

## СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ ДЛЯ РЗА И ПА

К.т.н. В.А. Харламов (ЗАО «Юнител Инжиниринг»)

Системы релейной защиты и автоматики (РЗА) в значительной степени обеспечивают сохранение устойчивой работы Единой национальной электрической сети (ЕНЭС) и снижение ущерба при повреждении сетевого электрооборудования. Устройства и системы противоаварийной автоматики (ПА) сохраняют устойчивую работу ЕНЭС, локализуют и предотвращают развитие системных аварий, обеспечивают синхронную работу отдельных ее частей в послеаварийных режимах.

В системах РЗА цифровые каналы связи необходимы для комплектов ступенчатых защит (КСЗ) с передачей сигналов команд и дифференциальных защит линий (ДЗЛ) для обмена данными о токах по концам защищаемой линии электропередачи (ЛЭП), что показано на рис. 1.

В системах ПА передача управляющих воздействий и сигналов команд ПА, например автоматического отключения нагрузки, фиксации отключения линии и т.д., осуществляется в пределах всей энергосистемы, что показано на рис. 2.

Передача команд РЗ и ПА по каналам связи осуществляется устройствами передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК). Неправильная работа УПАСК может привести не только к отключению одной ЛЭП, но и к серьезным системным авариям. Поэтому к УПАСК предъявляются высокие требования к вероятности пропуска принимаемой команды (надежности), вероятности приема ложной команды (безопасности) и времени передачи команд РЗ и ПА [1, 2]. Правильная работа УПАСК определяется не только заложенными в них при разработке алго-



Рис. 1. Цифровые каналы для систем РЗА

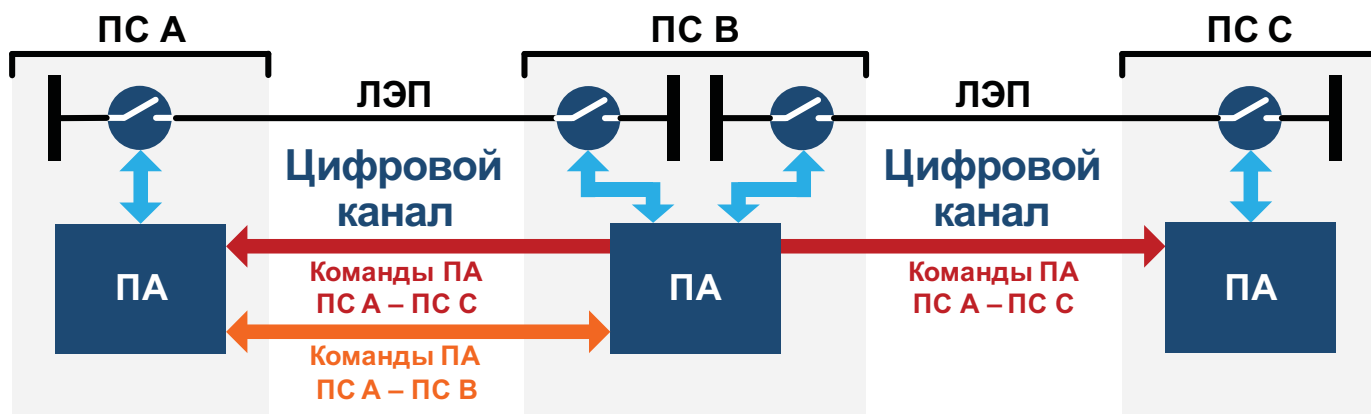


Рис. 2. Передача команд ПА по цифровым каналам

ритмами и элементной базой, качеством проектных решений и выполнения пусконаладочных работ, но и организацией их технического обслуживания (ТО).

Существуют два варианта построения цифровых каналов связи для УПАСК и ДЗЛ:

- использование выделенных волокон в волоконно-оптических кабелях (ВОК);
- использование цифровых систем передачи информации (ЦСПИ), которые нашли широкое применение в российской электроэнергетике для организации телефонных (ТФ) каналов диспетчерской и технологической связи, телемеханики (ТМ) и т.д.

Сложность использования только выделенных волокон в ВОК состоит в следующем:

- ограниченное число волокон в ВОК;
- ограничения на допустимую длину ВОК между оконечными устройствами без переприемов (длина ЛЭП иногда превышает сотни километров);
- при необходимости обеспечения резервирования цифровых каналов часто сложно найти две географически разнесенные трассы прокладки ВОК допустимой длины для основного и резервного каналов даже для коротких ЛЭП (резервирование по не разнесенным географически трассам ВОК практически теряет смысл).

