

# Цифровая ячейка

**ES** Инженерный центр  
**ЭНЕРГОСЕРВИС**

**ЭЛЕКТРОЩИТ**  
ГРУППА КОМПАНИЙ  
ТМ - Самара

Рассматриваются вопросы реализации совместного проекта ЗАО «ГК «Электрощит»-ТМ Самара» и ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» по созданию цифровых ячеек на базе КРУ СЭЩ-70.

ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис», г. Архангельск  
ЗАО «ГК «Электрощит»-ТМ Самара», г. Самара

Основные преимущества цифровой подстанции связаны с повышением уровня ее автоматизации за счет применения более скоростных коммуникаций на основе промышленного Ethernet с поддержкой технологий резервирования и безопасности, использования единых протоколов обмена при интеграции с АСУ ТП подстанции различных интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ), возможности реализации так называемых горизонтальных связей между ИЭУ для обмена дискретной (МЭК 61850-8-1, GOOSE-сообщения) и аналоговой информацией (МЭК 61850-90-5) [1]. Организация горизонтальных связей между интеллектуальными электронными устройствами позволяет построить надежную систему оперативных блокировок на подстанции, обеспечить реализацию более эффективных алгоритмов устройств защиты и автоматики, систем регулирования напряжения на подстанции и т. д.

Другое важнейшее преимущество цифровой подстанции связано с существенным сокращением количества медных проводов во вторичных и оперативных цепях или их отсутствием при полной реализации стандартов цифровой подстанции. Переход на цифровые технологии связи на подстанциях позволит осуществить полноценный мониторинг и диагностику работы как отдельных интеллектуальных электронных устройств, промышленных сетей, высоковольтных ячеек, так и подстанции в целом.

На подстанциях используются распределительные устройства (РУ) разных уровней напряжений.

Наибольшее количество присоединений чаще всего приходится на РУ 6–20 кВ. Поэтому актуальной задачей является внедрение эффективных и доступных по стоимости решений на основе стандартов МЭК 61850 для распределительных устройств 6–20 кВ.

Главное отличие решений для РУ 6–20 кВ от решений для открытых РУ 110 кВ и выше связано с тем, что основные компоненты цифровой подстанции находятся внутри высоковольтных ячеек

6–20 кВ, что позволяет упростить реализацию резервирования промышленных сетей, требований по обеспечению ЭМС, вводу/выводу аналоговой и дискретной информации. Основным компонентом РУ 6–20 кВ нового поколения является цифровая ячейка.

Наиболее важная задача совместного проекта ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» и ЗАО «ГК «Электрощит»-ТМ Самара» связана с разработкой цифровой ячейки на базе комплектного распределительного устройства (КРУ) СЭЩ-70 (рис. 1), сопоставимой по стоимости с СЭЩ-70 при использовании традиционных микропроцессорных устройств и промышленных сетей на основе RS-485. При этом подстанции, оснащенные цифровыми ячейками СЭЩ-70, должны иметь более высокий уровень надежности, обладать возможностью тестирования ячеек сразу после их сборки, обеспечивать возможность мониторинга и диагностики как отдельных компонентов ячеек, так и ячейки, и подстанции в целом.

В процессе реализации совместного проекта прорабатывается 4 основных варианта цифровой ячейки на базе КРУ СЭЩ-70.

Вариант 1

Первый из рассматриваемых вариантов имеет максимальную степень готовности к серийному производству. Его структурная схема приведена на рис. 2.

Центральным компонентом цифровой ячейки является многофункциональный измерительный преобразователь ЭНИП-2, который обеспечивает измерение параметров режима



Рис. 1. Комплектное распределительное устройство СЭЩ-70

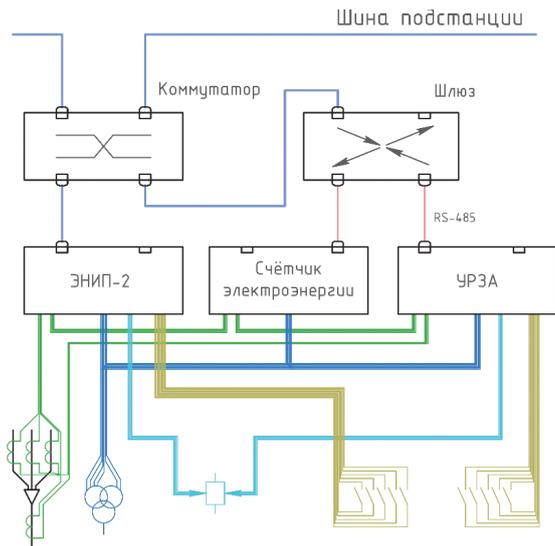


Рис. 2. Структурная схема 1-го варианта цифровой ячейки

энергосистем на основе среднеквадратических значений, а также на основе токов и напряжений главной гармоники, выполнение функций телесигнализации и телеуправления, технического учета электроэнергии, замещения щитовых приборов при использовании модулей индикации, технического учета электроэнергии, мониторинга качества электроэнергии.

