

Авторы:

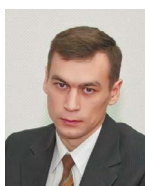
Прокопьев В.В.,
Федоров Р.И.,

ООО НПП «ЭКРА»,
г. Чебоксары, Россия.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ ЦПС НА ПРИМЕРЕ ПС 110 кВ «МЕДВЕДЕВСКАЯ»

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы построения сети современной АСУ ТП электрической подстанции. Проанализированы особенности построения сети. В качестве примера взята ПС 110 кВ «Медведевская».

Ключевые слова: МЭК 61850, локальная вычислительная сеть, шина подстанции, шина процесса, MMS, SV-поток, GOOSE-сообщение.



**Прокопьев
Вадим Валентинович**

Дата рождения: 29.04.1981 г.
В 2004 году окончил
ЧГУ им. И.Н. Ульянова,
магистр техники
и технологии.
Руководитель сектора
инжиниринга АСУ ТП
ООО НПП «ЭКРА».



**Федоров
Роман Игоревич**

Дата рождения: 25.04.1983 г.
В 2005 г. окончил ЧГУ
им. И.Н. Ульянова,
специальность «Инженер
автоматизированных систем
обработки информации и
управления».
С 2017 г. является
руководителем
группы контроллеров
присоединения сектора
инжиниринга АСУ ТП
ООО НПП «ЭКРА».

Несмотря на длительный процесс теоретического обсуждения технологии цифровой подстанции, до текущего времени не существовало объекта, на котором защита оборудования в полной мере выполнялась бы с её применением. Для воплощения в жизнь этого большого проекта выбрана ПС 110/20 кВ «Медведевская» (ПАО «МОЭСК»). Необходимость постройки новой подстанции для питания промышленных площадок Инновационного центра «Сколково» назрела в 2014 г. – существующих мощностей не хватало, чтобы покрыть растущие потребности инновационного центра. Для российской энергетики пуск этой подстанции – это действительно очень важный этап. Уникальность объекта в том, что это первая в России подстанция, которая полностью оснащена устройствами защит и автоматизированного управления, а также различными вспомогательными устройствами, действующими на основе принципов управления, регламентируемых стандартом МЭК 61850. Принципиальным отличием от объектов, ранее запущенных на территории страны, является полное отсутствие резервирования релейной защиты комплектами, не работающими по протоколам стандарта МЭК 61850.

1. Общая структура построения сети

Все оборудование подстанции условно делится на 3 уровня:

• **Устройства полевого уровня** – дискретные и аналоговые устройства сопряжения с объектом – ПДС (преобразователи дискретных сигналов), ПАС (преобразователи аналоговых сигналов), а также сетевое оборудование шины процесса. Данные устройства располагаются на 1 этаже КРУЭ в непосредственной близости от первичного оборудования.

• **Устройства уровня присоединения** включают в себя:

- терминалы РЗА с функцией АУВ, выполняющие функции контроллера присоединений;
- контроллеры ячеек;
- измерительные преобразователи;
- интегрируемые на информационном уровне устройства смежных систем: РЗА, РАС, ЦСН, ЦХН, ЦПТ.

Оборудование уровня присоединения располагается на 2 этаже КРУЭ в помещении РЩ.

• **Устройства подстанционного уровня** – средства сбора, централизованного хранения и представления информации, сетевое оборудование, объединяющее устройства подстанционного уровня и устройства уровня присоединения, а также оборудование, обеспечивающее передачу информации в диспетчерские центры. Оборудование подстанционного уровня располагается на 2 этаже КРУЭ в помещении АСУ ТП.

Структурная схема ПС 110 кВ «Медведевская» упрощенно представлена на рис. 1.

2. Особенности построения сети

В процессе разработки архитектуры локальной вычислительной сети для заказчика было подготовлено несколько проектных решений. В результате обсуждения различных вариантов с представителями ПАО «МОЭСК» остановились на варианте ЛВС, который учитывал:

- **Требования руководящих документов** по технологии сети:
- Технический отчет IEC/TR 61850-90-4. Коммуникационные сети и системы для автоматизации энергосистем общего пользования. Руководящие указания по разработке технологии сети.
- СТО 56947007-25.040.40.226-2016. Общие технические требования к АСУ ТП ПС ЕНЭС. Основные требования к программно-тех-