Для работы по ЦСПИ сегодня предлагаются различные типы УПАСК, отличающиеся не только аппаратной реализацией и параметрами, но и идеологией построения систем. Часто предлагаемые технические решения не только не обеспечивают выполнение отраслевых стандартов [3, 4] в части параметров УПАСК, усложняют выполнение их ТО [5], но и не удовлетворяют требованиям по информационной безопасности (ИБ) [3, 6], которая приобретает все большую актуальность [7].

Одна из идеологий построения УПАСК, предлагаемая в основном зарубежными производителями (ABB, TTC MARCONI, RAD), является УПАСК, встроенные в мультиплексоры доступа ЦСПИ (рис. 3). КСЗ и устройства ПА подключаются к УПАСК по сигнальным кабелям с использованием дискретных входов и выходов через промежуточную панель контроля и управления. Промежуточные панели позволяют вводить и выводить команды РЗ и ПА ключами, фиксировать их прохождение и изменять направление передачи. Каналы ДЗЛ часто организуются с использованием оптических интерфейсов С37.94 [8].

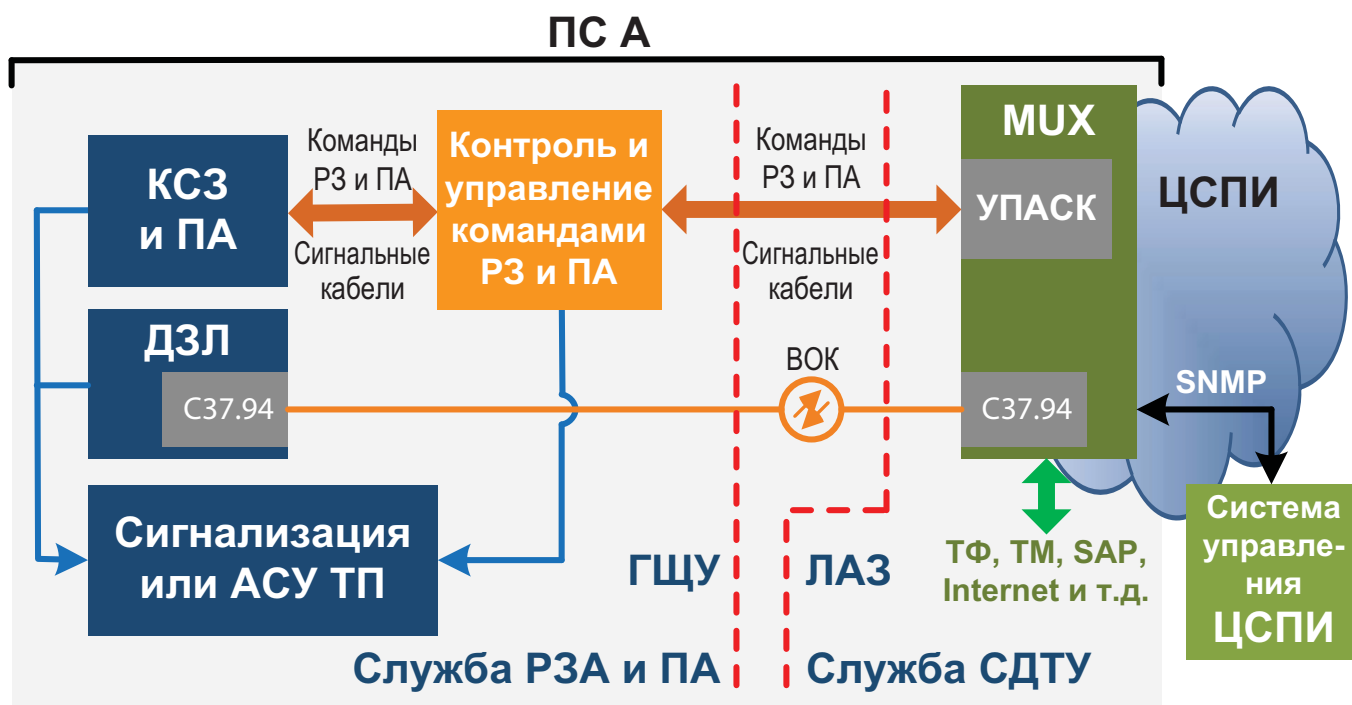


Рис. 3. УПАСК, встроенные в мультиплексоры доступа ЦСПИ

Данное решение со встроенными УПАСК являлось привлекательным с точки зрения его себестоимости. Но большой опыт эксплуатации таких решений в российской электроэнергетике выявил целый ряд существенных недостатков и проблем:

- несоответствие параметров дискретных входов УПАСК российским требованиям, включая отраслевые стандарты ОАО «ФСК ЕЭС»: низкие пороги срабатывания, малые токи срабатывания и удержания, недостаточная задержка на срабатывание дискретных входов;
- проблема разделения зон обслуживания и ответственности служб РЗА и ПА и служб средств диспетчерского и технологического управления (СДТУ) в мультиплексорах доступа с УПАСК (УПАСК – устройство РЗА и ПА, непривычное для специалистов служб СДТУ, мультиплексор – устройство связи, незнакомое специалистам служб РЗА и ПА);
- отсутствие в УПАСК энергонезависимых регистраторов событий без возможности редактирования, что усложняет или делает вообще невозможным объективное расследование технологических нарушений, связанных с пропуском реально переданных или прохождением ложных команд РЗ и ПА;
- сложность, а иногда и невозможность обеспечения требований по ИБ систем РЗА и ПА из-за возможности несанкционированного доступа к УПАСК из ЦСПИ с целью изменения конфигурации его параметров, в том числе и удаленно через системы управления ЦСПИ, которые могут быть расположены за сотни километров от объекта;

- сложность выполнения ТО (требуется снятие питания с мультиплексора для ТО встроенных УПАСК, например, для проверки изоляции их дискретных входов и выходов, что прерывает все другие каналы);
- отсутствие фиксации индикации прохождения команд РЗ и ПА (а иногда вообще полное отсутствие индикации) для оперативного персонала.

Реализация встроенных в мультиплексоры модулей С37.94 обладает следующими недостатками:

- ограниченная функциональность (реализация каналов только «точка-точка», реализовать каналы «точка-несколько точек», т.е. передать команды РЗ и ПА в нескольких направлениях, невозможно, для этого требуется увеличение числа интерфейсов);
- часто энергозависимые регистраторы событий (очищаются при снятии питания) с возможностью их редактирования.

Общие недостатки встроенных в мультиплексоры модулей УПАСК и С37.94:

- отсутствие вывода информации о срабатываниях УПАСК, отказах каналов РЗА и ПА в автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и системы центральной сигнализации объектов «сухими» контактами и по протоколам, используемым в РЗА и ПА (вместо этого предлагается интеграция в системы управления ЦСПИ по протоколу SNMP с возможностью несанкционированного удаленного доступа);
- несовместимость на канальном уровне встроенных модулей УПАСК и С37.94 разных производителей, что делает необходимым использование мультиплексоров доступа одного производителя при организации каналов РЗ и ПА, и, как следствие, приводит к монополизации рынка и завышению стоимости оборудования ЦСПИ.

Ранее при реализации промежуточных панелей контроля и управления использовались отдельные ключи, промежуточные и указательные реле, которые монтировались на объектах по проектным схемам. При этом существовала вероятность ошибок из-за человеческого фактора. Несколько лет назад встал вопрос о реализации современных законченных устройств, которые кроме перечисленной выше функциональности обладают еще и новой. Кроме того, необходимым являлось обеспечение типизации технических решений [9], отсутствие которой приводит к следующему:

- повышение числа ошибок в проектных решениях, увеличение времени их разработки, анализа и рассмотрения;
- отсутствие унификации конструктивных и схемных решений и, как следствие, отсутствие типовых методик по ТО;
- повышение требований к уровню квалификации обслуживающего персонала и увеличение затрат на его обучение;
- сложность прогнозирования и определения норм трудозатрат.

Панель контроля и управления с системой регистрации ПКУ СР24 из семейства оборудования ПКУ, разработанного и производимого ЗАО «Юнител Инжиниринг» в России, является современной промежуточной панелью и обладает следующими основными характеристиками:

- программируемая обработка и ввод/вывод до 24 команд РЗ и ПА ключами по передаче, приему и четырем направлениям приема;
- энергонезависимая фиксация прохождения команд на светодиодах (при снятии напряжения питания и его последующей подаче состояние светодиодов сохраняется);
- энергонезависимый регистратор событий без возможности редактирования, фиксирующий прохождение команд РЗ и ПА, положение ключей, внутренние и внешние сигнализации и аварии, операции с панелью;
- сохранение данных регистратора событий в файле с нередатируемым форматом и в формате COMTRADE [10], который является универсальным инструментом для просмотра регистраторов событий оборудования разных производителей;
- интеграция в АСУ ТП по ГОСТ Р МЭК 60870-5-101 (ГОСТ Р МЭК 60870-5-104 с внешним преобразователем), «сухие» контакты и светодиоды для аварийной сигнализации;
- повышение надежности работы промежуточных панелей за счет уменьшения в них числа клеммных соединений;
- упорядочение схем промежуточных панелей на базе типовых решений с ПКУ СР24;
- стандартные эксплуатационные решения, снижение трудозатрат на ТО.