Устройства ЭНИП-2 содержат один или два порта Ethernet (витая пара 2 × 100BASE-TX или оптика 2 × 100BASE-FX MM LC) с поддержкой МЭК 61850-8-1. Возможна как независимая работа портов, так и работа через встроенный сетевой коммутатор. В ЭНИП-2 встроен 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 телеуправле-

ния 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 [2].

Для замещения щитовых приборов и индикаторов состояния ячейки предлагается два основных конструктивных решения (рис. 3): 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.

При большом многообразии функций стоимость ЭНИП-2 вместе с модулем индикации сопоставима со стоимостью многофункционального измерительного преобразователя телемеханики или многофункционального щитового прибора. В случае технического учета

электроэнергии ЭНИП-2 замещает счетчик электрической энергии. Таким образом, применение ЭНИП-2 имеет и экономический эффект. В этом случае достигается редкое сочетание инноваций и финансовой выгоды.

Подключение УРЗА и счетчика электроэнергии к шине подстанции (рис. 2) производится через специальное устройство сопряжения – шлюз, так как в настоящее время отсутствуют приемлемые по стоимости устройства РЗА и счетчики с поддержкой МЭК 61850-8-1. Использование шлюза следует рассматривать как временное решение. В ближайшем будущем ожидается появление доступных по стоимости УРЗА и счетчиков с поддержкой шины подстанции. Так, специалистами ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» завершается разработка многофункционального измерительного устройства ESM, которое в отличие от ЭНИП-2 выполняет функции счетчика коммерческого учета электроэнергии.

Выбор оборудования для локальной сети осуществляется заказчиком на этапе заказа цифровых ячеек. Наиболее рациональное решение для реализации шины подстанции связано с применением сетевых устройств, выполняющих функции специального коммуникационного адаптера для сетей с резервированием RedBox (Redundancy Box) и коммутатора. Указанные сетевые устройства обеспечивают поддержку протокола бесшовного сетевого резервирования HSR согласно МЭК 62439-3 для промышленных сетей Ethernet с кольцевой топологией или протокола резервирования PRP для промышленных сетей с произвольной топологией. Приме-



Рис. 3. ЭНИП-2 и модуль индикации

нение коммутаторов, совмещенных с RedBox, позволяет упростить реализацию интеллектуальных электронных устройств. В этом случае в используемых ИЭУ достаточно наличия одного сетевого интерфейса. Начало массового производства указанных коммутаторов с реализацией протоколов резервирования HSR и PRP на программируемых логических интегральных микросхемах (FPGA, Field-Programmable Gate Array) фирмами Moxa и Kyland запланировано на первую половину 2014 года.

В высоковольтных ячейках применяется множественное дублирование ввода/вывода дискретных сигналов, используется большое количество медных проводов, что приводит к снижению надежности. Для устройств РЗА, телемеханики, устройств индикации состояния ячейки, организации оперативных блокировок часто применяются отдельные концевые выключатели, блок-контакты выключателей и т. д.

В предлагаемом на рис. 2 варианте используется только двукратное дублирование ввода/вывода дискретных сигналов.

#### Вариант 2

Второй вариант цифровой ячейки (рис. 4) подразумевает отказ от дублирования ввода дискретных сигналов для выполнения функций релейной защиты и автоматики, телемеханики, оперативных блокировок и т. д. Это позволит значительно сократить количество контрольных проводов и обеспечит повышение надежности.

Структурная схема на рис. 4 построена для случая, когда требуется технический учет электроэнергии. При необходимости провести коммерческий учет электроэнергии планируется вместо ЭНИП-2 использовать многофункциональное измерительное устройство ESM.