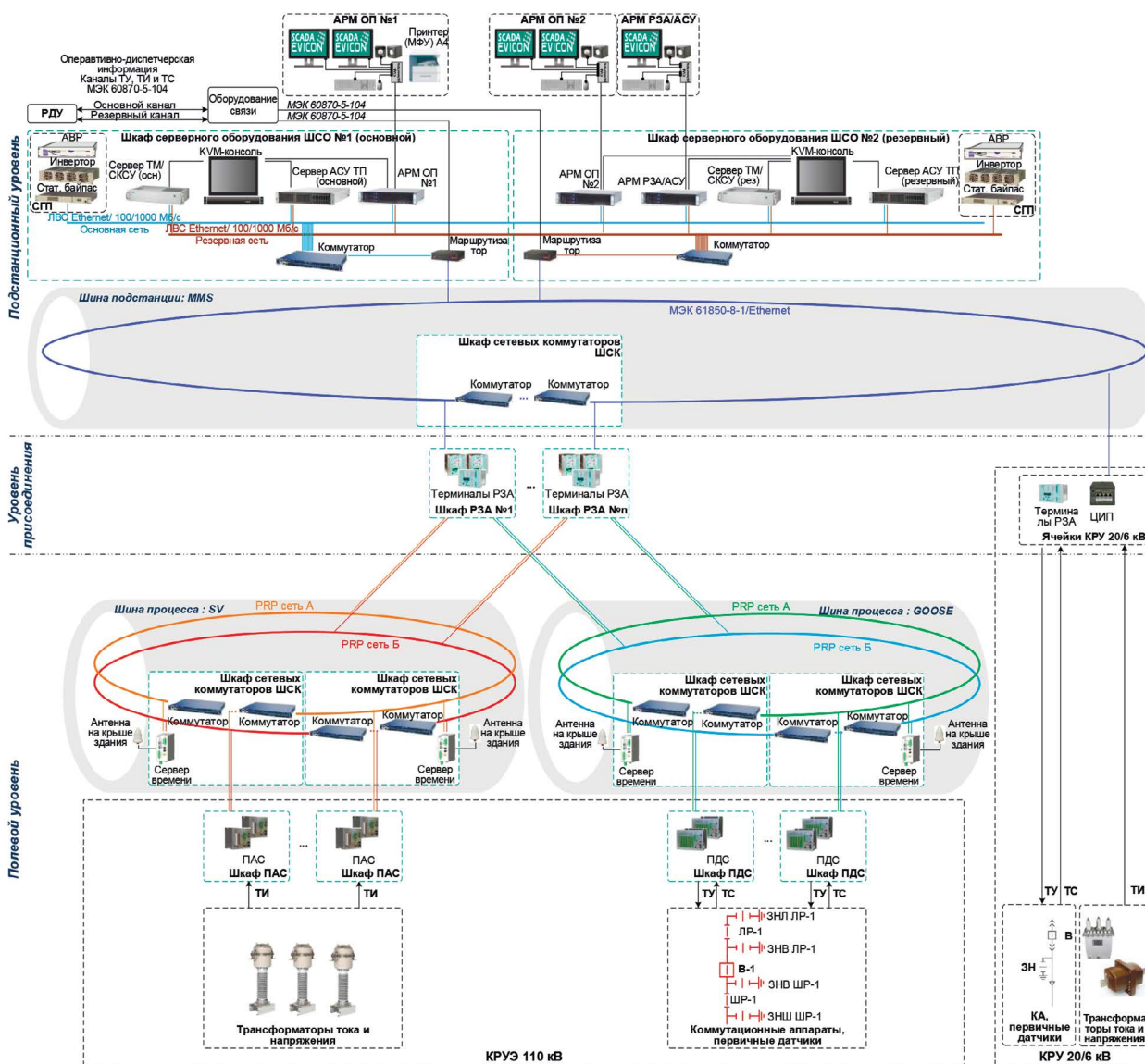


Рис. 1. Структурная схема ПС 110 кВ «Медведевская»

• Возможности устройств уровня присоединения

К устройствам уровня присоединения относятся терминалы РЗА 110 кВ, терминалы ячеек 6 кВ, 20 кВ, измерительные преобразователи, регистраторы аварийных событий (цифровые и аналоговые), контроллеры ЩСН, ЩХН, ЩПТ. Основным устройством, поддерживающим

протоколы стандарта МЭК 61850 (SV, GOOSE, MMS), является терминал РЗА, поэтому сеть строится исходя из коммуникационных возможностей терминала. Связь между устройствами РЗА осуществляется по протоколу МЭК 61850-8-1 посредством GOOSE-сообщений. Для этих целей в терминале РЗА выделены два порта с поддержкой протокола PRP, по которым идет обмен GOOSE-сообщениями