Применение ПКУ СР24 позволяет устранить часть (но не все) из указанных выше недостатков и проблем при использовании встроенных в мультиплексоры УПАСК.

Пытаясь решить проблемы использования встроенных УПАСК, на объектах часто удваивают объем оборудования, устанавливая вместе со «связными» мультиплексорами ЦСПИ, предназначенными для служб СДТУ, еще и отдельные «релейные» мультиплексоры только для нужд служб РЗА и ПА, что показано на рис. 4.

Несмотря на то, что данное решение является дорогостоящим и не совсем удачным, оно получило широкое распространение в российской электроэнергетике. На самом деле оба мультиплексора эксплуатируются и контролируются, в том числе удаленно по каналам сетевого управления, службами СДТУ, т.е. реального разделения зон обслуживания и ответственности между службами в «релейном» мультиплексоре нет. К встроенным модулям УПАСК возможен несанкционированный локальный и удаленный доступ из ЦСПИ. Снятие питания мультиплексора, необходимое при ТО встроенных УПАСК, приведет к потере не только каналов передачи команд РЗ и ПА, но и каналов ДЗЛ (одновременная потеря каналов как для основной, так и для резервной защит). Не обеспечивается контроль УПАСК и каналов РЗА и ПА в АСУ ТП и системах центральной сигнализации объектов (возможен контроль только в системах управления ЦСПИ служб СДТУ).

Результатом использования таких решений явились обоснованные опасения специалистов самой идеи организации каналов РЗА и ПА по ЦСПИ и желание реализовывать их только по выделенным оптическим волокнам, что не всегда возможно.

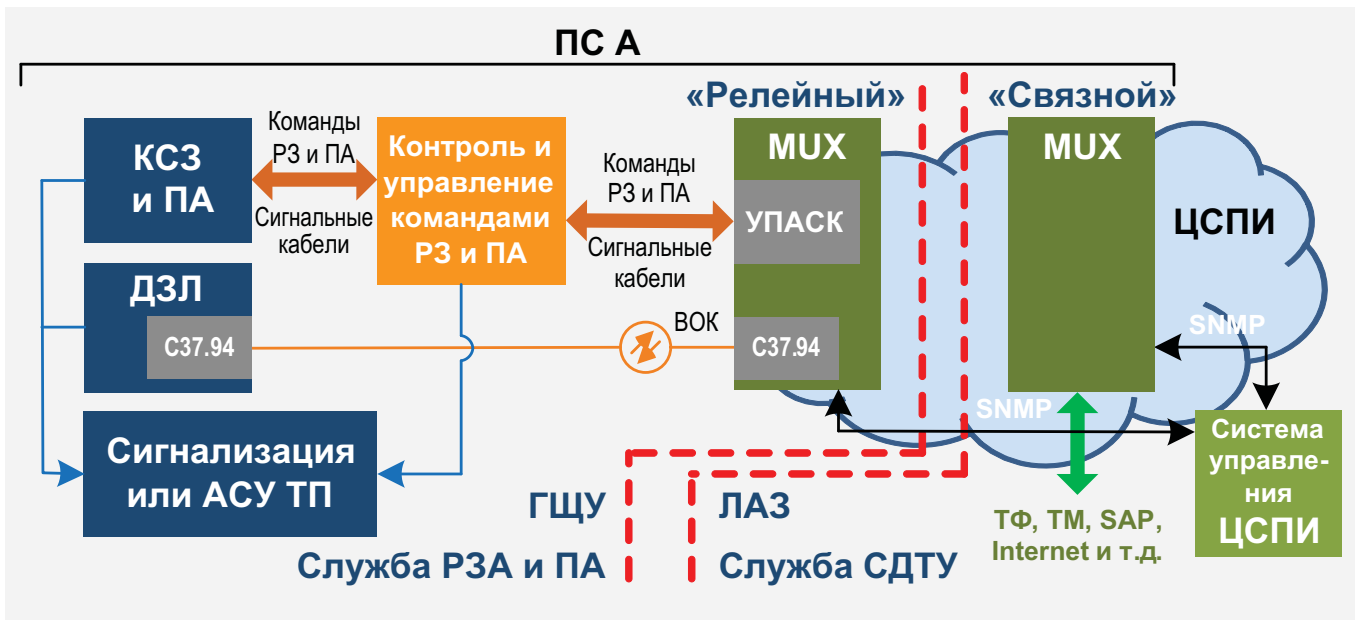


Рис. 4. Отдельные «релейный» и «связной» мультиплексоры доступа для служб РЗА и ПА и служб СДТУ

Обозначенные проблемы решаются исключением «релейных» мультиплексоров из состава ЦСПИ и применением соответствующих российским стандартам и требованиям УПАСК в отдельном конструктиве (рис. 5). Для исключения влияния электромагнитных помех при коммутациях основного оборудования, грозовых разрядах и т.д. и разности потенциалов при коротких замыканиях на ЛЭП желательным является подключение УПАСК к мультиплексорам по оптическим интерфейсам.

