

Вопросы интеграции технологий векторных измерений и цифровых подстанций

Бовыкин В.Н., Драницын И.В., Орлов Ф.Ю., Хромцов Е.И.
ООО "Инженерный центр "Энергосервис"
Мокеев А.В., доктор техн.наук
Северный (Арктический) федеральный университет
Россия
e.khromtsov@ens.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

устройства синхронизированных векторных измерений, интеллектуальные электронные устройства, цифровая подстанция, устройства сопряжения с шиной процесса.

1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время прогресс в развитии систем управления, защиты, автоматики и измерений во многом определяют технологии цифровой подстанции и синхронизированных векторных измерений. Сочетание преимуществ указанных технологий позволит реализовать принципиально новые алгоритмы релейной защиты, систем противоаварийного управления и управления нормальными режимами энергосистем [1].

Синхронизированные векторные измерения могут использоваться как дополнение или как альтернатива выборочным значениям токов и напряжений согласно МЭК 61850-9-2. Использование синхронизированных векторных измерений по сравнению с выборочными значениями позволяет существенно сократить объемы передаваемых данных. Для решения многих задач, в том числе для реализации ряда функций релейной защиты (продольная дифференциальная защита, дифференциальная защита шин и т.д.), для реализации централизованных устройств автоматики (например, централизованное регулирование напряжения и компенсация реактивной мощности, автоматика выявления асинхронного режима и т.д.) достаточно использования синхронизированных векторных измерений тока и напряжения. Особенно перспективно применение синхронизированных векторных измерений вместо выборочных значений для распределительных устройств 6-35 кВ.

В настоящем докладе рассматриваются вопросы разработки и применения интеллектуальных электронных устройств для цифровых подстанций, в которых реализованы функции синхронизированных векторных измерений, в том числе внешних (SAMU) и встроенных (AMU) аналоговых устройств сопряжения с шиной процесса, интеллектуальных электронных устройств различного функционального назначения, в том числе устройств релейной защиты и автоматики, контроллеров присоединения, многофункциональных измерительных устройств.

2 УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ С ШИНОЙ ПРОЦЕССА

Аналоговые устройства сопряжения с шиной процесса (Merging Unit) «встраиваются» в первичные измерительные преобразователи (AMU) или подключаются к электромагнитным трансформаторам тока и напряжения (SAMU, Stand-Alone Merging Unit). Основное назначение указанных устройств связано с формированием выборочных значений токов и напряжений согласно МЭК 61850-9-2. Многими специалистами высказывается мнение о недостаточной функциональности подобных устройств с учетом применяемых для их реализации мощных микропроцессоров. Поэтому в последнее время заметна тенденция по расширению функциональных возможностей устройств сопряжения с шиной процесса. Особенно это относится к устройствам сопряжения типа SAMU.

В качестве примеров подобных SAMU можно привести следующие устройства сопряжения: Brick («General Electric»), SIPROTEC 6MU80 («Siemens»), Avacha («Теквел»), ENMU («Инженерный центр «Энергосервис»). Устройства сопряжения Brick и SIPROTEC 6MU80 наряду с выполнением основных функций обеспечивают ввод/вывод дискретной информации и обмен GOOSE-сообщениями [2,3]. Устройство сопряжения Avacha дополнительно обеспечивают передачу MMS-сообщений измеренной информации параметров режима электрической сети, а также и диагностической информации [4]. Еще большими функциональными возможностями обладает устройство сопряжения ENMU [5].

Устройства сопряжения с шиной процесса ENMU (рис.1) предназначены для использования совместно с ИЭУ различного функционального назначения, в том числе с устройствами релейной защиты и автоматики, устройствами синхронизированных векторных измерений и измерительными устройствами.



Рис. 1: Устройство сопряжения ENMU

С другой стороны устройство ENMU с учетом выполняемых функций является интеллектуальным электронным устройством и выполняет функции многофункционального измерительного преобразователя телемеханики, устройства синхронизированных векторных измерений, регистратора аварийных процессов и концентратора синхронизированных векторных данных.