Принципиальное отличие от первого варианта связано с изменением способа ввода/вывода дискретных сигналов. В СЭЩ-70 имеется уникальная возможность полной замены концевых выключателей, блок-контактов на бесконтактные датчики и переходом на взаимодействие с блоком управления ва-

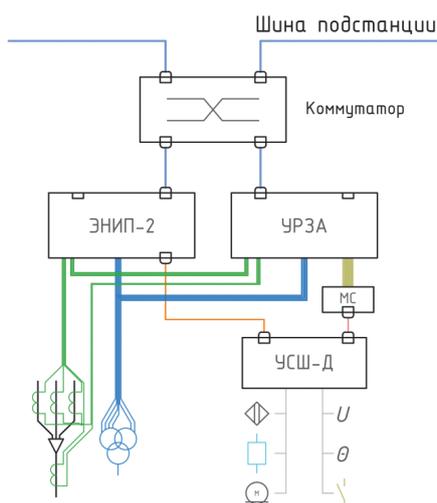


Рис. 4. Структурная схема 2-го варианта цифровой ячейки

кумным выключателем с электромагнитной защелкой по цифровым интерфейсам.

Данный вариант предусматривает использование распределенной системы дискретного ввода/вывода, основанной на применении специальных модулей дискретного ввода/вывода ЭНМВ-4-XX. Можно рассмотреть данную подсистему как простейший вариант шины процесса для дискретного ввода/вывода в цифровой ячейке.

Семейство модулей ЭНМВ-4-XX разрабатывается специально для дискретного ввода/вывода в ячейках СЭЩ-70. В состав семейства входят следующие устройства: 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.

Использование в распределительных устройствах бесконтактных датчиков положения вместо концевых выключателей и блок-контактов имеет неоспоримые преимущества. Во-первых, исчезают проблемы, связанные с «дребезгом» контактов, необходимостью пробоя оксидной пленки, большим количеством контрольных проводов. Во-вторых, уменьшается потребление оперативного тока, повышается надежность, появляется возможность обеспечить диагностику подсистемы ввода/вывода дискретной информации.

Ввод информации с бесконтактных датчиков в модуле ЭНМВ-4-БК производится с использованием многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Это позволяет контролировать остаточное напряжение датчика и по его значению диагностировать неисправность, а также обеспечивает гибкость при работе с различными моделями датчиков. В комплектных распределительных устройствах СЭЩ-70 используются бесконтактные датчики серии E2A фирмы Omron для контроля положения элементов КРУ, в том числе положения выдвижного элемента, выключателя, заземляющих разъединителей, дверцы отсека, клапанов ЗДЗ и т. д.

Применение модулей ЭНМВ-4-БК совместно с датчиками серии E2A позволяет значительно сократить количество контрольных кабелей в высоковольтной ячейке, повысить надежность КРУ, а также организовать эффективную систему блокировок.

Модули дискретного ввода/вывода максимально приближены к датчикам дискретных сигналов. Подключение модулей к головному устройству сопряжения с шиной процесса УСШ-Д производится с помощью промышленной сети CAN.

Предлагаемая система дискретного ввода/вывода, основанная на использовании промышленной сети CAN, обладает возможностью диагностики как самой сети, так и отдельных датчиков и блоков управления вакуумными выключателями. Для реализации оперативных блокировок в разрабатываемом устройстве сопряжения УСШ-Д предусматривается программируемая логика.

Идеальным вариантом подключения устройств РЗА к УСШ-Д является подключение по цифровому интерфейсу, что требует модернизации устройств РЗА. Промежуточный вариант связан с применением дополнительного модуля ЭНМВ-4-МС, управляемого от УСШ-Д, который преобразует цифровой код в дискретные сигналы для УРЗА.

#### Вариант 3

Третий вариант — полноценная реализация цифровой ячейки (рис. 5).

В качестве базовых компонентов цифровой ячейки в третьем варианте

используются устройства сопряжения с шиной процесса УСШ-Т, УСШ-Н, УСШ-Д. Все они разрабатываются на основе аналогового устройства сопряжения с шиной процесса ENMU и дискретного устройства сопряжения с шиной процесса ENCB [3]. Разработка устройств сопряжения с шиной процесса 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. Каждый имеет несколько модификаций.

Необходимость в разработке различных модификаций модулей тока и модулей напряжения связана как с реализацией устройств сопряжения (MU, Merging Unit), например, при использовании оптических датчиков тока или датчиков тока с применением тора Роговского, емкостных или резистивных датчиков напряжения, так и с реализацией специальной разновидности устройств сопряжения — SAMU (Stand-Alone Merging Unit), подключаемых к традиционным трансформаторам тока и напряжения.

Если ENMU используется в качестве SAMU, то при его конфигурировании задаются следующие возможные режимы работы: формирование отдельных или совмещенного потоков данных от релей-

ной и измерительной обмоток трансформатора тока для выборок тока (sampled values) и для векторных измерений. В последних модификациях ENMU обеспечена одновременная передача 3 потоков sampled values (sv256, sv80M, sv80P), реализован протокол резервирования PRP (IEC 62439-3).

