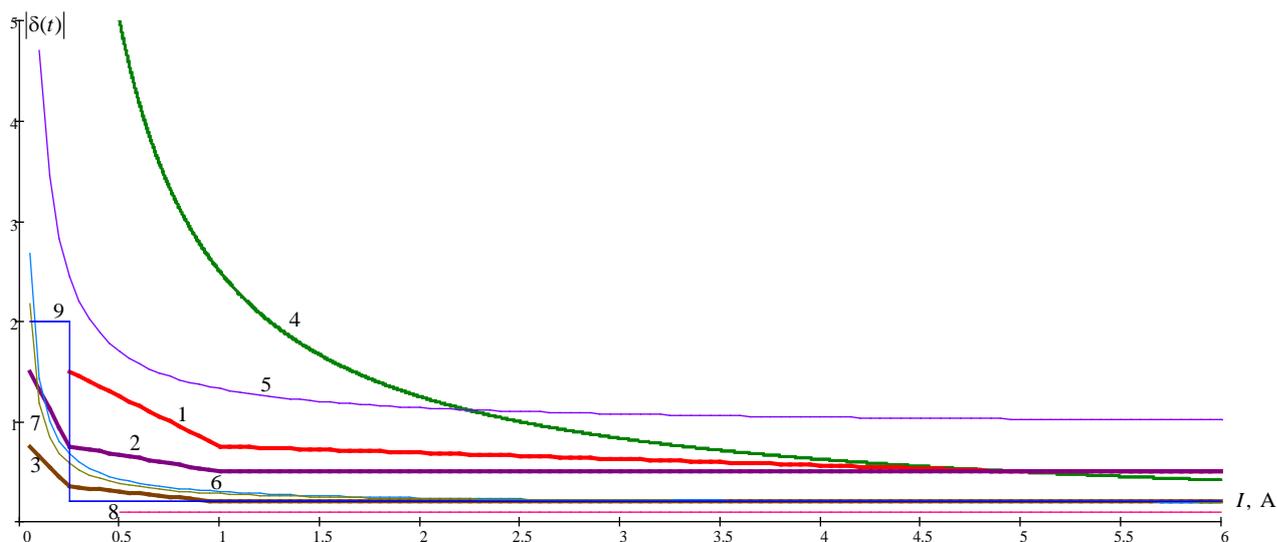


Рис. 1. Относительные погрешности измерений тока

Кривые 5, 6, 9 на рис.1 наглядно подтверждают тот известный факт, что следует различать класс точности измерений по активной энергии и точность измерений тока, напряжения, мощности и других параметров режима электрической сети. Недостаточно иметь устройство с высоким классом точности (кривая 8), необходимо производить измерения токов (напряжений) в диапазоне, равном или большем диапазона применяемого измерительного трансформатора тока (напряжения). Диапазоны измерения тока (напряжения) ИЭУ должны соответствовать диапазонам измерительных трансформаторов тока (напряжения), а метрологические характеристики многофункциональных устройств должны быть лучше, чем у измерительных трансформаторов соответствующего класса.

Исследования метрологических характеристик многофункциональных устройств, проведенные в лаборатории ЗАО "Инженерный центр "Энергосервис", показали, что устройства могут быть разделены на две группы. У первой группы устройств реальные метрологические характеристики значительно лучше заявленных, а у второй практически совпадают с заявленными характеристиками. Поэтому исходя из опыта производителей измерительных трансформаторов следует рекомендовать производителям многофункциональных устройств первой группы приводить в документации на многофункциональные устройства реальные метрологические характеристики.

Необходимо учитывать в расчетах суммарной погрешности измерений дополнительные погрешности измерений, связанные с рядом влияющих факторов: изменение температуры, влияние неблагоприятной электромагнитной обстановки, изменение частоты в энергосистеме, наличие высших гармоник и т.д.. Следует отметить, что дополнительные погрешности измерений могут значительно отличаться для ИЭУ различных производителей, а для ряда устройств подобная информация отсутствует в документации завода-производителя. Дополнительные погрешности у некоторых многофункциональных устройств соизмеримы, а в ряде случаев значительно превышают значения основной погрешности измерений.

Многофункциональные устройства для цифровых подстанций должны обеспечивать поддержку стандартов МЭК 61850. Только такие устройства в полной мере могут быть отнесены к интеллектуальным электронным устройствам. У большинства же российских и зарубежных производителей измерительных устройств и преобразователей реализация протоколов цифровой подстанции отсутствует.