Устройство сопряжения ENMU содержит три оптических порта Ethernet 100BASE-FX (два основных и один сервисный) и в нем реализованы следующие протоколы: МЭК 61850-9-2LE для передачи выборочных значений тока и напряжения (80 и 256 отчетов на период), IEEE C37.118.2 для передачи синхронизированных векторов фазных токов и напряжений, частоты и скорости ее изменения, МЭК 60870-5-104 для передачи в автоматизированные системы технологического управления данными по измерениям параметров режима электрической сети по основной гармонике и с учетом высших гармоник. Для резервирования каналов передачи

данных реализован протокол резервирования PRP (IEC 62439-3). Синхронизация часов реального времени производится через специальный оптический порт сигналами PPS, IRIG-A или IRIG-B.

Устройство сопряжения ENMU обеспечивает формирование и одновременную передачу четырех потоков выборочных значений напряжений и токов от измерительной и релейной обмоток измерительных трансформаторов тока (80 и 256 отчетов за период) и четырех потоков синхронизированных векторных измерений. Таким образом, интеллектуальные электронные устройства могут подписываться как на прием только выборочных или векторных данных, так и на одновременный прием указанных выше данных. Синхронизированные векторные измерения токов и напряжений целесообразно использовать при реализации продольных дифференциальных защит и дифференциальных защит шин, а также для реализации устройств противоаварийной и режимной автоматики.

Устройство ENMU постоянно совершенствуется. В настоящее время ведется работа по расширению функциональных возможностей ENMU за счет добавления дискретных входов-выходов и поддержке протоколов согласно стандарта МЭК 61850-8-1 (MMS- и GOOSE-сообщения).

Применение устройств сопряжения типа SAMU в высоковольтных ячейках ЗРУ 6-35 кВ в большинстве специалистов признается нецелесообразным. Более перспективным представляется применение современных датчиков тока и напряжения со встроенным AMU.

3 ЦИФРОВЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ ДАТЧИКИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Применение специально разработанных первичных измерительных преобразователей тока и напряжения с цифровым интерфейсом является одним из эффективных способов повышения технического совершенства ИЭУ различного функционального назначения.

Фирмой «Оптимерик» разработан комбинированный датчик тока и напряжения (КДТН) ТЕСV.P1-10, предназначенный для совместного использования с устройствами РЗА и измерительными ИЭУ. КДТН содержит маломощный электромагнитный трансформатор тока со встроенным шунтом (Low Power Current Transformer, LPCT), катушку Роговского и емкостной датчик напряжения (рис.2). Встроенное аналоговое устройство сопряжения (AMU), разработанное специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис», размещается в ограниченном объеме в основании КДТН.



Рис. 2: Внешний вид датчика ТЕСV.P1-10 и встроенного AMU

Измерительные ИЭУ используют оцифрованные данные тока от LPCT в диапазоне от 1 до 200 % от номинального значения с классом точности не хуже 0,2S. Устройства релейной защиты и автоматики используют оцифрованные данные тока от катушки Роговского, обеспечивающей необходимую кратность тока, и от LPCT.

Перспективность использования КДТН со встроенным AMU по сравнению с аналогичными зарубежными датчиками с аналоговыми низкоуровневыми выходами связаны с лучшими метрологическими характеристиками за счёт использования двух датчиков тока, повышенной помехоустойчивостью, возможностью мониторинга состояния КДТН и цифровых

каналов связи. Встроенное АМУ обеспечивает хранение данных о характеристиках датчиков тока и напряжения и калибровочных коэффициентах [5-8].

