



4.19. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЭУ С ПОДДЕРЖКОЙ ТЕХНОЛОГИЙ ЦП И СВИ

Д. Н. УЛЬЯНОВ¹, В. Н. БОВЫКИН¹, А. В. МИКЛАШЕВИЧ¹, А. В. МОКЕЕВ², Е. И. ХРОМЦОВ²

¹ООО «Инженерный центр «Энергосервис»,

²Северный (Арктический) федеральный университет
Россия

Контактное лицо:

Д. Н. Ульянов
d.ulyanov@ens.ru

Ключевые слова:

Синхронизированные векторные измерения, цифровая подстанция,
многофункциональные ИЭУ, преобразователи аналоговых сигналов.



ВВЕДЕНИЕ

Реализация цифровой подстанции (ЦПС) предполагает широкое использование многофункциональных ИЭУ, что обусловлено возможностями используемых в ИЭУ современных микроконтроллеров или сигнальных процессоров, а также стремлением снизить затраты на внедрение и эксплуатацию ЦПС и цифровых сетей.

Одна из важнейших тенденций, определяющих развитие автоматизации подстанций и сетей, связана с интеграцией технологий цифровой подстанции и синхронизированных векторных измерений (СВИ). Основные преимущества использования СВИ связаны со снижением требований к объему передаваемой информации, так как требуется передача всего шести синхровекторов тока и напряжения. Параметры режима по основной гармонике для конкретного присоединения могут быть рассчитаны на любом уровне управления и защиты на базе указанных шести синхровекторов. Определение указанных параметров с учетом влияния высших гармоник может быть произведено при использовании шести эквивалентных синхровекторов [1]. На базе синхровекторов отдельных присоединений могут быть определены параметры самой энергосистемы. Это открывает новые возможности для построения распределенных систем управления, мониторинга, защиты и автоматики (WAMPACS).

В докладе рассмотрены вопросы расширения функциональных возможностей ИЭУ с поддержкой СВИ за счет измерения эквивалентных синхровекторов, приведены примеры применения многофункциональных ПАС и ИЭУ для реализации многоуровневых распределенных систем управления, защиты и автоматики подстанций.

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЭУ

Для выполнения ряда функций управления, защиты и автоматики необходимо обеспечить вычисление параметров режима энергосистемы с учетом высших гармоник, в том числе среднеквадратических значений токов и напряжений, активной, реактивной и полной мощности, параметров режима энергосистемы по симметричным составляющим. Для реализации перечисленных выше функций предлагается наряду с обычными синхровекторами измерять в ИЭУ эквивалентные синхровекторы токов и напряжений [1]. Использование эквивалентных синхровекторов позволит вычислять разные уровни управления параметров режима с учетом высших гармоник, в том числе при использовании различных способов расчета полной и реактивной мощности [2,3].

Для вычисления эквивалентных синхровекторов предварительно требуется предварительное измерение действующих значений напряжения и тока, а также активной и реактивной мощности с учетом высших гармоник. При этом принципиально важно обеспечить вычисление реактивной мощности как суммы реактивных мощностей основной и высших гармоник [3]. Ряд авторов, например [4], предлагают использовать для определения параметров режима энергосистемы с учетом высших гармоник преобразования Гильберта и связанного с ним аналитического сигнала (табл.1).

№	Наименование	Выражение
1	Аналитический сигнал для напряжения и тока фазы а	$\tilde{u}_a(t) = u_a(t) + j \cdot u_{a\perp}(t)$, $\tilde{i}_a(t) = i_a(t) + j \cdot i_{a\perp}(t)$, где $u_{a\perp}(\tau)$, $i_{a\perp}(t)$ - сопряженные по Гильберту напряжение $u_a(t)$ и ток $i_a(t)$
2	Амплитуда и полная фаза напряжения фазы а, мгновенная частота	$U_{ma}(t) = \sqrt{u_a^2(t) + u_{a\perp}^2(t)}$, $\psi_a(t) = \arg(\tilde{u}_a(t))$, $\omega(t) = \frac{d}{dt} \psi(t)$



3	Активная мощность фазы а напряжения и тока фазы а	$P_{ae}(t) = \frac{1}{2}(u_a(t)i_a(t) + u_{a\perp}(t)i_{a\perp}(t))$
4	Реактивная мощность фазы а	$Q_{ae}(t) = \frac{1}{2}(u_{a\perp}(t)i_a(t) - u_a(t)i_{a\perp}(t))$

Табл.1. Расчет параметров с помощью аналитического сигнала.