Устройства сопряжения с шиной процесса ENMU были разработаны не только для применения их в распределительных устройствах 110 кВ и выше. Габаритные размеры и вес устройств ENMU позволяют устанавливать их в релейные отсеки высоковольтных ячеек 6–20 кВ. Для цифровых ячеек СЭЩ-70 на основе готовых модулей разрабатываются специализированные аналоговые и дискретные устройства сопряжения с шиной процесса.

Следует отметить, что в цифровой ячейке возможно применение как совмещенного аналогового устройства сопряжения с шиной процесса (УСШ), так и токового устройства сопряжения с шиной процесса (УСШ-Т), а также устройства сопряжения напряжения с шиной процесса (УСШ-Н).

В третьем варианте предусмотрена внутренняя шина процесса по топологии точка-точка и внешняя шина процесса, данные для которой формируются контроллером присоединения путем консолидации потоков данных от УСШ-Т, УСШ-Н и устройства сопряжения шины процесса с дискретными

датчиками УСШ-Д. Консолидация данных может производиться путем совмещения выборочных значений тока и напряжения либо с помощью совмещения выборочных значений (sampled values) тока и напряжения с GOOSE-сообщениями.

В случае необходимости расширения функциональных возможностей по локальной защите и автоматике дополнительное устройство РЗА может быть подключено также по схеме точка-точка. Для реализации других устройств РЗА (централизованных устройств РЗА, дифференциальной защиты линий, шин, централизованных устройств режимной и противоаварийной автоматики) необходимо подключить контроллер присоединения к шине процесса РУ 6–20 кВ посредством коммутатора. Один из возможных вариантов — применение сетевых устройств, выполняющих функции специального коммуникационного адаптера для сетей с резервированием RedBox (Redundancy Box) и коммутатора с поддержкой протоколов резервирования HSR или PRP. Указанные сетевые устройства упоминались при описании первого варианта цифровой ячейки.

В рассматриваемом варианте предполагается использовать многофункциональное устройство ESM (рис. 6), которое в отличие от ЭНИП-2 дополнительно выполняет функции счетчика коммерческого учета электроэнергии, прибора измерения показателей качества электроэнергии и устройства синхронизированных векторных измерений. Специалистами ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» разрабатываются две основные модификации ESM: с аналоговыми входами и цифровыми входами согласно МЭК 61850-9-2.

Так же как и для ЭНИП-2, для подключения к ESM модуля индикации имеются два конструктивных решения: раздельное размещение ESM и одного или нескольких модулей индикации и совмещение ESM и модуля индикации в единое устройство с установкой на место щитового прибора.

Для индикации показаний ESM разработан специальный модуль индикации ЭНМИ-6. В случае раздельной установки ESM и ЭНМИ-6

