

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Якушин Владимир Андреевич
Должность: ректор, д.ю.н., профессор
Дата подписания: 06.10.2025 11:56:35
Уникальный программный ключ:
a5427c2559e1ff4b007ed9b1994671e27053e0dc

Министерство науки и высшего образования РФ
Образовательная автономная некоммерческая организация
высшего образования
«Волжский университет имени В.Н. Татищева» (институт)

УТВЕРЖДАЮ
Ректор Якушин В.А.
от 26.05.2022г. № 05

**Методическое указание
по выполнению курсовой работы
по дисциплине «Промышленные сети»**

Направление подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная
техника

Квалификация (степень) выпускника – бакалавр

Форма обучения – очная, заочная, очно-заочная

Тольятти, 2022 г.

Методическое указание по выполнению курсовой работы по дисциплине «Промышленные сети» составлено с требованиями ФГОС, ВО, ОПОП по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника (уровень высшего образования: бакалавриат) и учебного плана.

Методическое указание обсуждена и рекомендована к использованию и (или) изданию решением кафедры на заседании кафедры «Информатика и системы управления»

протокол № 10 от 20.05.2022г.

Зав. кафедрой ИиСУ, к.п.н., доцент Е.Н. Горбачевская

Одобрено Учебно-методическим советом вуза

протокол № 05 от 25.05.2022г

председатель Учебно-методического совета Н.Г. Рогова

Цель курсовой работы дисциплины «Промышленные сети» направления бакалавриата 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», показать практические навыки: принципов функционирования и особенностей построения каналов передачи данных и линий связи; методов доступа и разновидностей вычислительных сетей; аппаратного обеспечения, протоколов обмена, методов адресации и маршрутизации сетей.

Содержание

I Общие требования к содержанию курсовой работы.....	5
II Содержание разделов пояснительной записки	5
III Типовые темы курсовой работы.....	17

I Общие требования к содержанию курсовой работы

Курсовая работа должна быть написана в печатном виде, и иметь следующее содержание:

- Титульный лист.
- Описание автоматизированной системы.
- Характеристики компонентов сети
- Список литературы.
- Приложение 1

В процессе выполнения курсовой работы необходимо по заданному объекту предложить вариант промышленной сети, описав характеристики следующих компонентов:

- кабельная система (стандарт, длина, скорость);
- схема обмена сообщениями (формат сообщений, адресация);
- характеристики производительности предлагаемого варианта сети.

Описание объектов автоматизации в приложении. Выбор вариантов задания в соответствии со списком группы.

II Содержание разделов пояснительной записки

Теоретический раздел.

Промышленная сеть для поддержки АСУ

В современных системах автоматического управления промышленная связь играет исключительно важную роль. Она обеспечивает взаимодействие управляющих систем между собой, а также соединяет их с информационными системами более высокого уровня.

Принципы построения промышленной сети

Существует *два основных принципа построения* структуры промышленной сети для АСУ ТП.

Первый – централизованная структура, в которой центром системы является мощное вычислительное устройство, от которого «звездой» подключаются оконечные устройства управления и исполнительные механизмы. Данный принцип построения является наиболее удобным в смысле администрирования, поскольку есть единая точка контроля над всей системой. Однако такая структура ненадежна: выход из строя «центра звезды» вызывает простой всей сети. Эту проблему можно решить за счет создания «дублирующего центра», но такой вариант приводит к значительному удорожанию сети в целом. Еще один минус – отсутствие возможности расширения функционала системы. При необходимости добавления большого количества исполнительных механизмов приходится менять центральное устройство, что само по себе нерационально и убыточно.

Второй принцип – распределенная структура, состоящая из множества узлов, между которыми осуществляется обмен данными по цифровым каналам промышленной сети. Такой вариант построения является, конечно, более дорогим с точки зрения затрат на администрирование, зато более надежным – при выходе из строя одного из узлов система продолжает функционировать. Распределенная структура более гибкая и позволяет наращивать систему без существенного изменения действующей ее части. Кроме того, она дает

возможность расположить узлы, в качестве которых выступают контроллеры и интеллектуальные устройства ввода-вывода, максимально близко к оконечным устройствам (датчикам и исполнительным механизмам), за счет чего сокращается длина сигнальных кабелей. Это позволяет не только экономить на сигнальных кабельных линиях, но и избежать необходимости строить дополнительные громоздкие конструкции для прокладки кабеля.