В связи с этим следует заметить, что на основе составляющих аналитического сигнала, основанного на преобразовании Гильберта, определение действующих значений напряжения и тока, а также активной и реактивной мощности корректно только для узкополосных процессов, к которым несинусоидальные токи и напряжения, содержащие высшие гармоники, отнесены быть не могут. Применение указанного преобразования для периодических сигналов допустимо лишь при очень малом уровне высших гармоник. В противном случае будут иметь большие погрешности измерений действующих значений напряжения, тока, активной и реактивной мощности вследствие наличия в перечисленных выше выражениях не только полезных постоянных составляющих, но и синусоидальных составляющих, вызванных перемножением основной и высших гармонических составляющих входного сигнала друг с другом [3].

Поэтому предлагается использовать другие выражения как для предварительных вычислений действующих значений токов и напряжений, активных и реактивных мощностей, выделенные в табл.2 курсивом, для последующего вычисления эквивалентных синхровекторов. По сравнению с ранее опубликованной работой [1], в табл. 2 приведены более детализированный алгоритм вычисления эквивалентных синхровекторов напряжения и тока.

Эквивалентную комплексную амплитуду напряжения фазы а "привязываем" по фазе к комплексной амплитуде первой гармоники фазы а (п.2), а фазовый угол эквивалентной комплексной амплитуды тока фазы а отличается на величину, определяемой выражение в п.5. Эквивалентные комплексные амплитуды напряжения и тока фазы b могут быть определены согласно следующих выражений пп. 7-9. Аналогичным образом определяются комплексные амплитуды напряжения и тока фазы с.

Измерения в устройствах с поддержкой СВИ эквивалентных синхровекторов обеспечит вычисление на различных уровнях управления, защиты и автоматики параметров режима электрической сети с учетом влияния высших гармоник, в том числе эквивалентных параметров по симметричным составляющим токов, напряжений, мощностей. Использование обычных и эквивалентных синхровекторов позволяет производить вычисление реактивной мощности по различными способами: как сумма реактивных мощностей гармоник, на основе полной и активной мощности, по основной гармонике и т.д. Указанные выше алгоритмы с использованием цифрового оконного преобразователя Гильберта и специально синтезированных фильтров реализованы в многофункциональном измерительном преобразователе телемеханики ЭНИП-2. При этом обеспечивается высокая точность определения параметров режима энергосистемы при любом реально встречающемся на практике уровне высших гармоник [5].

Использование обычных и эквивалентных синхровекторов позволяет производить вычисление реактивной мощности различными способами: как сумма реактивных мощностей гармоник, на основе полной и активной мощности, по основной гармонике и т.д.

№	Наименование	Выражение
1	Действующее значение напряжения и тока фазы а	$U_a(t) = \sqrt{\int_{t-T_1}^t u_a^2(\tau)g(t-\tau)d\tau}$, $I_a(t) = \sqrt{\int_{t-T_1}^t i_a^2(\tau)g(t-\tau)d\tau}$, где $g(t)$ импульсная функция фильтра длиной T_1 .
2	Эквивалентная комплексная	$\dot{U}_{ea}(t) = \sqrt{2}U_a(t)e^{j\varphi_a(t)}$,



	амплитуда напряжения фазы a	где $\varphi_a(t)$ - фазовый угол $\dot{U}_a(t)$.
3	Активная мощность фазы a	$P_{ae}(t) = \int_{t-T_1}^t u_a(\tau) i_a(\tau) g(t-\tau) d\tau.$
4	Реактивная мощность фазы a	$Q_{ae}(t) = \int_{t-T_1}^t u_{a\perp}(\tau) i_a(\tau) g(t-\tau) d\tau.$
5	Определение угла между эквивалентными синхровекторами напряжения и тока фазы a	$\phi_{ea}(t) = \arg(P_{ea}(t) + jQ_{ea}(t)).$
6	Эквивалентная комплексная амплитуда тока фазы a	$\dot{i}_{ea}(t) = \sqrt{2} I_a(t) e^{j(\varphi_a(t) - \phi_{ea}(t))}.$
7	Определение угла между эквивалентными синхровекторами напряжения фазы a и b	$\vartheta_{ab}(t) = \arg\left(\int_{t-T_1}^t u_a(\tau) u_b(\tau) g(t-\tau) d\tau + j \int_{t-T_1}^t u_{a\perp}(\tau) u_b(\tau) g(t-\tau) d\tau \right)$
8	Эквивалентная комплексная амплитуда напряжения фазы b	$\dot{U}_{eb}(t) = \sqrt{2} U_b(t) e^{j(\varphi_a(t) - \vartheta_{ab}(t))}.$
9	Эквивалентная комплексная амплитуда тока фазы b	$\dot{i}_{eb}(t) = \sqrt{2} I_b(t) e^{j(\varphi_a(t) - \phi_{ea}(t) - \vartheta_{ab}(t))}.$

