

УДК 621.316.925.1

РАЗРАБОТКА «ПОДМЕННОЙ» ЦИФРОВОЙ ПАНЕЛИ ДЛЯ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Разработка «подменной» цифровой панели — устройства, выполняющего резервирование функций терминалов релейной защиты и автоматики. Рассмотрение возможностей применения «подменной» цифровой панели для снижения количества устройств РЗА и АСУТП при сохранении эксплуатационных характеристик оборудования. Данная статья будет полезна специалистам в области электроэнергетики, занимающимся разработкой, внедрением и обслуживанием высокоавтоматизированных подстанций.

АВТОРЫ:

Акуличев В.О.,
Микрюков В.В.,
Пацев А.А.,
ПАО «Россети Центр»

Чайкин В.С.,
Иванов А.С.,
Свистунов Н.В.,
Фёдоров Е.В.,
Попов С.Г., к. т. н.,
«Россети Научно-технический центр»

ВВЕДЕНИЕ

Высокий уровень развития вычислительной техники и широкое внедрение цифровых технологий для архитектур построения высокоавтоматизированных подстанций (ВАПС) III и IV типа позволяет использовать новые подходы к применению систем релейной защиты и автоматики (РЗА) и автоматизиро-

ванной системы управления технологическим процессом (АСУТП) [1]. Данные подходы позволяют удовлетворять требования по надежности, селективности и быстродействию систем РЗА и АСУТП с оптимизацией состава применяемого оборудования и, как следствие, привести к сокращению капитальных и эксплуатационных затрат.



Фото: Филиал ПАО «Россети Центр» — «Воронежэнерго»

Ключевые слова:

#«подменная»
цифровая панель;
#высокоавтоматизи-
рованная подстанция.

ПС 110 кВ «Спутник»

ОСНОВНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ

«Подменная» цифровая панель — это программно-аппаратный комплекс (ПАК), обеспечивающий выполнение функций устройств РЗА и АСУТП, вышедших из строя.

ПАК осуществляет наблюдение состояния работоспособности одного и более устройств РЗА и АСУТП с учетом их взаимодействия между собой и прочими системами ВАПС. При выходе из строя наблюдаемого устройства «подменная» цифровая панель начинает выполнять его функции в полном объеме.

При восстановлении работоспособности наблюдаемого устройства «подменная» цифровая панель возвращается в режим наблюдения.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ

В настоящее время вопросы обеспечения надежности систем РЗА и АСУТП на ВАПС решаются путем использования принципов резервирования или дублирования устройств. В случае возникновения неисправности или сбоя в работе одного устройства система сохраняет работоспособность за счет резервного устройства, в качестве которого может использоваться «подменная» цифровая панель, обеспечивая непрерывность выполнения технологического процесса ВАПС. Кроме этого, применение «подменной» цифровой панели позволяет снизить количество резервирующего оборудования с сохранением работоспособности комплексов РЗА и АСУТП при единичном отказе устройства одного из них.

С целью разработки и апробации решений для ВАПС с децентрализованными системами РЗА и АСУТП в части снижения эксплуатационных затрат устройства на ВАПС филиал ПАО «Россети Центр» — «Воронежэнерго» инициировал научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу (НИОКР) «Раз-

работка цифрового комплекса РЗА с «подменной» цифровой панелью для типовых шкафов 3-й и 4-й архитектур Цифровой подстанции». НИОКР выполняется специалистами АО «ФИЦ», АО «НТЦ ФСК ЕЭС» и ООО «НИЦ «Прософт-Системы».

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Функционально «подменная» цифровая панель обладает возможностью выполнения функций нескольких устройств РЗА и АСУТП, то есть свойствами интегрированной системы.

На сегодняшний день устройства, выполняющие функции «подменной» цифровой панели, на отечественном рынке вторичного оборудования отсутствуют.

Применение стандарта МЭК-61850, позволившего унифицировать информационный обмен между вторичными устройствами и первичным оборудованием ПС, открыло возможности по разработке технических решений по интеграции систем РЗА и АСУТП.