В цифровом комбинированном датчике тока и напряжения TECV.P1-10 предусмотрено 2 типа интерфейсов: Ethernet и FlexRay. Использование портов Ethernet позволяет реализовать формирование потока выборочных значений тока и напряжения строго в соответствии с МЭК 61850-9-2. Альтернативный интерфейс предназначен для интеграции комбинированных датчиков тока и напряжения в низкоуровневую шину процесса FlexRay с топологией общая шина [5-7]. Достоинством такой топологии общая шина является возможность простого подключения к ней различных датчиков и устройств, расположенных в ячейке КРУ. Для организации промышленной сети FlexRay не требуется наличие специальных сетевых коммутаторов и отказ отдельных устройств шины не влечёт за собой отказ всей сети. Технология FlexRay обеспечивает строгую детерминированность сети, малое время установки соединения и высокую надёжность передачи данных в режиме реального времени со скоростью до 10 Мбит/с. На основе низкоуровневой шины процесса формируется общая шина данных как для оцифрованных аналоговых данных (фазные токи и напряжения, напряжение и ток нулевой последовательности, данные от датчиков температуры и оптических датчиков дуговой защиты и др.), так и для организации цифрового взаимодействия интеллектуальных электронных устройств с контроллерами выключателя и с контроллерами приводов разъединителей, а также с бесконтактными датчиками положения с цифровым интерфейсом [5].

Цифровой КДТН является не только источником информации для ИЭУ различного функционального назначения, но и способен выполнять функции ряда ИЭУ за счёт реализации дополнительных функций: телеизмерения, измерение синхронизированных векторов тока и напряжения и т.д. Использование синхронизированных векторов тока и напряжения позволит существенно снизить требования к микроконтроллерам или сигнальным процессорам устройств релейной защиты и автоматики в распределительных устройствах 6-10 кВ.

4 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

4.1 Устройства синхронизированных векторных измерений

Устройства ЭНИП-2-УСВИ выполняют функции устройства синхронизированных векторных измерений и многофункционального измерительного преобразователя телемеханики. Наряду с аналоговыми входами данное УСВИ обладает возможностью дискретного ввода данных (5 дискретных входов). Устройства могут быть сконфигурированы для векторных измерений под класс Р (Protection) или М (Measurement). Опционально ЭНИП-2-УСВИ содержит встроенный GPS/ГЛОНАСС-приемник сигналов точного времени, цветной сенсорный экран и встроенный концентратор векторных измерений.

Интеграция в системы мониторинга переходных режимов и автоматизированные системы технологического управления производится с помощью протоколов IEEE C37.118.2 и МЭК 60870-5-104. Для применения в составе цифровой подстанции разработана специальная модификация ЭНИП-2-УСВИ с цифровыми входами согласно МЭК 61850-9-2.

4.2 Устройства релейной защиты и автоматики

Применение цифровых комбинированных датчиков тока и напряжения позволяет существенно упростить решение задачи расширения функциональных возможностей устройств РЗА, например, создания многофункционального интеллектуального электронного устройства, выполняющего функции устройства РЗА и контроллера присоединения.

Специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис» разработан опытный образец многофункционального интеллектуального устройства ENBC, предназначенного для работы совместно с цифровыми комбинированными датчиками тока и напряжения TECV.P1-10. Устройство ENBC подключается к цифровому КДТН через низкоуровневую шину процесса FlexRay и может выполнять роль шлюза FlexRay/МЭК 61850-9-2.

Обмен данными с АСУ ТП подстанции, другими ENBC и прочими интеллектуальными электронными устройствами на подстанции по сети Ethernet производится с помощью протоколов МЭК 61850-8-1 (MMS- и GOOSE-сообщения) и IEEE C37.118.2. Для резервирования каналов передачи данных используются протоколы резервирования RSTP и PRP.

Наряду с основным модулем (рис.3) устройство ENBC содержит модули ввода-вывода ENBC-CS и модуль индикации с цветным сенсорным ЖКИ ENBC-Touch. К основному модулю ENBC могут подключаться по шине FlexRay от 1 до 4 модулей ввода-вывода ENBC-CS. Модули ввода-вывода устанавливаются на DIN-рейку и могут располагаться вместе с основным модулем или отдельно, например, встраиваться в вакуумный выключатель и в привод заземляющего разъединителя.