Для передачи данных в промышленной сети существует множество протоколов и интерфейсов, например Modbus, Ethernet, CAN, LON, PROFIBUS и др. Протоколы разработаны с учетом особенностей производства и технических систем, обеспечивают надежные соединения и высокую точность управления. Оборудование, для которого они предназначены, должно устойчиво работать при высоких температурах или влажности, в условиях сильной вибрации или химически активной среды.

Структура АСУ ТП

Промышленные АСУ ТП строятся по принципу трехуровневой системы.

Нижний уровень (полевой) – состоит из датчиков и исполнительных механизмов, устанавливаемых на технологических объектах. Для связи с датчиками используются:

- *АС-интерфейс* – для организации связи с датчиками и исполнительными устройствами. Позволяет подключать датчики и исполнительные механизмы к системе управления на основе построения сети с использованием одного двухжильного кабеля, посредством которого обеспечивается как питание всех сетевых устройств, так и опрос датчиков и выдача команд на исполнительные механизмы;

- *HART-протокол* – основан на методе передачи данных с помощью частотной модуляции, при этом цифровой сигнал накладывается на аналоговый токовый. Частотно-модулированный сигнал является двухполярным и при использовании соответствующей фильтрации не искажает основной аналоговый сигнал 4–20 мА.

Средний уровень (контроллерный) – состоит из промышленных контроллеров, силовой, сигнализационной автоматики и прочих устройств аналого-цифрового, цифро-аналогового, дискретного, импульсного и другого преобразования, а также устройств для сопряжения с верхним уровнем (шлюзов). Для передачи данных на этом уровне могут применяться интерфейсы и протоколы *PROFIBUS, Modbus, CAN, LON и Ethernet*.

Рассмотрим протокол PROFIBUS с точки зрения применения на среднем уровне АСУ ТП.

PROFIBUS – семейство промышленных сетей, обеспечивающих комплексное решение коммуникационных проблем предприятия.

^ Под этим общим названием понимается совокупность трех различных, но совместимых протоколов: PROFIBUS-FMS, PROFIBUS-DP и PROFIBUS-PA.

Протокол PROFIBUS-FMS появился первым и предназначался для работы на так называемом цеховом уровне. Основное применение – передача больших объемов данных.

Протокол PROFIBUS-DP используется для высокоскоростного обмена данными между программируемым логическим контроллером и распределенными устройствами связи с объектом. Физическая среда передачи – экранированная витая пара стандарта RS-485. Скорость обмена прямо зависит от длины сети и варьируется от 100 кбит/с на расстоянии 1200 м до 12 Мбит/с на дистанции до 100 м. Взаимодействие узлов в сети определяется моделью Master – Slave («ведущий – ведомый»).

PROFIBUS-PA – это сетевой интерфейс, физическая среда передачи данных которого соответствует стандарту IEC 61158-2. Может применяться для построения сети, соединяющей исполнительные устройства, датчики и контроллеры, расположенные непосредственно во взрывоопасной зоне.

Верхний уровень (информационно-вычислительный) – состоит из оборудования для визуализации технологических процессов. Для передачи данных на этом уровне используются технологии Industrial Ethernet.

Промышленные сети верхнего уровня

Сети верхнего уровня служат для передачи данных между контроллерами серверами и операторскими рабочими станциями. Иногда в состав таких сетей входят дополнительные узлы: центральный сервер архива, сервер промышленных приложений, инженерная станция и т.д. Но это уже опции.