В России первая интегрированная система РЗА и АСУТП, аналог 4-й архитектуры, была разработана в 2012 году компанией «Лаборатория интеллектуальных сетей и систем» под рабочим названием iSAS. Все задачи управления и защиты в рассматриваемом вычислительном комплексе выполняются с помощью программ, реализующих соответствующие алгоритмы. Программное обеспечение устанавливается на сервере, имеющем многопроцессорную архитектуру. Обмен данными вычислительного комплекса с первичным оборудованием осуществляется по коммуникационной инфраструктуре в формате GOOSE (дискретная информация, соответствующая формату IEC 61850-8-1) и Sampled Values (аналоговая информация о режимных параметрах, преобразованная в формат, соответствующий требова-

ниям IEC 61850-9-2LE). Программное обеспечение комплекса iSAS состоит из системной и прикладной части.

Системная часть включает в себя:

- Базовую инфраструктуру комплекса, обеспечивающую взаимодействие программных компонентов.
- Информационную модель согласно МЭК-61850.
- Коммуникационные драйверы MMS, GOOSE, Sampled Values.
- Модуль развертывания, обеспечивающий создание необходимого числа экземпляров прикладных модулей и их настройку.
- Планировщик ресурсов, обеспечивающий распределение прикладных модулей по контейнерам. Контейнер определяет режим выполнения находящейся в нем задачи. Предусмотрено три контейнера — «жесткого» и «мягкого» реального времени и контейнер для задач, не имеющих жестких ограничений по времени выполнения.

Прикладная часть представляет собой реализацию алгоритмов защиты и управления в нотации информационной модели МЭК-61850. Конфигурирование комплекса производится SCL-файлом (создается в соответствии с правилами IEC 61850-6), на основании которого модуль развертывания запускает прикладные модули указанных в нем типов и производит их настройку.

Рабочий прототип системы iSAS для РУ 35 кВ имеет следующие характеристики:

- Прием и обработка информации о режимных параметрах от 20 присоединений в формате IEC 61850-9-2LE (Sampled Values).
- Управление первичным оборудованием ПС до 20 присоединений по протоколам IEC 61850-8-1 (GOOSE и MMS).

ПРИСОЕДИНЕНИЯ 110–750 КВ, ДЛЯ КОТОРЫХ РЕАЛИЗОВАНЫ ФУНКЦИИ РЗА И АСУТП

Таблица 1

Класс напряжения, кВ	110	220	330	500	750
Силовой трансформатор (все конфигурации обмоток)	+	+	-	-	-
Силовой автотрансформатор (все конфигурации обмоток)		+	+	+	+
Шины	+	+	+	+	+
Ошиновка	+	+	+	+	+
Секционный выключатель	+	+	+	+	+
Обходной выключатель	+	+	+	+	+
Резервные защиты линий (без РС)	+	+	+	+	+
Батарея статических конденсаторов	+	+	+	+	+
Шунтирующий реактор	+	+	+	+	+
Управляемый шунтирующий реактор с подмагничиванием	+	+	+	+	+

– Реализованы алгоритмы защит для РУ класса напряжения до 35 кВ (одновременная защита 20 присоединений):

- токовые защиты (МТО, МТЗ, ТЗНП);
- защиты по напряжению (реле повышения и понижения напряжения);
- дифференциальные защиты (ДЗШ);
- дистанционная защита линий.

– Конфигурирование системы при помощи Substation Configuration Language (SCL, IEC 61850–6).

– Графический пользовательский интерфейс оперативного управления.

– Подсистема регистрации аварийных событий с возможностью записи в COMTRADE-файл.

Характеристики iSAS, приведенные выше, могут быть использованы (масштабированы) для разработки «подменной» цифровой панели при определенной коррекции и с учетом специфики решаемой задачи.

В АО «НТЦ ФСК ЕЭС» в 2013 году были проведены функциональные испытания прототипа iSAS. Для испытания была реализована схема РУ 35 кВ и прилегающей сети подстанции

220/10/35 кВ энергокластера «Эльгауголь» с использованием программно-аппаратного комплекса реального времени RTDS.