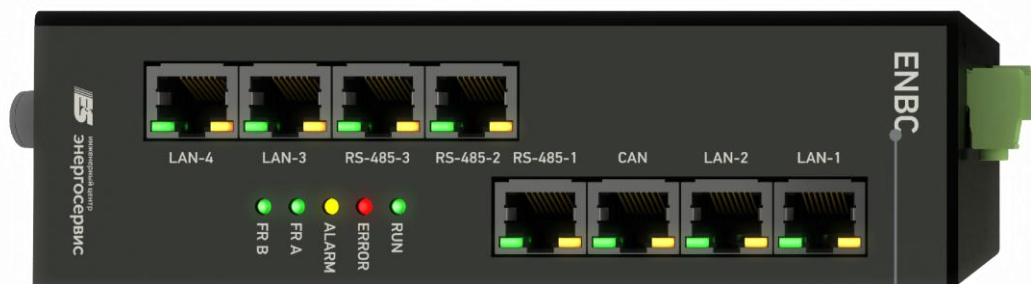


Рис. 3: Многофункциональное устройство ENBC

Отличительной особенностью ENBC является возможность организации ввода-вывода не только посредством сухих контактов и промежуточных реле, но и с помощью бесконтактных датчиков положения, температурных датчиков, оптических датчиков для реализации дуговой защиты и других датчиков с цифровым интерфейсом, а также организации цифрового взаимодействия с вакуумным выключателем.

В ENBC реализованы функции РЗА и контроллера присоединения. В устройстве реализован стандартный набор функций устройств защиты и автоматики для присоединений 6-35 кВ: токовая ступенчатая защита от междуфазных коротких замыканий, защита от замыканий на землю, защиты минимального/максимального напряжения, токовая защита обратной последовательности, АПВ и т.д. Реализация ряда функций защиты (логическая селективность, логическая защита шин), а также реализация оперативных блокировок реализуется благодаря наличию информационных связей с другими защитами при использовании GOOSE-сообщений.

Ещё одной особенностью ENBC является возможность приёма и обработки от цифровых КДТН потоков синхронизированных векторных измерений тока и напряжения, а также эквивалентных синхронизированных векторов тока и напряжения с учётом высших гармоник.

4.3 Многофункциональные измерительные устройства

Для применения в составе цифровых подстанций специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис» разработано многофункциональное измерительное устройство ESM, которое выполняет функции телеизмерений, счетчика коммерческого учета электроэнергии, прибора измерения показателей качества электроэнергии и устройства синхронизированных векторных измерений.

Отличительными особенностями ESM является наличие четырех модификаций в зависимости от способа ввода информации о контролируемых токах и напряжениях, расширенные диапазоны измерений параметров режима электрической сети, высокая точность измерений, измерения параметров режима электрической сети по основной гармонике и с учетом высших гармоник, “быстрые” (20 мс и более) и “медленные” (200 мс и более) измерения, синхронизированные измерения векторов тока и напряжения, реализация различных методов измерений реактивной мощности и энергии, возможность учета “некачественной” электроэнергии.

Интеллектуальное устройство ESM имеет четыре основные модификации (рис.4):

1. ESM-HV предназначено для подключения к электромагнитным измерительным трансформаторам тока и напряжения;
2. ESM-ET с аналоговыми низкоуровневыми входами предназначено для подключения датчикам тока типа LPCT или датчикам тока на базе катушки Роговского, к емкостным или резистивным датчикам напряжения;

«Релейная защита и автоматика энергосистем 2017»
25 – 28 апреля 2017 г., Санкт-Петербург

3. ESM-SV содержит порты Ethernet для подключения к шине процесса (МЭК 61850-9-2);
4. ESM-SVF содержит цифровой интерфейс FlexRay для подключения к низкоуровневой шине процесса.