Какие сети используются на верхнем уровне? В отличие от стандартов полевых шин, здесь особого разнообразия нет. Фактически, большинство сетей верхнего уровня, применяемых в современных АСУ ТП, базируется на стандарте Ethernet (IEEE 802.3) или на его более быстрых вариантах Fast Ethernet и Gigabit Ethernet. При этом, как правило, используется полный стек коммуникационных протоколов TCP/IP. В этом плане сети операторского уровня очень похожи на обычные ЛВС, применяемые в офисных приложениях. Использование единого сетевого стандарта позволяет упростить интеграцию АСУ ТП в общую сеть предприятия, что становится особенно ощутимым при реализации и развертывании систем верхнего уровня типа MES (Manufacturing Execution System). Однако у промышленных сетей верхнего уровня есть своя

специфика, обусловленная условиями промышленного применения. *Типичными требованиями, предъявляемыми к таким сетям, являются:*

1. *Большая пропускная способность и скорость передачи данных.* Объем трафика напрямую зависит от многих факторов: количества архивируемых и визуализируемых технологических параметров, количества серверов и операторских станций, используемых прикладных приложений и т.д.

В отличие от полевых сетей жесткого требования детерминированности здесь нет: строго говоря, неважно, сколько времени займет передача сообщения от одного узла к другому – 100 мс или 700 мс (естественно, это не важно, пока находится в разумных пределах). Главное, чтобы сеть в целом могла справляться с общим объемом трафика за определенное время. Наиболее интенсивный трафик идет по участкам сети, соединяющим серверы и операторские станции (клиенты). Это связано с тем, что на операторской станции технологическая информация обновляется в среднем раз в секунду, причем передаваемых технологических параметров может быть несколько тысяч. Но и тут нет жестких временных ограничений: оператор не заметит, если информация будет обновляться, скажем, каждые полторы секунды вместо положенной одной. В то же время если контроллер (с циклом сканирования в 100 мс) столкнется с 500-миллисекундной задержкой поступления новых данных от датчика, это может привести к некорректной отработке алгоритмов управления.

2. *Отказоустойчивость.* Достигается, как правило, путем резервирования коммуникационного оборудования и линий связи по схеме $2*N$ так, что в случае выхода из строя коммутатора или обрыва канала, система управления способна в кратчайшие сроки (не более 1-3 с) локализовать место отказа, выполнить автоматическую перестройку топологии и перенаправить трафик на резервные маршруты. Далее мы более подробно остановимся на схемах обеспечения резервирования.

3. *Соответствие сетевого оборудования промышленным условиям эксплуатации.* Под этим подразумеваются такие немаловажные технические меры, как: защита сетевого оборудования от пыли и влаги; расширенный температурный диапазон эксплуатации; увеличенный цикл жизни; возможность удобного монтажа на DIN-рейку; низковольтное питание с возможностью резервирования; прочные и износостойкие разъемы и коннекторы. По функционалу промышленное сетевое оборудование практически не отличается от офисных аналогов, однако, ввиду специального исполнения, стоит несколько дороже.

Промышленная сеть Industrial Ethernet обеспечивает эффективную связь верхнего уровня и базируется на международных стандартах (IEEE 802.3/IEEE 802.3u).

На Западе коммуникационная технология построения единой информационной сети, объединяющей интеллектуальные контроллеры, датчики и исполнительные механизмы, определяется одним *термином fieldbus* (полевая шина, или промышленная сеть).

Fieldbus - это, во-первых, некий физический способ объединения устройств (например, RS485) и, во-вторых, программно-логический протокол их взаимодействия.

Корнем термина *fieldbus* является слово *field* - область, сфера, место приложения. Промышленные сети (*fieldbuses*) применяются на уровне устройств, обслуживающих реальный процесс производства и переработки материалов. Выход в системы представления (визуализации) данных, коммерческие и административные системы организуется, как правило, через стандартные офисные сети типа Ethernet через протокол TCP/IP.