Данная идеология построения систем передачи команд РЗ и ПА по ЦСПИ обеспечивает четкое разделение зон ответственности и обслуживания между службами РЗА и ПА и службами

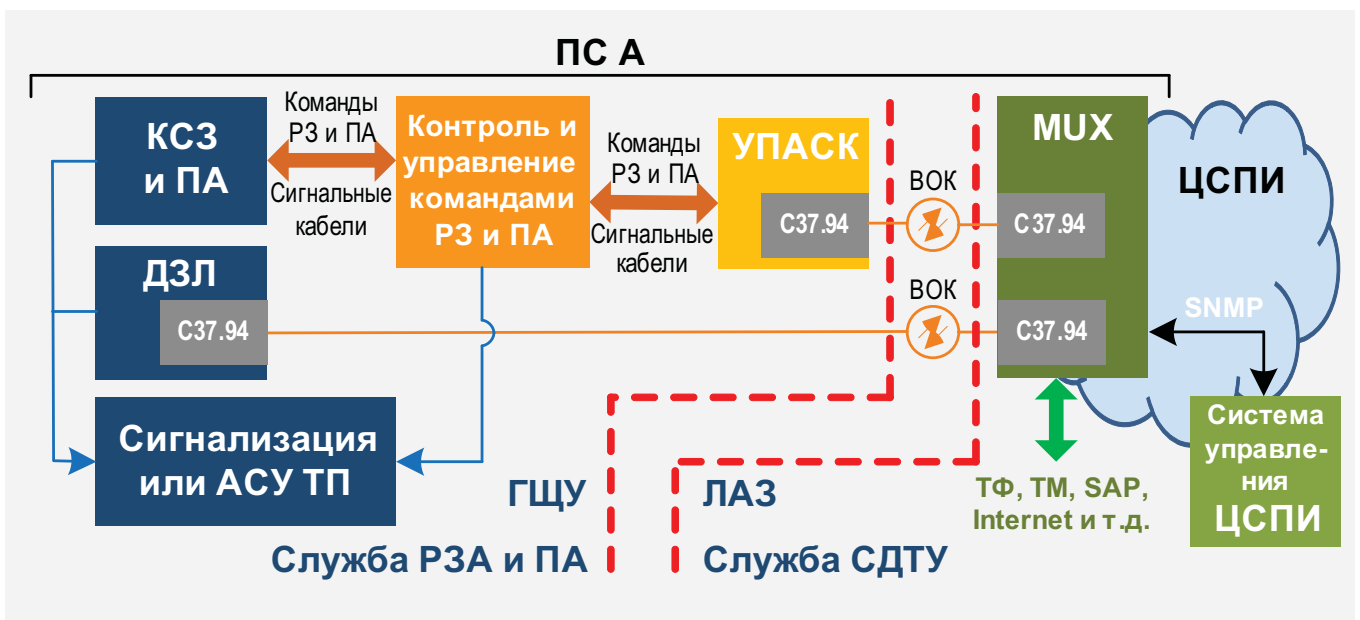


Рис. 5. Применение УПАСК в отдельном конструктиве

СДТУ. При этом служба РЗА и ПА обеспечивает обслуживание УПАСК, а служба СДТУ – мультиплексоров ЦСПИ. Несанкционированный доступ к УПАСК из ЦСПИ исключен.

В качестве УПАСК в отдельном конструктиве можно использовать ПКУС СР24 Модуль СКО из семейства оборудования ПКУ со следующими основными характеристиками:

- передача до 16 команд РЗ и ПА как по ЦСПИ с использованием интерфейсов С37.94 и Е1 [11, 12], так и по выделенному ВОК на расстояние до 240 км;
- время передачи команд РЗ и ПА, их надежность и безопасность превосходят требования МЭК 60834-1 и ГОСТ Р 55105-2012;
- два оптических или электрических линейных интерфейса, позволяющие организовывать резервирование каналов с нулевым временем переключения;
- возможность организации схем передачи команд РЗ и ПА в нескольких направлениях как по ЦСПИ, так и по выделенным оптическим волокнам;
- энергонезависимый регистратор событий без возможности редактирования;
- сохранение данных регистратора событий в файле с нередактируемым форматом и в формате COMTRADE;
- интеграция в АСУ ТП по ГОСТ Р МЭК 60870-5-101 (ГОСТ Р МЭК 60870-5-104 с внешним преобразователем), «сухие» контакты и светодиоды для аварийной сигнализации.