Табл.2. Расчет эквивалентных синхровекторов.

Использование эквивалентных синхровекторов перспективно не только в системах измерений и управления, но и в релейной защите и автоматике. Их применение обеспечит вычисление на различных уровнях управления, защиты и автоматике параметров режима электрической сети с учетом влияния высших гармоник, в том числе эквивалентных параметров по симметричным составляющим токов, напряжений, мощностей.

На основе шести синхровекторов и шести эквивалентных синхровекторов могут быть рассчитаны порядка 200 параметров режима конкретного присоединения. Поэтому использование эквивалентных синхровекторов существенно расширяет функциональные возможности как ИЭУ, так и распределенных систем управления, защиты и автоматике. Кроме того, применения в составе цифровых подстанций многофункциональных ИЭУ с поддержкой СВИ может существенно оказать влияние на развитие архитектуры цифровых подстанций.

ВАРИАНТЫ АРХИТЕКТУР ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

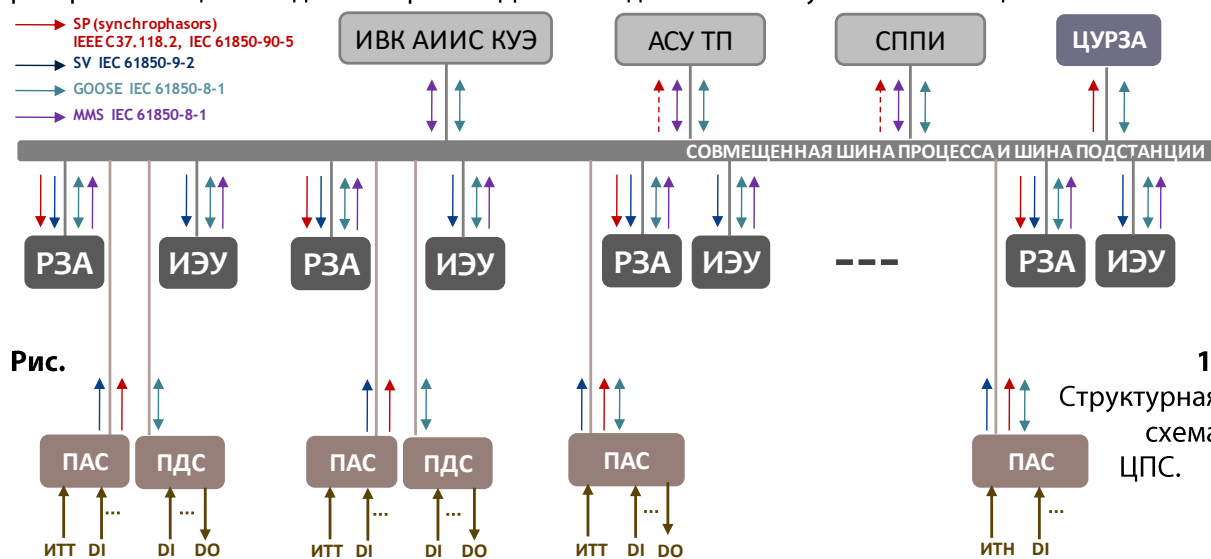
Традиционная архитектура цифровой подстанции предполагает использование шины процесса и шины подстанции [6]. В этом случае многофункциональные ПАС с поддержкой СВИ должны подключаться как к шине процесса, так и к шине подстанции. В качестве примера многофункционального ПАС можно привести устройство ENMU, разработанное специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис» [7].