В ближайшей перспективе следует ожидать повышение требований к метрологическим характеристикам ИЭУ. Так, согласно Положению о Единой технической политике в ОАО "Россети", интеллектуальные электронные устройства должны обеспечивать высокую точность измерений в широком диапазоне измерения параметров [4]. Совершенствование метрологических

характеристик измерительных трансформаторов тока (напряжения), применение первичных преобразователей (датчиков) на основе оптико-электронных преобразователей, катушек Роговского, также вызывает необходимость совершенствования метрологических характеристик ИЭУ.

Для ИЭУ, предназначенных для применения в составе цифровых подстанций или в активно-адаптивных сетях, важно обеспечить не только требования по точности измерений параметров режима электрической сети, но и требования по достоверности и качеству поступающей информации, прежде всего требования по быстродействию и обеспечению синхронности измерений. Применение данного класса интеллектуальных электронных устройств позволяет реализовать принципиально новые алгоритмы противоаварийного управления и управления нормальными режимами энергосистем [1,5].

При использовании быстродействующих ИЭУ необходимо учитывать нестационарный характер входных сигналов, связанных с изменением нагрузки, изменением конфигурации электрической сети и т.д. Следует отметить, что многие ИЭУ имеют значительные динамические погрешности измерений при возникновении электромагнитных и электромеханических переходных процессов [2].

На динамические характеристики ИЭУ влияют также способы реализации алгоритмов обработки сигналов. Так в ряде ИЭУ основные измерения в ИЭУ производятся с каждым новым отсчетом сигнала, а в других производятся циклические измерения, часто через интервал, равный или больше длительности импульсных функций цифровых фильтров (циклические измерения).

Следует отметить, что в настоящее время наиболее массовыми являются измерительные устройства с невысоким быстродействием. Зачастую очень трудно провести грань между различными классами измерительных устройств, так как часто в документации заводо-производителей не указано основное их назначения. Наибольшая путаница – между измерительными преобразователями телемеханики и щитовыми измерительными приборами. Последние, как и большинство счетчиков электроэнергии, ориентированы на “медленные” измерения.

Для большинства измерительных устройств о быстродействии можно судить по времени усреднения, приводимом в документации производителей. Имеет место большой разброс времени усреднения для устройств различных производителей: от 20 мс до 200 мс, а в ряде случаев 750 мс, 1 с и даже 3 с. При этом ряд производителей измерительных устройств с временем усреднения от 200 мс до 1 с, без поддержки синхронных измерений и протоколов МЭК 61850, позиционируют свои устройства для применения на цифровых подстанциях и в активно-адаптивных сетях, что видимо связано с непониманием сути новых технологий. В ряде устройств имеет место дополнительная задержка в обработке сигналов (до 1 с), что связано с использованием циклического способа измерений и/или с использованием примитивного способа отстройки от переходных режимов.

Применяемые в системах сбора телемеханической информации и АСУ ТП измерительные устройства и преобразователи имеют большой разброс относительно точности меток времени и обеспечения синхронности измерений. Расхождение меток времени измерений с различных устройств определяется количеством последовательно опрашиваемых устройств, скоростью обмена, типом протокола, временем реакции устройства и может достигать 1-2 секунды.

Вместе с тем, многофункциональные измерительные устройства постоянно совершенствуются. В качестве примера можно привести многофункциональный измерительный преобразователь ЭНИП-2, который обеспечивает сочетание высокого быстродействия (50 мс) и высокой точности обработки сигналов (класс точности 0,2 и 0,5), синхронные измерения параметров режима энергосистемы в расширенных диапазонах токов и напряжений, подавление свободных составляющих электромагнитных переходных процессов. Организация синхронных измерений, или по-другому, срезов параметров режима энергосистемы, с большого количества подстанций, позволит существенно улучшить оценку состояния и управляемость энергосистем.

Следующий шаг – использование дополнительно к телеизмерениям векторных измерений. При этом, если на первом этапе для этой цели использовались специализированные устройства синхронизированных векторных измерений, то в дальнейшем функции векторных измерений будут выполнять и другие ИЭУ.