Рис. 4: Многофункциональные измерительные устройства ESM



Рис. 5: Устройство ESM совместно с модулем индикации

Для применения в составе полноценных цифровых подстанций предназначена модификация ESM-SV, которая содержит 2 или 3 порта Ethernet для подключения к шине процесса согласно МЭК 61850-9-2. Модификация ESM-SV с 3 портами Ethernet и модификация ESM-SVF предназначены для работы совместно с цифровыми комбинированными датчиками

тока и напряжения ТЕСV.P1-10. Для подключения к цифровым КДТН задействованы три порта Ethernet по количеству однофазных КДТН, топология сети Ethernet точка-точка. Альтернативный вариант подключения ESM к трем цифровым однофазным датчикам тока и напряжения связан с подключением через низкоуровневую шину процесса FlexRay (модификация ESM-SVF).

Индикация показаний ESM осуществляется с помощью модуля ЭНМИ-5 с цветным сенсорным дисплеем (рис.5). Возможна как отдельная установка ESM и ЭНМИ-5, так и их совмещение в единый конструктив с установкой на место щитового прибора.

Для интеграции в автоматизированные системы технологического управления устройства ESM содержат встроенный сетевой коммутатор и до четырех портов Ethernet для подключения к шине подстанции (МЭК 61850-8-1). ESM может быть дополнен функциями сбора дискретных сигналов и выдачи команд управления через внешние модули ЭНМВ, подключаемые к порту RS-485.

В устройстве ESM используются новейший многоканальный аналого-цифровой преобразователь, высокопроизводительный сигнальный процессор и микроконтроллер, благодаря которым стало возможным обработка входных данных алгоритмами, оперирующими с числами с плавающей запятой одинарной и двойной точности. Данная особенность позволила значительно повысить метрологические характеристики всей линейки приборов ESM.

Высокая точность вычислений наглядно показана на рис. 6. На данном рисунке приведен график относительной погрешности измерения фазного тока (кривая 1). Также на рисунке приведены графики относительных погрешностей измерений для измерительных трансформаторов тока различного класса точности 0,2S и 0,5S (кривые 2 и 3) и заявленная погрешность измерений (кривая 4). Метрологические характеристики ESM при измерении действующих значений токов значительно лучше, чем у ИТТ класса 0,2S.