Использование двух коммуникационных шин существенно удорожает стоимость ЦПС и существенно ограничивает применение полноценного решения для распределительного устройства среднего напряжения. Поэтому предпринимались попытки совмещения указанных коммуникационных шин. В качестве примера можно привести решения компании ABB [8]. В КРУ нового поколения UniGear Digital применяются пассивные датчики тока на основе катушки Роговского и резистивные делители напряжения совместно с



интеллектуальными устройствами РЗА. При этом ряд устройств защиты выполняют функции ПАС напряжения. При организации сети коммуникаций для среднего уровня напряжения используется совмещенная шина процесса и шина подстанции. Следует отметить, что по общей коммуникационной шине 100 Мбит/с передается лишь ограниченное число SV-потоков оцифрованных значений напряжения. Устройства РЗА содержат 2 порта Ethernet и встроенный коммутатор для поддержки кольцевой топологии и реализуют протоколы резервирования RSTP и HSR.

В настоящее время многими российскими и зарубежными ведутся разработки ПАС и ИЭУ с поддержкой совмещенной шины процесса и шины подстанции (мультишина). Структурная схема цифровой подстанции при использовании совмещенной шины представлена на рис. 1. Для упрощения структурной схемы приведен один ПАС на присоединение, вместо двух или трех преобразователей: для основной защиты, для резервной защиты и для измерений. Два последних ПАС могут быть совмещены.



Применение многофункциональных ПАС с поддержкой СВИ реализацией резервной защиты позволяет реализовать на подстанции трех- или двухуровневую систему релейной защиты и автоматики [7, 8]. Трехуровневая система РЗА из резервной защиты в составе ПАС, локального устройства РЗА присоединения, централизованного устройства РЗА. Двухуровневая система распределенной РЗА: ПАС и локальное устройство РЗА, ПАС и ЦУРЗА. Широкое применение устройств с поддержкой СВИ позволяет реализовать защиты с абсолютной селективностью.

В силу особенностей реализации технологии ЦПС для распределительного устройства среднего напряжения ниже будет отдельно рассмотрена архитектура понизительной подстанции 35-220 кВ.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАС

Наряду с применением в составе ЦПС многофункциональных устройств РЗА и многофункциональных измерительных ИЭУ все чаще стали применяться многофункциональные ПАС. Одна из важнейших предпосылок расширения функциональных возможностей ПАС связана с тем, что применяемые в них микроконтроллеры или сигнальные процессоры со встроенным Ethernet обладают достаточными вычислительными мощностями для реализации дополнительных функций, в том числе самодиагностики и мониторинга первичных измерительных преобразователей тока и напряжения, измерения синхровекторов тока и напряжения, измерения параметров режима электрической сети, регистратора аварийных событий, резервной защиты и т. д. Наиболее перспективно



применение многофункциональных ПАС при использовании совмещенной шины процесса и шины ПС со скоростью передачи данных 1 Гбит/с и выше.

В качестве примера многофункционального преобразователя аналоговых сигналов можно привести устройство ENMU, которое обеспечивает формирование и передачу не только «сырых» оцифрованных мгновенных значений токов и напряжений, но и измерение и передачу синхровекторов токов и напряжений. Использование синхровекторов совместно или вместо SV-потоков позволит существенно снизить требования как к локальной сети за счет замещения SV-потоков и большей части MMS-сообщений, так и к вычислительной мощности микропроцессоров устройств РЗА. При использовании технологии СВИ для релейной защиты необходимо обеспечить существенное увеличение темпа передачи синхровекторов и обеспечить повышение быстродействия.

За счет информационного обмена между устройствами РЗА, прежде всего обмена GOOSE-сообщениями и синхровекторами тока и напряжения, появляется возможность повысить основные показатели качества функционирования устройств РЗА (быстродействие, чувствительность) и упростить реализацию защит с абсолютной селективностью шин, трансформаторов, линий и т.д., а также упростит реализацию централизованных устройств РЗА. Это обеспечит отключение поврежденного присоединения без выдержки времени. При серьезных сбоях в коммуникационной сети, приводящих к полномасштабным нарушениям в информационном обмене между защитами и невозможности функционирования централизованного устройства РЗА, должен осуществляться переход локальных устройств РЗА в автономный режим. При использовании технологии СВИ и использовании ЦРЗА появляется возможность оценки параметров эквивалентной энергосистемы и параметров нагрузки. Это дополнительно позволит улучшить основные показатели качества функционирования как локальных устройств РЗА, так и распределенных систем РЗА.