Интеллектуальное электронное устройство ЭНИП-2

Многофункциональный измерительный преобразователь ЭНИП-2 (рис.2) обеспечивает измерение параметров режима энергосистем на основе среднеквадратических значений и на основе токов и напряжений основной гармоники, выполнение функций телесигнализации и телеуправления, технического учета электроэнергии, замещение щитовых приборов при использовании модулей индикации, технического учета электроэнергии, мониторинга качества электроэнергии [6].

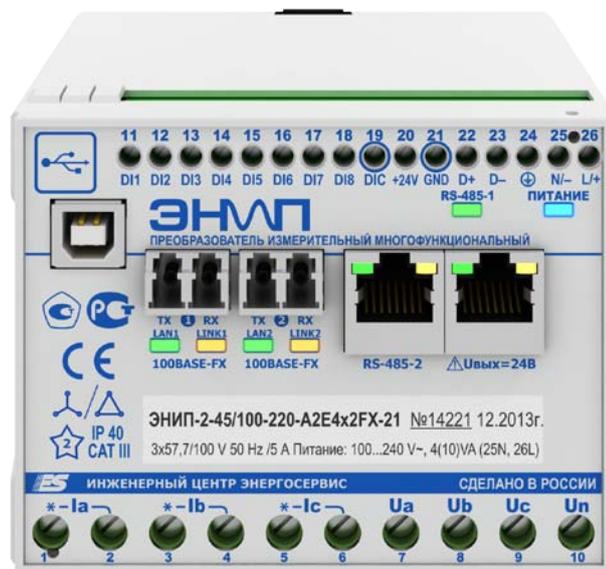


Рис. 2. Интеллектуальное электронное устройство ЭНИП-2

Основные особенности ЭНИП-2:

- *различные области применения*: МИП телемеханики (ТИ, ТУ, ТС), щитовой измерительный прибор, технический учет электроэнергии, мониторинг ПКЭ, ИЭУ для цифровой подстанции;
- *сочетание высокого быстродействия и высокой точности обработки сигналов*: “быстрые” (50 мс) и ”медленные” (200-2000 мс) измерения по основной гармонике и RMS; класс точности 0,2 и 0,5 (относительная погрешность);
- *измерения 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: $Q=Q1+Q2+Q3+Q4+...$;
- *подавление свободных составляющих электромагнитных переходных процессов*;
- *синхронные измерения по основной гармонике и RMS* с разрешением 1 мс; возможность реализации синхронных измерений с большого количества подстанций для улучшения оценки состояния электрических сетей;
- *малые габариты и вес, широкий температурный диапазон*;
- *универсальное подключение* (звезда/треугольник)
- *доступное решение для цифровой подстанции*: реализация протоколов МЭК 61850-8-1.

Устройства ЭНИП-2 содержат один или два порта Ethernet (витая пара 2x100BASE-TX или оптика 2x100BASE-FX MM LC) и реализуют передачу данных при использовании протоколов согласно МЭК 61850-8-1, МЭК 60870-5-104, Modbus TCP. Возможна как независимая работа портов, так и работа через встроенный сетевой коммутатор. В ЭНИП-2 реализован сервер MMS-сообщений, публикатор и подписчик GOOSE-сообщений для реализации оперативных блокировок и управления.

С целью расширения функциональных возможностей ЭНИП-2 дополняются модулями дискретного ввода/вывода, блоками телеуправления со встроенными реле, модулями выявления замыканий на землю в кабельных сетях 6-35 кВ, модулями ввода-вывода с различных датчиков по

шине 1-Wire, модулями индикации на основе светодиодных индикаторов, черно-белых и цветных сенсорных ЖКИ [6].

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

ЭНИП-2 и модули расширения постоянно совершенствуются. 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. 1 приведены графики относительных погрешностей измерения фазных токов (среднеквадратичные значения), желтым цветом выделена область допустимых значений.