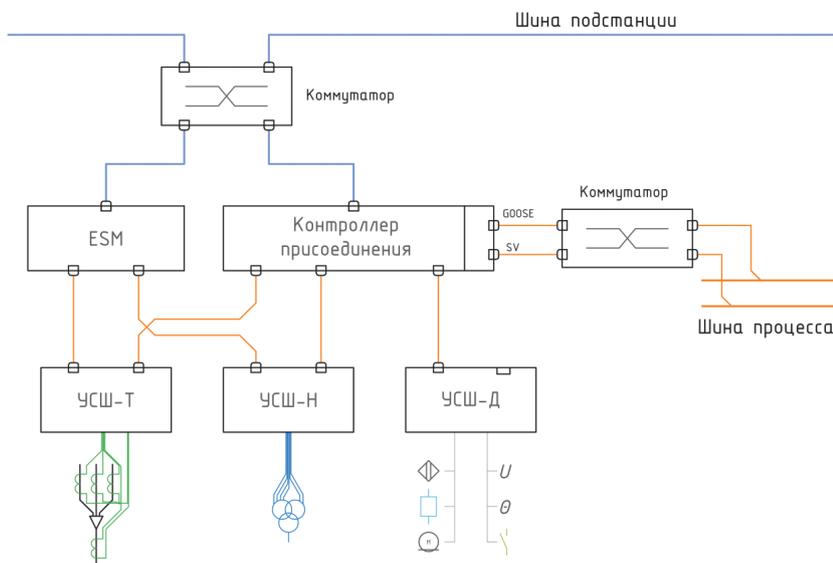


Рис. 5. Структурная схема 3-го варианта цифровой ячейки



Рис. 6. Многофункциональное интеллектуальное измерительное устройство ESM

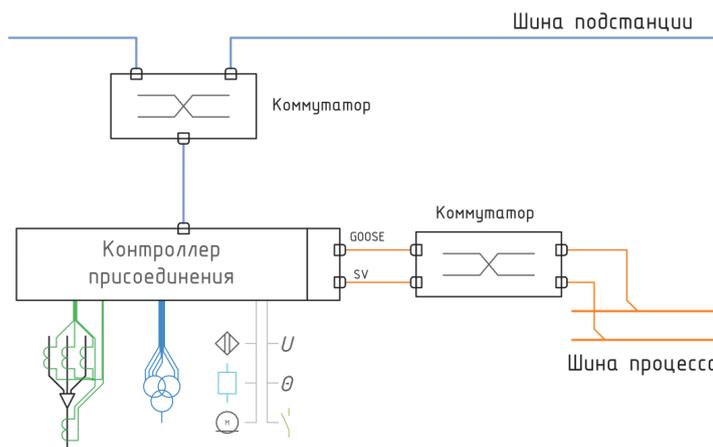


Рис. 7. Структурная схема 4-го варианта цифровой ячейки

возможен как стандартный способ подключения ЭНМИ-6 к устройству ESM с помощью интерфейса RS-485, так и подключение по локальной сети Ethernet.

Таким образом, модуль индикации ЭНМИ-6 может использоваться как автономное устройство для отображения параметров устройств в рамках цифровой подстанции (подписка на GOOSE-сообщения, MMS-сообщения).

В контроллере присоединения реализуется концентратор данных процесса, регистратор аварийных процессов, устройство релейной защиты и автоматики. В последнем случае речь идет о минимально необходимом наборе устройств 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.

Третий вариант предпочтителен при переходе на цифровые трансформаторы тока и напряжения. В рамках совместного проекта ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» и ЗАО «ГК «Электрощит»-ТМ Са-

мара» по цифровой ячейке на базе СЭЩ-70 запланированы работы по созданию цифровых трансформаторов тока и напряжения.

#### Вариант 4

Четвертый вариант основан на применении в СЭЩ-70 традиционных измерительных трансформаторов тока и напряжения (рис. 7). Контроллер присоединения разрабатывается на основе уже имеющегося устройства ENBC [3].

Первое принципиальное отличие предлагаемого варианта от ENBC – распределенная система ввода/вывода дискретных сигналов, аналогичная ранее рассмотренным вариантам (за исключением первого). Второе отличие связано с использованием 4 процессорных плат, одна из которых выполняет функции УСШ-Д, вторая – функции ЭНИП-2 или ESM, третья – устройства релейной защиты, четвертая плата (опционально) – функции УСШ и концентратора данных процесса.

Цифровая ячейка, построенная по 4-му варианту, совместима с 3-м вариантом, так как используются близкие аппаратные решения.

Различаются они по способу связи модулей (устройств) между собой. Решения по цифровой ячейке для 4-го варианта обладают более низкой стоимостью по сравнению с тем, что может предложить 3-й вариант. Имеется возможность создания отдельных модулей сторонними разработчиками.

Рассмотренные в статье варианты решений по цифровой ячейке на базе СЭЩ-70 могут быть использованы при модернизации высоковольтных ячеек РУ 6–20 кВ.

#### Литература

1. Baigent D., Adamiak M., Mackiewicz R. IEC 61850 Communication Networks and Systems In Substations: An Overview for Users // Protection&Control Journal, 2009.
2. Мокеев А. В. Интеллектуальные электронные устройства ЭНИП-2 с функциями синхронных измерений параметров режима электрической сети // Информатизация и Системы Управления в Промышленности. 2012. № 3.
3. Мокеев А. В. Продукция и решения ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» для цифровой подстанции // Сб. 6-й Всерос. науч.-техн. конф. «Энергия белых ночей». 2013.

А. В. Мокеев, зам. генерального директора, д. т. н.,  
 Д. Н. Ульянов, директор энергетического департамента  
 ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис», г. Архангельск,  
 тел.: (8182) 64-6000,  
 e-mail: ed@ens.ru,  
 www.enip2.ru

А. Б. Рафиков, генеральный конструктор,  
 И. В. Подболотов, главный специалист  
 по электронному оборудованию  
 ЗАО «ГК «Электрощит»-ТМ Самара», г. Самара,  
 тел.: (846) 273-3886,  
 e-mail: IPodbolotov@electroshield.ru,  
 www.electroshield.ru