В ENMU второго поколения: поддержка классической архитектуры ЦПС обеспечивает подключение как к шине процесса, так и к шине подстанции [7]. Преобразователи сигналов ENMU в успешно функционируют в рамках первых пилотных проектов по цифровым подстанциям ПАО «Россети» и других собственников. ENMU прошла успешные испытания в лаборатории одной из ведущих зарубежных компаний. С использованием ENMU разработан опытный образец интеллектуального выключателя на базе выключателя ВБ-35.

ENMU третьего поколения ориентирована на использование в ЦПС с мультишиной со скоростью передачи данных 1 Гбит/с и обеспечивает реализацию протоколов резервирования PRP и HSR. Указанные преобразователи включает модификации ПАС тока, ПАС напряжения, ПДС, а также совмещенные ПАС и ПДС. ENMU ориентированы на применение в распределенных системах управления, защиты и автоматики на подстанции с широким использованием СВИ. При этом ENMU обеспечивают передачу синхровекторов с более высоким темпом передачи данных, чем это принято в СМГР. Для использования синхровекторов для распределенных устройств релейной защиты разработаны специальные цифровые фильтры [9].

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЭУ

Применение многофункциональных ИЭУ связано со стремлением снизить затраты на внедрение и эксплуатацию ЦПС и цифровых сетей. ИЭУ с поддержкой шины процесса и шины подстанции, и особенно мультишины, потенциально имеют гораздо больше возможностей по замещению функций других устройств. Это позволяет в большинстве практик ограничиться применением многофункционального устройства РЗА и многофункционального измерительного интеллектуального устройства.

Микропроцессорные устройства РЗА традиционно рассматривались как устройства, которые могут в максимальной степени интегрировать функции других устройств. Основной сдерживающий фактор для широкого внедрения многофункциональных устройств РЗА до



последнего времени был связан с необходимостью их подключения как к релейным, так и к измерительным обмоткам трансформаторов тока. Возможности устройств РЗА с поддержкой шины процесса значительно расширяются, а реализация в указанных устройствах функций измерения синхровекторов тока и напряжения позволяет повысить эффективность локальных устройств РЗА и позволит приступить к созданию распределенных систем РЗА.

Основная функция многофункционального устройства РЗА связана с реализацией функций по защите и автоматике присоединения. Дополнительные функции связаны с выполнением функций определения места повреждения, контроллера присоединения. В ряде случаев, многофункциональные устройства РЗА российских и зарубежных производителей выполняют функции измерительных преобразователей телемеханики. В качестве примера можно привести последние разработки устройств РЗА для цифровой подстанции компаний «ЭКРА» и «Релематика». Ряд зарубежных компаний, например, SEL, General Electric, Siemens дополнительно реализуют в устройствах РЗА функции устройств синхронизированных векторных измерений. При этом следует отметить, что реализация функций измерения синхровекторов тока и напряжения прежде всего нацелены на совершенствования самих устройств РЗА и создания в перспективе распределенных систем защиты, автоматике и управления WAMPAC.

Многофункциональные измерительные ИЭУ в общем случае выполняют функции МИП телемеханики, счетчика электрической энергии, многофункционального щитового прибора, прибора для измерений показателей качества электроэнергии. В качестве примера многофункционального ИЭУ рассмотрим устройство ESM, которое выполняет функции телеизмерений, счетчика коммерческого учета электроэнергии, прибора измерения показателей качества электроэнергии и устройства синхронизированных векторных измерений [11]. 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. Многофункциональные устройства ESM внедрены в рамках первых пилотных проектов по цифровым подстанциям в ПАО «Россети» и на ряде объектов других собственников.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЦПС И СВИ ДЛЯ РУ СН

Внедрение технологий промышленного интернета вещей (IIoT) резко увеличил интерес производителей микроэлектроники к выпуску недорогих специализированных микроконтроллеров специально для задач IIoT. Это позволяет существенно снизить стоимость современного интеллектуального электрооборудования и открывает новые перспективы для внедрения современных технологий в электроэнергетике. Применение на подстанциях интеллектуального оборудования и современных коммуникаций позволяет эффективно решать задачи не только управления, защиты и автоматике, но и обеспечивать мониторинг и диагностику электрооборудования и коммутационной аппаратуры. Это в свою очередь позволит перейти к обслуживанию подстанций и сетей по состоянию, увеличить срок службы оборудования и снизить затраты на обслуживание подстанций и сетей.