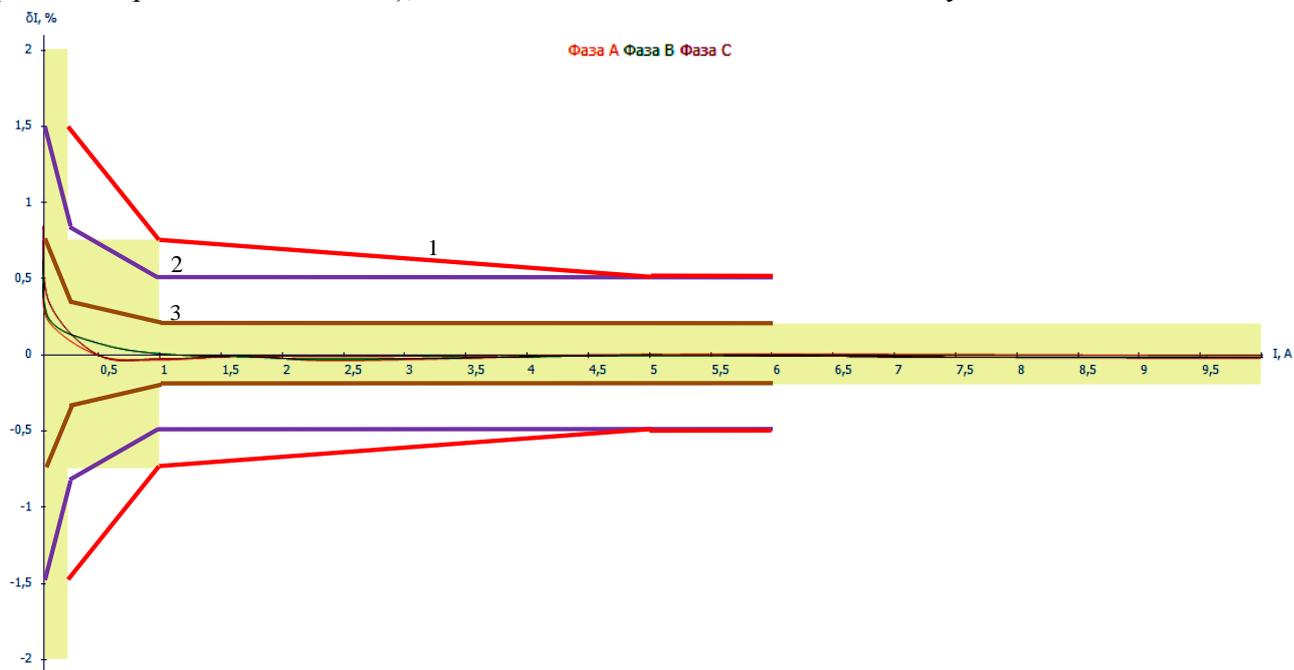


Рис. 3. Относительные погрешности измерений тока

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%. Специальные цифровые фильтры обеспечивают подавление свободных составляющих электромагнитных переходных процессов.

Работа по улучшению метрологических характеристик ЭНИП-2 в 2014 году будет продолжена.

В ЭНИП-2 реализованы синхронные измерения параметров режима электрической сети, благодаря которой имеется возможность сбора и передачи телемеханической информации со множества подстанций с одной меткой времени с разрешением 1 мс. Модификация ЭНИП-2-XX/X-X-XX-X3 (сокращенно ЭНИП-3) дополнительно реализует функции синхронизированных векторных измерений.

Интеллектуальное электронное устройство ЭНИП-3

При разработке ЭНИП-3 были учтены требования стандарта IEEE C37.118.1 и нестационарный характер входных сигналов. Устройства синхронизированный векторных измерений ЭНИП-3 отстроены от помех в виде свободных составляющих электромагнитных переходных процессов и высших гармоник, обеспечивают требуемую точность измерения векторов тока и напряжения при изменении частоты энергосистемы, а также при изменении огибающих токов и напряжений основной гармоники в условиях электромеханических переходных процессов в энергосистеме, при изменении нагрузки, вследствие работы АРВ и иных устройств автоматики энергосистем

Стандартом IEEE C37.118 предусмотрено подавление в PMU помех только в виде высших гармоник и интергармоник, так как он ориентирован на применение устройств

синхронизированных векторных измерений для автоматизированных систем мониторинга переходных режимов WAMS (Wide Area Measurement Systems) и не отражает специфических требований автоматизированных системах измерений, защиты и управления нового поколения WAMPAC (Wide Area Monitoring, Protection And Control System), прежде всего связанных с необходимостью обеспечения требуемого качества обработки при нестационарных входных сигналах, более высокого темпа передачи данных, а также необходимостью обеспечения достоверности измерений в режимах, сопровождающихся резким изменением амплитуды или фазы тока (напряжения) основной гармоники.

В WAMPAC в отличие от WAMS необходимо использовать не только синхрофазоры напряжения, но и тока. Уровень гармоник и свободных составляющих переходных процессов в токе значительно выше, чем в напряжении. PMU, применяемые в данных системах, должны обеспечивать эффективное подавление указанных помех.