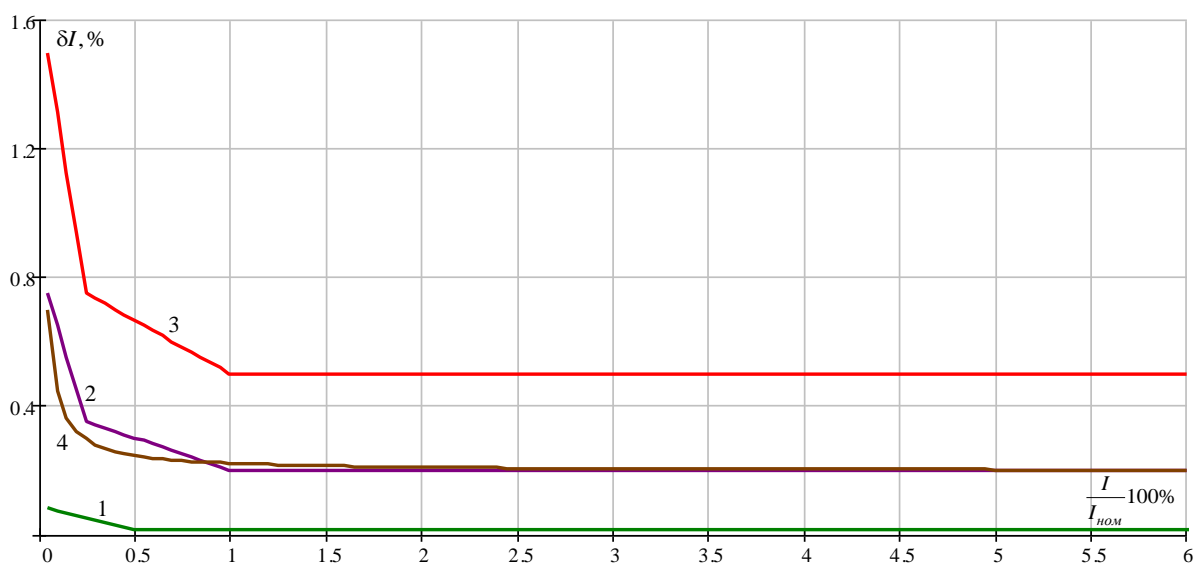


Рис. 6: Метрологические характеристики ESM

Отличительной особенностью ESM как устройства синхронизированных векторных измерений является чрезвычайно малые габариты и вес, а также возможность измерения синхронизированных векторов тока и напряжения высших гармоник. Ведутся работы по измерению и передаче эквивалентных синхронизированных векторных измерений токов и напряжений с учетом высших гармоник [9].

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все более очевидны преимущества интеграции технологий цифровой подстанции и технологии векторных измерений. Интеллектуальные электронные устройства с одновременной поддержкой технологий цифровой подстанции и синхронизированных

векторных измерений позволяют создавать более эффективные системы автоматизации подстанций.

Синхронизированные векторные измерения могут использоваться как дополнение или как альтернатива выборочным значениям токов и напряжений. Их использование по сравнению с SV-потоками позволяет существенно сократить объемы передаваемых данных по сетям Ethernet, существенно снизить требования к вычислительной мощности микропроцессоров ИЭУ. Наиболее эффективно применение синхронизированных векторных измерений для реализации продольной дифференциальной защиты, дифференциальной защита шин и т.д., для реализации централизованных устройств автоматики.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Héctor J. Altuve Ferrer, Edmund O. Schweitzer, III et al. Modern Solutions for Protection, Control, and Monitoring of Electric Power Systems. SEL, 2010. 361 p.
- [2] J. Cardenas, I. Ojanguren, I. Garcés . IEC61850 9-2 Process Bus: Operational Experiences in a Real Environment // 3d International Scientific & Technical Conference “Actual Trends in Development of Power System Protection and Automation”. Saint Petersburg, 2011.
- [3] SIPROTEC 6MU805. Manual C53000-G1140-C380-2. Siemens, 2015.
- [4] Авача – платформа для цифровых ТТ и ТН на RGE 2015 // Режим доступа: <http://digitalsubstation.ru/blog/2015/11/17/avacha-platforma-dlya-tsifrovyyh-tt-i-tn-na-rge-nbsp-2015>.
- [5] Мокеев А.В., Бовыкин В.Н. Интеллектуальные устройства для цифровых подстанций // Новое в российской энергетике. 2015. № 4. С. 40-48.
- [6] Мокеев А.В., Перельгин Л.В., Хромцов Е.И. Комбинированные первичные измерительные преобразователи тока и напряжения 6-35 кВ // Новое в российской энергетике. 2017. № 1. С. 39-52.
- [7] Мокеев А.В., Бовыкин В.Н., Хромцов Е.И. Особенности реализации технологий цифровой подстанции и векторных измерений в распределительных устройствах 6-35 кВ // Релейная защита и автоматизация. 2015. № 4. С. 44-49.
- [8] Бовыкин В.Н., Мокеев А.В., Перельгин Л.В. Расширение функциональных возможностей интеллектуальных электронных устройств // Релейная защита и автоматизация. 2016. № 4. С. 28-34.
- [9] Мокеев А.В., Бовыкин В.Н., Миклашевич А.В., Ульянов Д.Н. Расширение функциональных возможностей УСВИ [Электронный ресурс] // Сб. межд. научно-техн. конф. “Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем”. Сочи, 2015.