Переход на *fieldbus*-технологию обещает улучшение качества, снижение затрат и повышение эффективности конечной системы. Эти обещания основаны на том факте, что принимаемая или передаваемая информация кодируется в цифровом виде. Каждое устройство может выполнять функции управления, обслуживания и диагностики. В частности, оно может сообщать о возникающих ошибках и обеспечивать функции самонастройки. Это существенно увеличивает эффективность системы в целом и снижает затраты по ее сопровождению. Серьезный ценовой выигрыш получается за счет проводников и монтажных работ: аналоговая технология связи требует, чтобы каждое устройство имело собственный набор проводов и собственную точку соединения. *Fieldbus* устраняет эту необходимость, так как использует всего одну витую пару проводников для объединения всех активных (контроллеры) и пассивных (датчики) устройств.

В число узлов сети входят компьютеры, выполняющие функции NC и SCADA. Это могут быть обычные персональные компьютеры и специализированные программируемые логические контроллеры, называемые промышленными компьютерами. *Специфика ПЛК - наличие нескольких аналоговых и цифровых портов, встроенный интерпретатор специализированного языка, детерминированные задержки при обработке сигналов, требующих незамедлительного реагирования.* Однако ПЛК, в отличие от IBM PC, рассчитаны на решение ограниченного круга задач в силу специализированности программного обеспечения.

В целом промышленные компьютеры имеют следующие особенности: 1) работа в режиме реального времени (для промышленных персональных компьютеров разработаны такие ОС реального времени, как OS-9, QNX, VRTX и др.); 2) конструкция, приспособленная для работы ЭВМ в цеховых условиях (повышенные вибрации, электромагнитные помехи, запыленность, перепады температур, иногда взрывоопасность); 3) возможность встраивания дополнительных блоков управляющей, регистрирующей, сопрягающей аппаратуры, что помимо специальных конструкторских решений обеспечивается использованием стандартных шин и увеличением числа плат расширения; 4) автоматический перезапуск компьютера в случае "зависания" программы; 5) повышенные требования к надежности функционирования. В значительной мере специализация промышленных компьютеров определяется программным обеспечением. Конструктивно промышленный компьютер представляет собой корзину (крейт) с несколькими гнездами (слотами) для

встраиваемых плат. Возможно использование мостов между крейтами. В качестве стандартных шин в настоящее время преимущественно используются шины VME-bus (Versabus Module Europe-bus) и PCI (Peripheral Component Interconnect).

Программная связь с аппаратурой нижнего уровня (датчиками, исполнительными устройствами) происходит через драйверы. Межпрограммные связи реализуются через интерфейсы, подобные OLE. Для упрощения создания систем разработан стандарт OPC (OLE for Process Control). Обычными для промышленных сетей являются предельные расстояния между узлами (датчиками, исполнительными устройствами и контроллерами) в сотни метров, размеры сообщений - до одного килобайта (в сжатой форме). Опрос датчиков периодический. *Важное требование к промышленной сети - обеспечение работы в реальном масштабе времени, поэтому для АСУТП сети типа Ethernet не подходят, поскольку в них не гарантируется ограничение задержек* свержу

Существуют *три основных режима обмена данными*, эффективность использования которых зависит от конкретной задачи.

- *Режим «Ведущий ведомый».* В этом простейшем режиме один из узлов ПС является ведущим устройством, которое последовательно опрашивает подчиненные узлы. В зависимости от содержания запроса ведомый узел либо выполняет полученную команду, либо передает ведущему текущие данные с подключенных оконечных устройств. Типичным примером ЦПС, построенной на таком принципе, являются сети PROFIBUS. Как правило, роли ведущего и ведомого закрепляются жестко и не меняются в процессе функционирования сети.

- *Режим «Клиент сервер».* Данный режим имеет много общего с предыдущим и используется в системах с гибким распределением функций. Узел клиент запрашивает данные, а узел сервер их предоставляет. При этом клиент может запрашивать несколько узлов, а сервер – иметь несколько клиентов. Также функции клиента и сервера могут совмещаться на одном узле. Примером может послужить ПС Foundation Fieldbus.