Можно заметить, что всем приведенным выше решениям присуще большое число сигнальных кабелей, клеммных соединений и дискретных входов/выходов. Постоянного контроля работоспособности данных элементов нет. Неисправность может быть обнаружена лишь при периодическом ТО или после реального срабатывания систем РЗА и ПА. Это послужило причиной разработки на базе ПКУ СР24 панели контроля, управления и связи с системой регистрации ПКУС СР24, которая в одном конструктиве объединяет УПАСК с панелью контроля и управления (рис. 6). При этом в ПКУС СР24 полностью сохранена функциональность ПКУ СР24.

УПАСК и промежуточная панель в одном конструктиве позволяют исключить между ними сигнальные кабели, клеммы и дискретные входы/выходы, что уменьшает себестоимость, увеличивает надежность, обеспечивает постоянный контроль соединения и упрощает ТО. ПКУС СР24 обрабатывает и передает до 24 команд РЗ и ПА как по ЦСПИ с интерфейсами С37.94 и Е1, так и напрямую по ВОК и совместима на канальном уровне с ПКУС СР24 Модуль СКО.

С целью устранения недостатков встроенных интерфейсов С37.94 ЗАО «Юнител Инжиниринг» разработало преобразователи оптических интерфейсов в электрические, которые устанавливаются в шкаф с мультиплексорами или рядом с ним. ПКУС СР24 Модуль ЭО1 является одноканальным преобразователем оптических интерфейсов С37.94 или Е1 в электрический Е1. ПКУС СР24 Модуль ЭО2 содержит в одном конструктиве два независимых двухканальных преобразователя оптических интерфейсов С37.94 или Е1 в электрические Е1. Выбор электрического интерфейса Е1 для подключения к мультиплексорам доступа обусловлен тем, что с их использованием можно организовывать каналы не только «точка-точка», но и «точка-несколько точек» при использовании кросс-коммутации в мультиплексорах доступа. Кроме