для передачи дискретных сигналов контроля и управления оборудованием. По этим же портам идет обмен GOOSE-сообщениями с преобразователями дискретных сигналов (ПДС). Связь между преобразователями аналоговых сигналов (ПАС) и терминалами РЗА для передачи SV-потоков организована по протоколу МЭК 61850-9-2LE через два других порта, также с использованием протокола ре-



зервирования PRP. Была проведена большая работа по доработке возможностей терминалов. Уже сейчас выпускается модификация терминала РЗА, имеющая 2 порта для обмена данными по МЭК 61850-9-2LE, 2 порта для горизонтального обмена данными по МЭК 61850-8-1 (GOOSE) и два порта для передачи данных в SCADA-систему по МЭК 61850-8-1 (MMS). Все эти порты поддерживают протоколы резервирования PRP и HSR.

• Подход производителя сетевого оборудования

До проработки архитектуры сети были произведены следующие испытания коммутаторов:

- проверка поддержки протокола IEEE 1588-2008 (PTP v2);
- определение времени восстановления сети при использовании протокола RSTP;
- определение задержек при передаче SV-потоков по сети;
- определение максимального количества передаваемых потоков;
- проверка резервирования питания;
- проверка работы при использовании режима резервирования PRP.

• Предпочтения заказчика

При проработке архитектуры сети представители ПАО «МОЭСК» высказали пожелание по разделению шины подстанции (MMS) от шины процесса (SV, GOOSE) во избежание непреднамеренного воздействия на работу релейной защиты, поскольку шина процесса становится элементом релейной защиты.

• Удобство эксплуатации

Поскольку шина процесса (сеть SV, GOOSE) отделена физически от шины подстанции (сеть MMS), то представители службы РЗА попросили при проектировании предусмотреть объединение этих сетей в выделенный VLAN для диагностики оборудования шины процесса. В АСУ ТП на экран диагностики выводится информация о состоянии портов коммутаторов, загруженность портов, состояние блоков питания, температура коммутатора, на структурной схеме обозначается забло-

кированный с помощью протокола RSTP порт. Дополнительно на каждом коммутаторе были предусмотрены служебные порты, добавленные во все VLAN устройств ПАС для обслуживания «по месту» при помощи ноутбука.

• План расположения

Шкафы с устройствами сопряжения с объектом ПАС, ПДС располагаются на первом этаже КРУЭ в непосредственной близости от первичного силового и коммуникационного оборудования. Оборудование уровня присоединения располагается на втором этаже КРУЭ в помещении РЩ. Телекоммуникационные шкафы устанавливаются как на первом, так и на втором этажах. Сделано это для уменьшения протяженности оптических кабелей. Следует отметить, что все межшкафные связи спроектированы с использованием оптического кабеля, который имеет явные преимущества перед кабелем с медными жилами в части электромагнитной помехозащищенности, гальванической развязки цепей и безопасности эксплуатации.

• Требования кибербезопасности

ЛВС спроектирована с физическим разделением сетей по сегментам. Выделено четыре основных сегмента: ЛВС подстанционного уровня, ЛВС уровня присоединения, ЛВС шины процесса (SV), ЛВС шины процесса (GOOSE). ЛВС уровня подстанции и ЛВС уровня присоединения разделены при помощи маршрутизаторов. При такой организации достигается максимально возможная изоляция самого важного сегмента сети – РЗА. Устранены «плацдармы возможных атак» в сети РЗА – нет оборудования, использующего операционную систему общего назначения. Коммуникации между сегментами РЗА и АСУ жестко ограничены, а между РЗА и остальными сегментами – запрещены. В итоге SV-потоки, GOOSE-сообщения, работающие на канальном уровне, остаются внутри «своей» подсети, т.к. они не в состоянии преодолеть маршрутизатор (с функцией межсетевого экра-

на). В то же время MMS-сообщения работают на сетевом уровне (по IP-адресам), и поэтому проходят через маршрутизатор в подсеть с серверами и АРМ (при условии разрешения правилами на межсетевом экране). Таким образом, уровень защищенности объекта повышается за счет организации эшелонированной защиты.

• Опыт заводских испытаний

До испытаний было проведено обучение, в ходе которого специалисты ООО НПП «ЭКРА» пояснили протокол МЭК 61850, общетехнические решения по РЗА и АСУ ТП применительно к ПС 110 кВ «Медведевская». Так как ЛВС уровня процесса является неотъемлемой частью комплекса РЗА, то совместно с Заказчиком было принято решение собрать всю подстанцию на заводе и выполнить испытания всего комплекса РЗА и АСУ ТП.