Результаты испытаний, проведенные по разработанной программе, показали, что функции защиты и автоматики, заявленные для испытаний, выполняются в полном объеме. [2]

Внедрение данных централизованных систем защиты и управления требует создания новых и пересмотра существующих нормативно-технических документов: организационно-распорядительных, методических по пуско-наладочным работам и профилактическому обслуживанию при их эксплуатации. НТД должны также обеспечивать взаимодействие со смежными информационно-технологическими системами, установленными на ПС.

В настоящее время ВАПС, реализованные на базе 3-й и 4-й архитектуры, эксплуатируются на следующих подстанциях (ПС):

- ПС 220 кВ «Петровск-Забайкальская» (филиал ПАО «ФСК ЕЭС» «МЭС Сибири»);
- ПС 110/6 кВ «Уват» (ПАО «Транснефть»);

- ПС 110/20 кВ «Медведевская» (ПАО «Россети Московский регион»);
- ПС 110/6 кВ «Портовая» (АО «Сетевая компания»).

В настоящее время отечественные производители оборудования для применения в системах РЗА и АСУТП представили решения по промышленным серверам (в том числе для уровня присоединения), что дает возможность создавать решения для использования 4-й архитектуры ВАПС. Данные технические средства открывают возможности для создания «подменных» панелей как для 3-й, так и 4-й архитектуры ВАПС.

Для зарубежного рынка наиболее известной централизованной системой, осуществляющей функции РЗА и АСУТП, является устройство ABB SSC600 [3]. Указанное устройство способно выполнять функции РЗА и АСУТП для 20 присоединений классом напряжения 6–35 кВ, за исключением защит трансформаторов.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

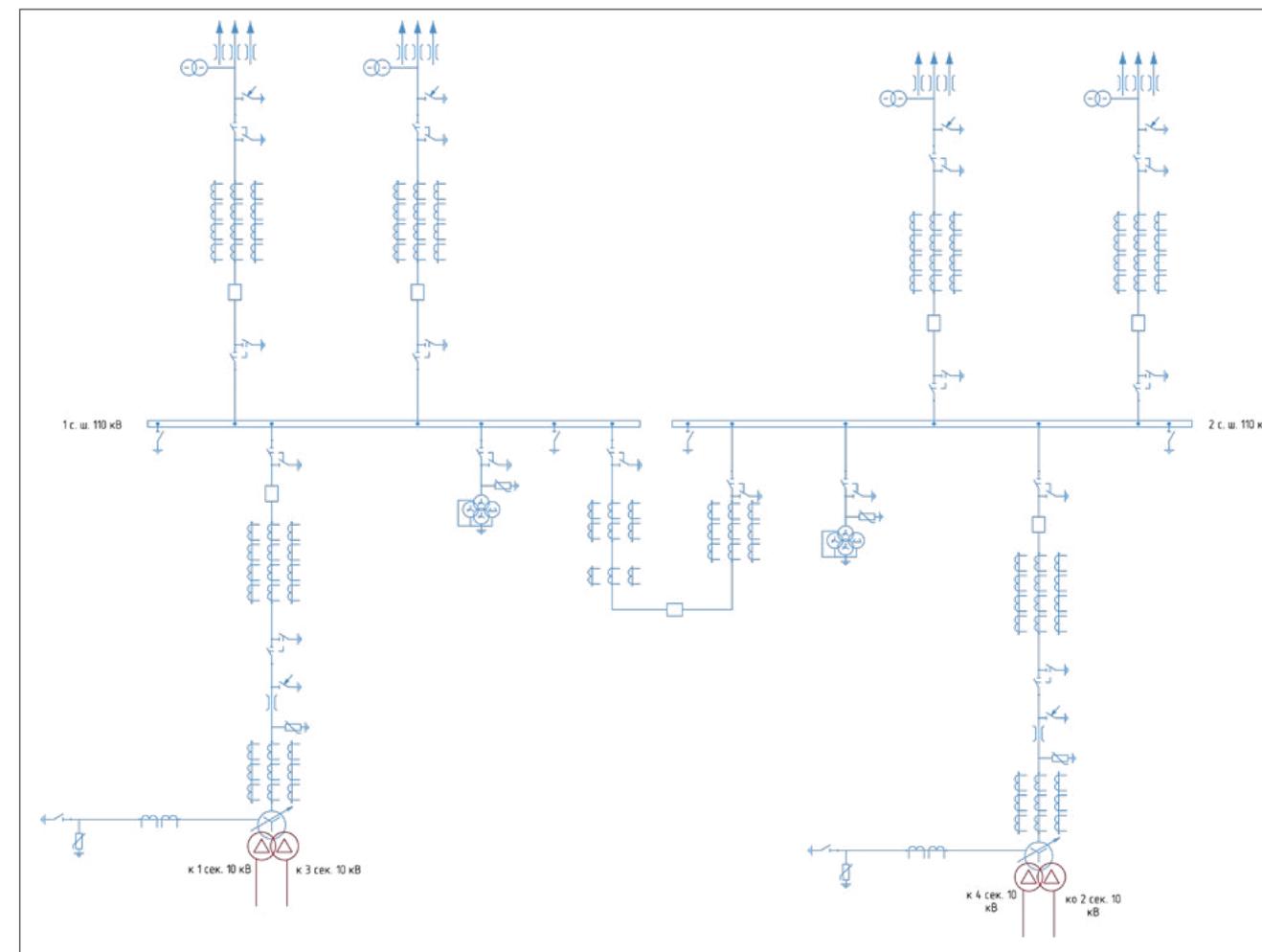
Принцип работы «подменной» цифровой панели на ВАПС заключается в резервировании функций нескольких терминалов РЗА.