- *Режим «Подписка».* В этом режиме узел, нуждающийся в регулярном поступлении какой либо информации, подписывается на её получение от другого узла, после чего получает регулярные рассылки данных без дополнительных запросов. Режим имеет два варианта: в первом случае данные передаются циклически с определенным интервалом вне зависимости от динамики информации; во втором случае данные передаются только в случае их изменения. Данный режим также используется в сетях Foundation Fieldbus.

Одним из основных критериев оценки систем АСУ ТП является надежность.

- *По надежности цифровой метод передачи* данных намного превосходит аналоговый. Передача в цифровом виде малочувствительна к помехам и гарантирует доставку информации благодаря встроенным в протоколы ПС механизмам контрольных сумм, квитирования и повтора искаженных пакетов данных.

- Надежность функционирования систем АСУ ТП на базе ПС с интеллектуальными узлами значительно выше, чем в традиционных структурах, так как выход из строя одного узла не влияет либо влияет незначительно на отработку технологических алгоритмов в остальных узлах. Важно также отметить, что разумное распределение управляющих функций значительно снижает нагрузку на центральную управляющую ЭВМ, что также способствует повышению надежности системы в целом.

- Важной проблемой является защита ПС от повреждения кабельной сети, особенно в том случае, если его топология имеет вид шины. Для критически важных технологических участков эта задача должна решаться дублированием линий связи или наличием нескольких альтернативных путей передачи информации. Системы АСУ ТП редко делаются раз и навсегда; как правило, их состав и структура подвержены коррекции в силу изменяющихся требований производства. Поэтому важными критериями оценки закладываемых в проект решений являются гибкость и модифицируемость комплекса. По этим показателям ПС, несомненно, намного превосходит традиционную централизованную схему: добавление или удаление отдельных точек ввода вывода и даже целых узлов требует минимальных монтажных работ и может производиться без остановки системы автоматизации. Переконфигурация системы осуществляется на уровне программного обеспечения и также занимает минимальное время. Другая проблема, связанная с развитием системы вопрос совместимости протоколов, заложенных в интеллектуальные оконечные устройства, стоял очень остро. Сейчас практически все широко распространенные решения в этой сфере стандартизованы, что позволяет разработчикам АСУ ТП выбирать оборудование из широкого спектра поставщиков, оптимизируя стоимость проекта и его технологическую структуру.

Пример промышленной сети - Profibus, скорость 12 Мбод, пакеты до 247 байт, расстояния до 1,5 км. Имеет выход в сеть АСУП, в качестве которой чаще всего используется сеть Ethernet. Наряду с Profibus, используют и другие протоколы, например, популярен протокол CAN. На физическом уровне в Fieldbus часто используют интерфейс RS-485 - витая пара, длина сегмента до 1,2 км, на сегменте может быть до 32 узлов

CAN, LON, PROFIBUS, Interbus-S, FIP, FF, DeviceNET, SDS, ASI, HART, ControlNet и несколько десятков протоколов еще - это сегодняшняя ситуация на рынке промышленных сетей. Каждая из них имеет свои особенности и области применения. На этом фоне отсутствует единый международный стандарт промышленной сети. Это приводит к тому, что каждая технология развивается самостоятельно в состоянии неизбежной конкуренции. Ясно, что со временем определится ведущая, например, пятерка технологий, вокруг которой будет сосредоточено основное внимание пользователей и бизнес независимых производителей. Таким центром кристаллизации де-факто можно считать сегодня европейский стандарт EN50170. Со стороны Европейского комитета по стандартизации CENELEC поступили предложения по расширению EN50170 за счет промышленных сетей Foundation Fieldbus и ControlNet. Если такое

предложение будет принято, EN50170 превратится реально в международный стандарт, каждая отдельная часть которого будет определять отдельную fieldbus-технологию.

ASI

Первые продукты, работающие по вышли на рынок в 1993 году. Сегодня эта технология поддерживается рядом известных фирм: IFM, Limberg, Siemens, Pepperl+Fuchs, Allen-Bradley и др.

Основная задача этой сети - связать в единую информационную структуру устройства самого нижнего уровня автоматизируемого процесса (датчики и разнообразные исполнительные механизмы) с системой контроллеров. Это следует из названия: Actuator Sensor Interface (ASI).