Специалистами «Инженерного центра «Энергосервис» разработаны опытные образцы цифровых КРУ среднего напряжения (рис.2) с применением интеллектуальных выключателей (ИВ) на базе выключателей VF12, цифровых датчиков тока и напряжения (ЦКДТН) и многофункциональных интеллектуальных электронных устройств защиты и автоматике (РЗА) и многофункциональных измерительных устройств (ИЭУ) [12]. Перечисленные выше интеллектуальные устройства выполняют также функции мониторинга электрооборудования и коммутационной аппаратуры. Внутри цифрового КРУ устанавливаются различные цифровые датчики, в том числе цифровые датчики положения (ЦДП), температуры (ЦДТ),



датчики для дуговой защиты (ЦДО). Для их интеграции внутри указанного оборудования используется низкоуровневая шина процесса топологию общая шина. Данная сеть является надежной и устойчивой к сбоям детерминированной сетью жесткого реального времени, в которой применены эффективные механизмы синхронизации времени и резервирования сети. Достоинством топологии общая шина является возможность простого подключения к ней не только различных цифровых датчиков тока и напряжения, но и других датчиков и устройств.

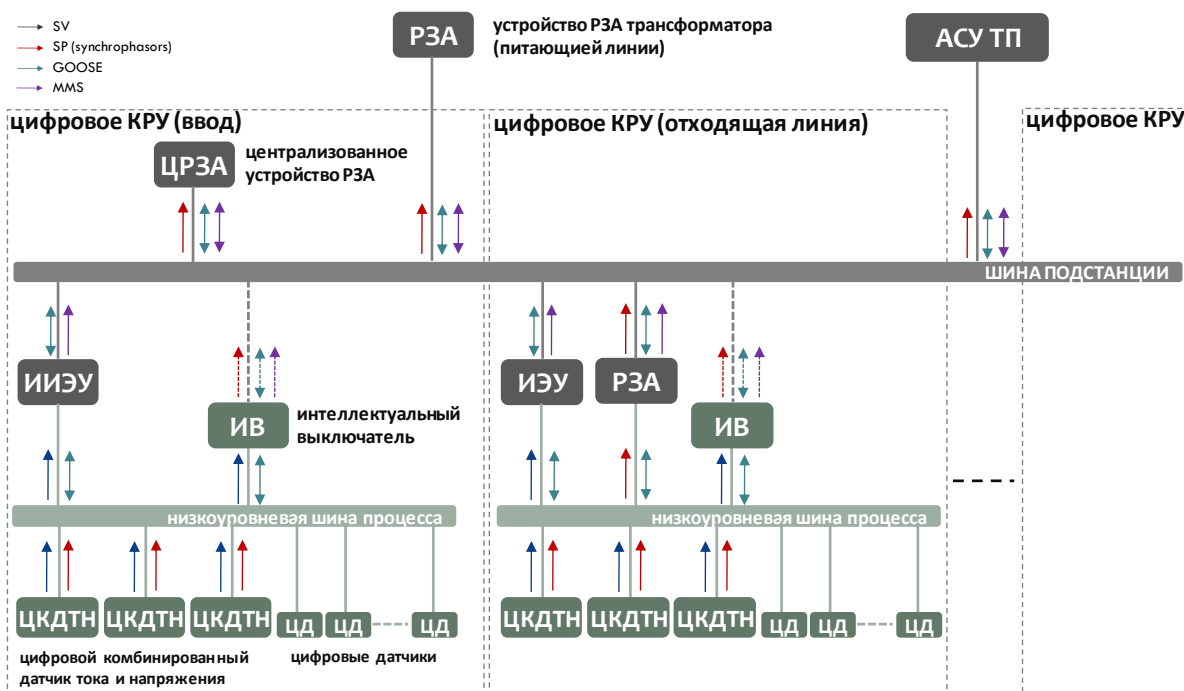


Рис. 2. Структурная схема трехуровневой системы РЗА.