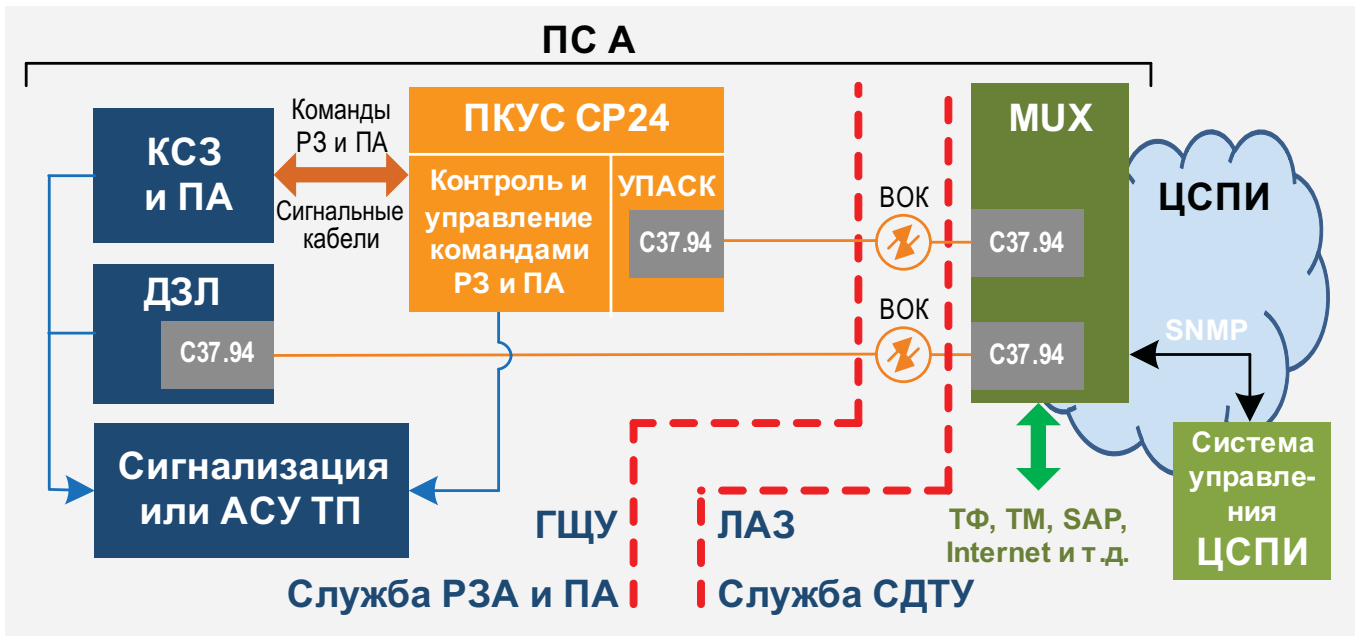


Рис. 6. Объединение УПАСК с промежуточной панелью в ПКУС СР24

того, интерфейсы E1 широко распространены и совместимы на канальном уровне у мультиплексоров доступа разных производителей. Техническое решение с использованием преобразователей ПКУС СР24 Модуль ЭО1 или ПКУС СР24 Модуль ЭО2 приведено на рис. 7.

Отличительными особенностями ПКУС СР24 Модуль ЭО1 и ПКУС СР24 Модуль ЭО2 от преобразователей других типов являются:

- энергонезависимый регистратор событий без возможности редактирования;
- сохранение данных регистратора событий в файле с нередактируемым форматом и в формате COMTRADE (следует отметить, что COMTRADE не поддерживается ни во

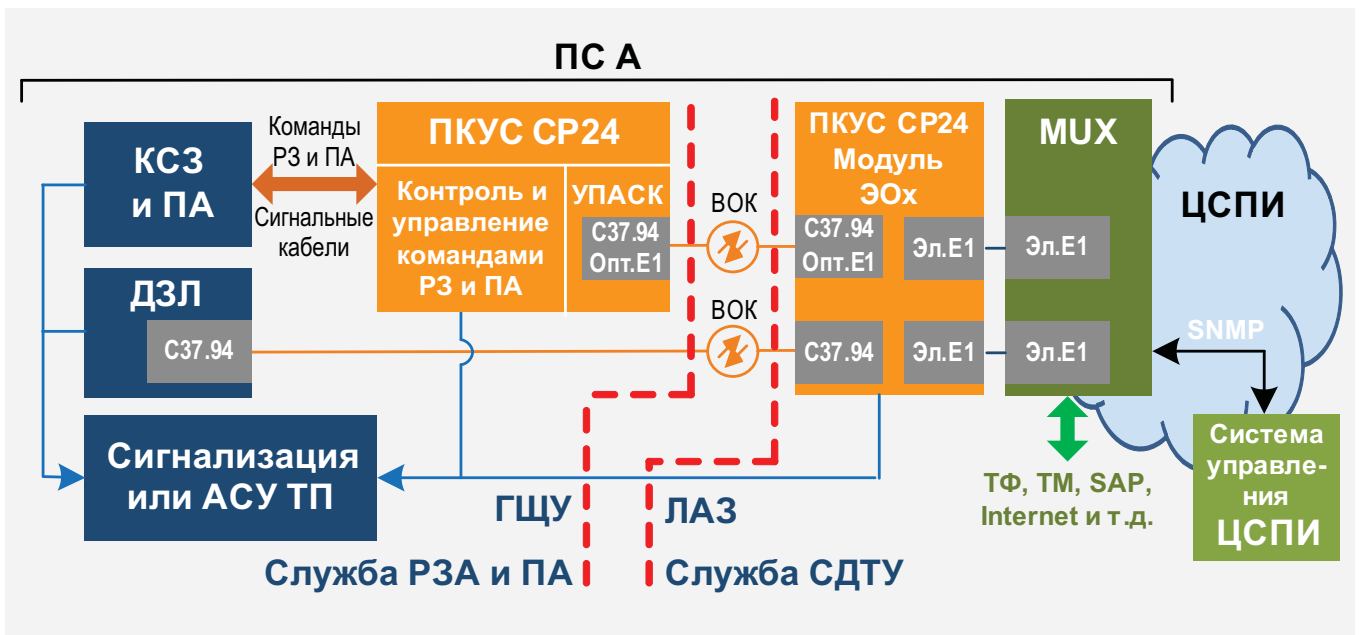


Рис. 7. Использование оборудования семейства ПКУ для организации каналов РЗА и ПА по ЦСПИ



встроенных в мультиплексоры модулях С37.94, ни во внешних преобразователях других производителей);

- интеграция в АСУ ТП по ГОСТ Р МЭК 60870-5-101 (ГОСТ Р МЭК 60870-5-104 с внешним преобразователем), «сухие» контакты и светодиоды для аварийной сигнализации.