ИЭУ для цифровой подстанции с поддержкой шины процесса

Первым интеллектуальным электронным устройством, разработанным ЗАО "Инженерный центр" Энергосервис", является специальная модификация устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-3 с поддержкой МЭК 61850-9-2LE.

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 в отличие от ЭНИП-2 дополнительно выполняет функции счетчика коммерческого учета электроэнергии, прибора измерения показателей качества электроэнергии и устройства синхронизированных векторных измерений.

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 (SAMU, Stand-Alone Merging Unit).

Разработка устройств сопряжения с шиной процесса ENMU (рис. 4) 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 [7].

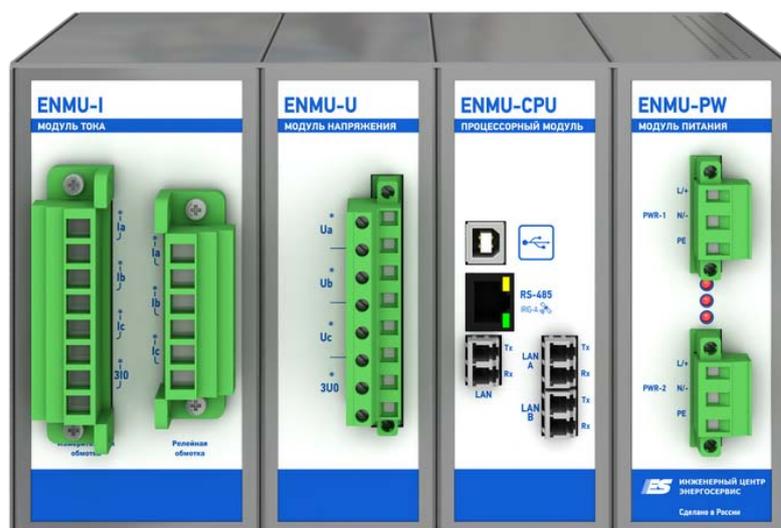


Рис. 4. Устройство сопряжения с шиной процесса ENMU

Аналоговая часть ENMU базируется на проверенных в ЭНИП-2 и ЭНИП-3 схемотехнических решениях. Вместе с тем в ENMU используется более совершенная элементная база, в том числе

новейшие специализированные 18-разрядные АЦП с синхронной выборкой по 8 аналоговым входам.

Если ENMU используется в качестве SAMU, то при его конфигурировании задаются следующие возможные режимы работы: формирование отдельных или совмещенного 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 3 потоков sampled values (sv256, sv80m, sv80r), реализован протокол резервирования PRP (IEC 62439-3). Процессорная плата содержит 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.

Отличительной особенностью ENMU является реализация функций PCMU (Phasor Control and Measurement Unit). Реализована поддержка протокола IEEE C37.118.2 и ведутся работы 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 среднеквадратических значений токов и напряжений, а также эквивалентных углов между ними.

Список литературы

1. Дорофеев, В.В. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России / В.В. Дорофеев, А.А. Макаров // Энергоэксперт. – 2009. – №5. – С. 28-34.
2. Мокеев, А.В. Повышение качества телемеханической информации для АСДУ электростанций и электрических сетей // Электроинфо. – 2008. – № 11. – С. 58-65.
3. Мокеев А.В. Повышение качества телеинформации, используемой для оценки состояния и управления энергообъектами // Тез. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф. “Современные энергетические системы и управление ими”. – Новочеркасск, ЮРГТУ, 2006. – Ч.1. – С. 54-60.
4. Положение ОАО “Россети” о Единой технической политике в электросетевом комплексе // ОАО “Россети”. – 2013. – 196 с.
5. Жуков А.В., Демчук А.Т., Дубинин Д.М.. Развитие технологий векторной регистрации параметров для противоаварийного и режимного управления электрическими режимами энергосистем / РЗА 2012 // Тез. докл. XXI междунар. науч.-техн. конф. –М., ВВЦ. – 2012. – С. 232-245.
6. В.Н. Бовыкин, Мокеев, А.В. Доступные решения для цифровой подстанции //А&IT. - 2013. - № 3. - С. 2–6.
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.

Мокеев Алексей Владимирович – зам. генерального директора, д.т.н.

Бовыкин Владимир Николаевич – зам. директора Энергетического департамента,

E-mail: ed@ens.ru

http://www.enip2.ru