Так же, как и в более общем варианте архитектуры цифровой подстанции (рис.1), возможна реализация трехуровневой системы защиты и автоматики (интеллектуальный выключатель, локальное устройство РЗА, централизованная система РЗА), так и двухуровневой системы защиты (возможные варианты: интеллектуальный выключатель и централизованная система РЗА, интеллектуальный выключатель и локальное устройство РЗА).

В КРУ применяется цифровые комбинированные датчики тока (маломощный электромагнитный трансформатор тока со встроенным шунтом и катушка Роговского) и напряжения (емкостной датчик напряжения) ТЕСV.P1-10, разработанного фирмой «Оптиметрик». Встроенный ПАС, разработанный специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис», размещается в ограниченном объеме в основании ЦКДТН. Преимущества использования ЦКДТН со встроенным ПАС по сравнению с пассивными датчиками связаны с лучшими метрологическими характеристиками, повышенной помехоустойчивостью, возможностью мониторинга состояния ЦКДТН и цифровых коммуникаций. Встроенный ПАС обеспечивает хранение данных о характеристиках датчиков тока и напряжения и калибровочных коэффициентах [13].

ЦКДТН является не только источником информации для ИЭУ различного функционального назначения, но и способен выполнять функции ряда ИЭУ за счёт измерения синхровекторов тока и напряжения, использование которых позволит существенно снизить требования к микроконтроллерам или сигнальным процессорам устройств РЗА 6-35 кВ.



В качестве многофункционального устройства РЗА применяется специально разработанное устройство ENBC, ориентированное на поддержку как технологий ЦПС, так и технологий СВИ. В качестве многофункционального измерительного ИЭУ используется ESM.

В настоящее время с рядом ведущих КРУ-строительных заводов разработаны опытные образцы цифровых КРУ. Имеется положительный опыт эксплуатации цифрового КРУ, реализованного с помощью модернизации существующей высоковольтной ячейки 6 кВ на подстанции 110 кВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование измерений синхровекторов тока и напряжения в ИЭУ различного функционального назначения и многофункциональных ПАС позволит существенно повысить основные показатели качества систем релейной защиты, автоматики и управления на подстанциях и в электрических сетях.

ЛИТЕРАТУРА

- [18] Мокеев А. В., Бовыкин В. Н., Миклашевич А. В., Ульянов Д. Н. Расширение функциональных возможностей УСВИ // Сб. межд. научно-техн. конф. "Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем". – Сочи, 2015.
- [19] Безикович А. Я., Шапиро Е. З. Измерение электрической мощности в звуковом диапазоне частот. Л: Энергия, 1980.
- [20] Мокеев А. В., Бовыкин В. Н. Совершенствование измерительных интеллектуальных электронных устройств // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2015. № 11. С. 29-34.
- [21] Jeltsema D., Kaiser G. Active and reactive energy balance equations in active and reactive time // 10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG). Bydgoszcz, Poland, 2016. Pp.1-4.
- [22] Мокеев А. В. Цифровые измерительные преобразователи ЭНИП-2 // Датчики и системы. – 2009. № 6. С. 68-71.
- [23] Apostolov A., Janssen M. IEC 61850 impact on substation // IEEE PES, 0633. 2008.
- [24] Мокеев А. В. и др. Многофункциональные устройства для цифровых подстанций // Энергия Единой сети. 2019. № 6. С. 8-16.
- [25] Stefanka M., Prokop V., Salge G. Application of IEC 61850-9-2 in MV switchgear with sensors use. 22nd intern. conf. on electricity distribution CIRED2013. Stockholm. 2013.
- [26] Мокеев А. В., Хромцов Е. И. Многофункциональные устройства с поддержкой СВИ для цифровых подстанций и цифровых сетей // Релейная защита и автоматизация. 2019. № 4. С. 20-25.
- [27] Мокеев А. В., Бовыкин В. Н. Эффективные решения по автоматизации подстанций // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2017. № 9. С.15-20.
- [28] Мокеев А.В., Бовыкин В. Н., Ульянов Д. Н. Автоматизация подстанций и распределительных сетей / А. В. Мокеев, В. Н. Бовыкин, Д. Н. Ульянов // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2019. – № 10. – С. 30-38.
- [29] Мокеев А. В., Перелыгин Л. В., Хромцов Е. И. Комбинированные первичные измерительные преобразователи тока и напряжения 6-35 кВ // Новое в российской энергетике. 2017. № 1. С. 39-52.