Для семейства оборудования ПКУ ЗАО «Юнител Инжиниринг» разработало типовые схемы шкафов с использованием проверенных эксплуатацией компонентов [9]. Данные типовые схемы доступны для проектных и эксплуатирующих организаций.

### Заключение

Технические решения с использованием оборудования семейства ПКУ позволяют:

- разделить зоны ответственности и обслуживания служб РЗА и ПА и служб СДТУ;
- обеспечить контроль каналов РЗА и ПА по ЦСПИ в АСУ ТП и системах центральной сигнализации объектов;
- исключить несанкционированный доступ к системам РЗА и ПА из ЦСПИ, что упрощает обеспечение их ИБ;
- уменьшить число сигнальных кабелей, клемм и дискретных входов/выходов между УПАСК и промежуточной панелью контроля и управления и, как следствие, снизить стоимость, увеличить надежность, обеспечить постоянный контроль соединения между УПАСК и промежуточной панелью, уменьшить расходы на эксплуатацию;
- уменьшить число мультиплексоров доступа в ЦСПИ, что приводит к снижению стоимости технических решений, в том числе за счет уменьшения числа лицензий для систем управления, увеличению надежности ЦСПИ и соответственно организованных по ней каналов РЗА и ПА, уменьшению расходов на эксплуатацию ЦСПИ и упрощению сетевых топологий;
- высвободить место на объектах электроэнергетики;
- применять типовые технические решения;
- проводить ТО УПАСК без прерывания других каналов;
- упростить анализ срабатывания систем РЗА и ПА с учетом состояния их цифровых каналов при использовании формата COMTRADE;
- исключить необходимость использования в ЦСПИ мультиплексоров доступа одного производителя при построении каналов РЗА и ПА.

Это подтверждено реализованными проектами с использованием оборудования семейства ПКУ для организации каналов РЗА и ПА.

### Перечень сокращений

- РЗА – Релейная защита и автоматика  
ЕНЭС – Единая национальная электрическая сеть

ПА	– Противоаварийная автоматика
КСЗ	– Комплект ступенчатых защит
ДЗЛ	– Дифференциальная защита линий
ЛЭП	– Линия электропередачи
УПАСК	– Устройство передачи аварийных сигналов
ТО	– Техническое обслуживание
ВОК	– Волоконно-оптический кабель
ЦСПИ	– Цифровая система передачи информации
СДТУ	– Средства диспетчерского и технологического управления
ПКУ	– Панель контроля и управления
РЗ	– Релейная защита
ИБ	– Информационная безопасность
АСУ ТП	– Автоматизированные системы управления технологическими процессами
ПС	– Подстанция
ГЩУ	– Главный щит управления
ЛАЗ	– Линейный аппаратный зал
ТФ	– Телефония
ТМ	– Телемеханика

### Литература

1. **IEC 60834-1** Teleprotection equipment of power systems – Performance and testing – Part 1: Command systems.
2. **Харламов В.А.** Реализация цифровых каналов технологической связи для РЗА и ПА // Воздушные линии. 2013. № 2.
3. **СТО 56947007-33.040.20.123-2012.** Аттестационные требования к устройствам противоаварийной автоматики. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012.
4. **СТО 56947007-29.120.70.042-2010.** Требования к шкафам управления и РЗА с микропроцессорными устройствами. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2010.
5. **СТО 56947007-33.040.20.141-2012.** Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, автоматики, дистанционного управления и сигнализации подстанций 110–750 кВ. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012.
6. **СТО 56947007-29.240.01.147-2013.** СТО 56947007-29.240.01.157-2013. Система обеспечения информационной безопасности ОАО «ФСК ЕЭС». Приложения 1–11 к Приказу ОАО «ФСК ЕЭС» от 24.06.2013 № 378. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2013.
7. **Романов С., Харламов В.** Эшелонированная оборона. Универсальность и безопасность каналов технологической связи // Энергонадзор. 2014. № 1/2.
8. **IEEE C37.94-2002** IEEE Standard for N Times 64 Kilobit Per Second Optical Fiber Interfaces Between Teleprotection and Multiplexer Equipment.

9. **Романов С., Харламов В.** Типовые решения – основа уменьшения числа проектных и эксплуатационных ошибок // Электроэнергия. Передача и распределение. 2013. № 5.
10. **IEEE/IEC C37.111-2013 IEEE/IEC** Measuring relays and protection equipment Part 24: Common format for transient data exchange (COMTRADE) for power systems.
11. **ITU-T G.703 (11/2001)** Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.
12. **ITU-T G.704 (10/98)** Synchronous frame structures used at 1544, 6312, 2048, 8448 and 44 736 kbit/s hierarchical levels.