«Подменная» цифровая панель выполняет следующие функции:

- сбор и обработку информации по протоколам MMS, GOOSE, SV согласно [4];
- выдачу информации по протоколам MMS, GOOSE согласно [4];
- реализацию алгоритмов РЗА для присоединений 110–750 кВ;
- реализацию алгоритмов подмены устройств РЗА ВАПС;
- обеспечение активации подмены функционала РЗА за время не более 1 секунды после обнаружения неисправности наблюдаемого устройства;

СХЕМА ПС 110/10/10 КВ «СПУТНИК»

Рис. 1



– обеспечение деактивации подмены функционала за время не более 1 секунды после обнаружения восстановления работоспособности подмененного устройства.

Протокол MMS используется «подменной» цифровой панелью только при подмене неисправного устройства для взаимодействия с АСУТП, протоколы GOOSE и SV используются для контроля работоспособности устройств, протокол GOOSE также используется для взаимодействия со смежными устройствами в случае подмены неисправного устройства.

Резервирование шины станции и шины процесса осуществляется по протоколу PRP согласно [5].

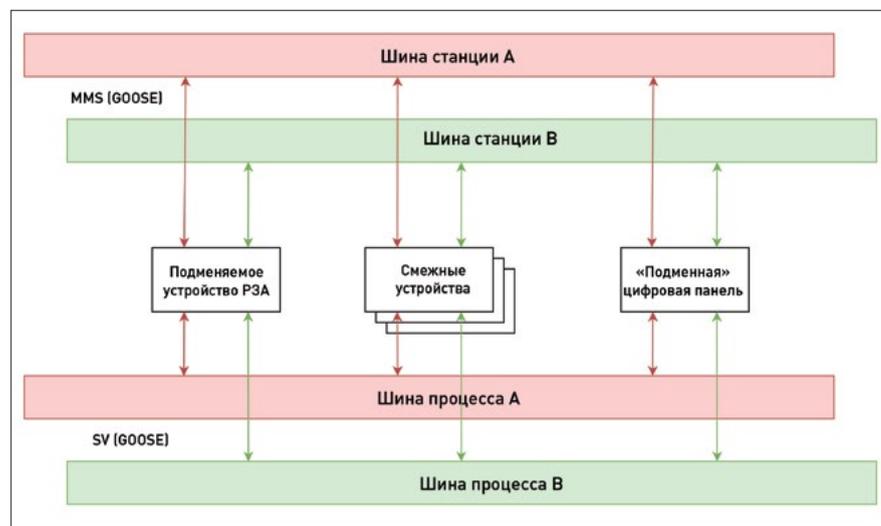
Для шины процесса с передачей информации по протоколам GOOSE и SV необходимо учитывать нагрузку на порт устройства по протоколу SV и нагрузку на порт устройства по протоколу GOOSE в режиме информационного всплеска согласно [6]. Для расчета производительности «подменной» цифровой панели были проанализированы типовые шкафы ПАО «Россети» [7–11] в части требований по приему и обработке SV-потоков [4], при этом объем трафика