При проведении заводских приемо-сдаточных испытаний была произведена проверка работоспособности комплекса устройств РЗА, РАС, СОПТ и АСУ ТП. Наличие одного производителя РЗА, РАС, СОПТ и АСУ ТП позволило избежать сложностей, связанных с особенностями реализации протокола МЭК 61850 разными производителями. Возможность считывания конфигурации устройств по протоколу MMS позволила значительно сократить время, необходимое для их интеграции и наладки. Сокращение сроков инжиниринга достигнуто также за счет разработки типового исполнения шкафов для большинства присоединений ещё на этапе проектирования. Однотипность позволила значительно сократить сроки создания конфигурации SCADA-системы за счет возможности копирования конфигураций. Нужно отметить, что в SCADA-системе возможность копирования доведена до совершенства – добавить 2-ю однотипную конфигурацию можно буквально несколькими кликами мыши и заменой названий. Кроме того, моделирование различных аварийных ситуаций (множествен-

ные неисправности в одной из сетей PRP, поочередное возникновение неисправностей в обеих сетях PRP на малом промежутке времени, отказ одного из резервированных устройств, пропадание сигналов спутников) подтвердило устойчивость системы к разного рода сбоям, потенциально возможным в ходе эксплуатации.

По программе испытаний была проверена надежность работы устройств РЗА по шине процесса (SV-поток и GOOSE-сообщения) в режиме моделирования повреждения. Причем проверялась не просто работа защиты при имитации повреждения, но и поведение защиты в «штормовом» режиме. Генерировался трафик, предельно нагружающий сеть, затем имитировалось внутреннее повреждение, и при этом измерялось время от возникновения КЗ до срабатывания выходных реле терминалов ДУСО. Разница между временем срабатывания защит в «штормовом» и штатном режимах работы сети не превышала 10%.

Дополнительно к программе испытаний была ещё проверена надежность работы шины процесса и работоспособность устройств РЗА при возникновении случайных колец в

сети. Для этого использовались возможности коммутаторов – поддержка протокола RSTP. При появлении случайных петель последние практически сразу отсекались с помощью этого протокола, вызывая лишь кратковременный перерыв в работе одной из сетей PRP. Также была проведена проверка устойчивости к ширококвещательному шторму всех сетевых устройств: путем отключения протокола RSTP на некоторых портах намеренно создавалась петля, что приводило к ширококвещательному шторму – условиям, когда полезный трафик не может быть передан из-за резко возросшего количества паразитного трафика. Паразитный трафик генерировался на портах со скоростью 100 Мбит/с, тогда как кольцо было организовано на 1 Гбит/с портах. Следует отметить, что единичная, двойная и даже тройная петля не приводила к потерям информации, и лишь при возникновении четырех петель создавались условия для потери полезного трафика. Доставка информации при ширококвещательном шторме проверялась при одной отключенной сети PRP. В реальности же возникновение петель в одной из сетей PRP не приводит к потере информа-

ции, поскольку в другой сети информация будет доставлена без потерь. Для оценки возникновения ширококвещательного шторма информация о загрузке каждого порта собиралась в SCADA-систему, где архивировалась и отображалась в виде трендов, а также в виде предупредительных сообщений в журнале событий.

Выводы

1. В результате плодотворного сотрудничества между проектным центром «ЭКРА» совместно с ПАО «МОЭСК» удалось в течение всего 4 месяцев разработать и согласовать проект, а ООО НПП «ЭКРА» произвести оборудование:

- удовлетворяющее условиям по экономичности;
- удобное в эксплуатации;
- защищённое от киберугроз.

2. Реализация проекта ЦПС на базе одного производителя вторичных подсистем позволила провести автономные испытания РЗА, РАС и АСУ ТП на территории завода, до отгрузки оборудования Заказчику, сократив тем самым сроки ввода объекта в эксплуатацию.

3. Обучен эксплуатирующий персонал.

Приглашаем принять участие
в масштабном комплексе мероприятий

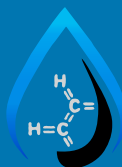
21–23 НОЯБРЯ
КРАСНОЯРСК, 2018

СИБИРСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФОРУМ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ



ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА
АВТОМАТИЗАЦИЯ. СВЕТОТЕХНИКА



Нефть. Газ. Химия

2017
ИТОГИ:

Посетители: **1971** специалист из **906** организаций
и **25** регионов РФ
Участники: **82** компании из России и Республики Беларусь

www.krasfair.ru

МВДЦ «Сибирь»
ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 200-44-26
kashirina@krasfair.ru

Реклама

0+