GOOSE-сообщений в режиме информационного всплеска не более 5% от объема трафика SV-потоков.

Для функционирования комплекта защиты управления режимной автоматики 220–750 кВ необходим прием 33 SV-потоков согласно [12], что соответствует объему трафика в 112,9 Мбит/с. С учетом необходимости мониторинга более одного присоединения и необходимой производительностью обработки GOOSE-сообщений и выполнения алгоритмов РЗА и АСУТП «подменная» цифровая панель может одновременно наблюдать за устройствами,

СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ «ПОДМЕННОЙ» ЦИФРОВОЙ ПАНЕЛИ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛВС

Рис. 2



РЕАКЦИЯ «ПОДМЕННОЙ» ЦИФРОВОЙ ПАНЕЛИ НА РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ НЕНОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ НАБЛЮДАЕМЫХ УСТРОЙСТВ

Таблица 2

Подмена наблюдаемого устройства	-	+	+	-	-	-	-	-
Потеря всех GOOSE-сообщений от наблюдаемого устройства	-	+	-	-	-	-	-	-
Плохое качество данных в GOOSE-сообщениях наблюдаемого устройства	-	-	+	+	+	+	+	+
Потеря SV-поток от ПАС	-	-	-	+	-	-	-	-
Плохое качество данных SV-поток от ПАС	-	-	-	-	+	-	-	-
Флаг отсутствия синхронизации SV-поток	-	-	-	-	-	+	-	-
Потеря GOOSE-сообщений от взаимодействующих устройств	-	-	-	-	-	-	+	-
Плохое качество данных от GOOSE-сообщений взаимодействующих устройств	-	-	-	-	-	-	-	+

суммарный прием которых не превышает 66 SV-поток.

В «подменной» цифровой панели реализованы функции РЗА и АСУТП для присоединений 110–750 кВ, приведенных в таблице 1.

В настоящее время технические решения по реализации защит с абсолютной селективностью требуют использования дополнительного оборудования для связи между полуккомплектами или использования прямой оптической связи и согласованности полуккомплектов защит, поэтому в «подменной» цифровой панели невозможно реализовать вышеперечисленные функции защит (ДЗЛ, ДФЗ, НВЧЗ).

В рамках опытной эксплуатации «подменная» цифровая панель установлена на ПС 110/10/10 кВ «Спутник» и осуществляет мониторинг устройств РЗА резервных защит трансформаторов Т1 и Т2 и выполняет их подмену в случае возникновения неисправностей на них. Схема ПС 110/10/10 кВ «Спутник» приведена на рисунке 1.

Схема подключения «подменной» цифровой панели к технологической ЛВС ПС приведена на рисунке 2.

В таблице 2 приведена реакция «подменной» цифровой панели на различные виды ненормальной работы наблюдаемых устройств ВАПС.

Неисправности системы синхронизации времени рассматриваются только в объеме синхронизации времени для SV-поток, для которых функционирование данной системы является критически важным.

Следует отметить, что в настоящий момент нет утвержденных критериев контроля исправности локальной вычислительной сети (ЛВС).

Единичный отказ ЛВС в одной из дублированных сетей А или В не при-

водит к неисправности функционирования устройств систем РЗА и АСУТП, для конечных устройств информационный обмен сохраняется в полном объеме.

Сложные несимметричные отказы сетей А и В, приводящие к потере связи с отдельными устройствами или группами устройств, в качестве критерия работы «подменной» цифровой панели не рассматриваются.

ВЫВОДЫ

Лабораторные испытания и опытная эксплуатация «подменной» цифровой панели демонстрируют работоспособность реализованного решения.

Вычислительный ресурс используемой аппаратной платформы позволяет реализовать все заложенные функции РЗА и АСУТП в полном объеме.

«Подменная» цифровая панель разработана на оборудовании отечественного производителя, что позволяет снизить зависимость от иностранных производителей устройств РЗА и АСУТП.

Опытное использование «подменной» цифровой панели при положительном результате открывает возможность поэтапного перехода от децентрализованных комплексов РЗА и АСУТП к централизованным с сохранением показателей надежности, селективности и быстродействия. Для обоснования данного вывода требуется продолжение исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция развития релейной защиты, автоматики и автоматизированных систем управления технологическими процессами электросетевого комплекса группы компаний «Россети». URL: <https://www.rosseti.ru/upload/iblock/1da/2igrtje3suvjhgtjr8ubv5v7jauhqn.pdf> (дата обращения: 10.11.2023).
2. Чаркин А.В., Кишиневский Д.В., Алексеев В.Г., Попов С.Г. Испытания программного комплекса

защиты и управления оборудованием ПС iSAS на цифровом моделирующем комплексе RTDS в лаборатории ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС». Релейщик. 2014. № 2.

3. Smart substation control and protection SSC600. URL: <https://new.abb.com/medium-voltage/digital-substations/campaigns/smart-substation-control-and-protection-ssc600> (дата обращения: 10.11.2023).
4. СТО 56947007–25.040.30.309–2020 «Корпоративный профиль МЭК 61850. СТО 56947007–25.040.30.309–2020.
5. СТО 56947007–29.240.10.302–2020 «Типовые технические требования к организации и производительности технологических ЛВС в АСУ ТП ПС ЕНЭС». СТО 56947007–29.240.10.302–2020.
6. СТО 56947007–25.040.40.112–2011 «Типовая программа и методика испытаний программно-технического комплекса автоматизированной системы управления технологическими процессами (ПТК АСУ ТП) и микропроцессорного комплекса системы сбора и передачи информации (МПК ССПИ) подстанций в режиме повышенной информационной нагрузки «штурм». СТО 56947007–25.040.40.112–2011.
7. СТО 56947007–33.040.20.278–2019 «Типовые шкафы ШЭТ РЗА (авто)трансформаторов 110–750 кВ. Архитектура III типа». СТО 56947007–33.040.20.278–2019.
8. СТО 56947007–33.040.20.281–2019 «Типовые шкафы ШЭТ РЗА шунтирующих реакторов, компенсационных реакторов и батарей статических конденсаторов 110–750 кВ. Архитектура III типа». СТО 56947007–33.040.20.281–2019.
9. СТО 56947007–33.040.20.284–2019 «Типовые шкафы ШЭТ РЗА ЛЭП 110–750 кВ. Архитектура III типа». СТО 56947007–33.040.20.284–2019.
10. СТО 56947007–33.040.20.287–2019 «Типовые шкафы ШЭТ РЗА сборных шин, ошинок и шинных аппаратов 6–750 кВ. Архитектура III типа». СТО 56947007–33.040.20.287–2019.
11. СТО 56947007–33.040.20.291–2019 «Типовые шкафы контроллеров присоединений (ШКП). Архитектура II и III типа». СТО 56947007–33.040.20.291–2019.

Для цитирования: Акуличев В.О., Микрюков В.В., Пацев А.А., Бурков А.А., Мозговой А.И., Чайкин В.С., Иванов А.С., Свищунов Н.В., Федоров Е.В., Попов С.Г. О разработке «подменной» цифровой панели для высокоавтоматизированных подстанций // Энергия единой сети. 2023. № 5–6 (71). С. 48–53.