ASI-интерфейс позволяет через свои коммуникационные линии передавать не только данные, но и запрашивать датчики. Здесь используется принцип последовательной передачи на базовой частоте. Информационный сигнал модулируется на питающую частоту.

Позволяет полностью исключить из АСУ ТП аналоговые линии связи, кроссировочные шкафы и другое вспомогательное оборудование. Максимальное время цикла опроса составляет 5 10 мс, то есть сравнимо с циклом отработки программы в контроллере. Благодаря этому сети на базе AS интерфейса активно применяются в распределенных АСУ ТП реального времени, например в системах управления конвейерными производствами. Первоначально AS интерфейс был ориентирован на работу исключительно с бинарными данными, поэтому длина информационной посылки рекордно малая — всего 4 бита. Тем не менее новая редакция спецификации AS интерфейса позволяет подключать к сети аналоговые датчики и поворотные шифраторы. Максимальное количество узлов равно 62, максимальная длина с использованием повторителей — 300 м. Данные и питающее напряжение передаются по одной паре проводов.

В качестве физической среды используется специальный неэкранированный двухпроводный кабель с трапецевидным профилем. Этот кабель позволяет подключать датчики, устанавливаемые на подвижных частях механизмов. Топологией ASI-сети может быть шина, звезда, кольцо или дерево с циклом опроса 31 узла за 5 мс. Максимальный объем данных с одного ASI-узла - 4 бит.

Практика построения промышленных сетей

Описывается структура решений для нижнего уровня АСУ ТП на базе AS интерфейса (AS i) — универсальной, экономичной и интеллектуальной сети промышленного применения, ориентированной на непосредственное подключение датчиков и исполнительных механизмов к общей информационно управляющей сети предприятия на примере изделий фирмы Pepperl+Fuchs.

Основные характеристики AS-интерфейса

Согласно наиболее распространённой спецификации 2.0 промышленная сеть на базе AS интерфейса характеризуется следующими параметрами:

- топология — произвольная («шина», «звезда», «дерево», «кольцо»);
- число ведущих устройств (master) — 1;
- число ведомых устройств (slave) — до 31;
- максимальное количество точек ввода вывода, подключенных к ведомым устройствам и обслуживаемых одним master устройством, — 124 входа плюс 124 выхода;
- метод доступа — последовательный опрос;
- установка адресов устройств — автоматическая или ручным сервисным прибором;
- кабель — неэкранированный двух проводной с сечением $2 \times 1,5 \text{ мм}^2$ или специальный плоский;
- максимальная суммарная протяженность линий связи сегмента сети, обслуживаемого одним ведущим устройством, — 300 м (с использованием повторителей);
- длительность цикла опроса ведомых устройств — не более 5 мс;
- электропитание напряжением 30 В

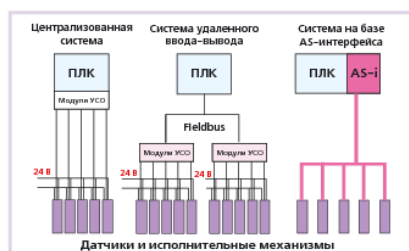


Рис. 2. Эволюция кабельной системы



Рис. 3. Экономическая эффективность применения AS-интерфейса

Характеристики:

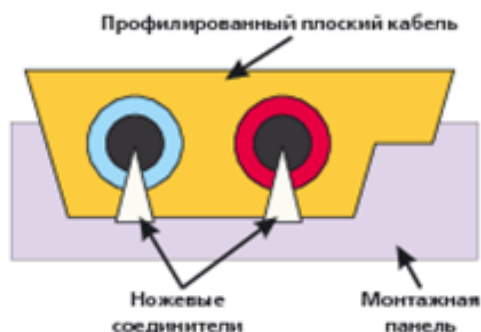
- минимизация расходов на кабельную систему (рис. 2) в силу минимизации или полного исключения (для интеллектуальных датчиков) линий с аналоговыми сигналами, использования недорогого двухпроводного кабеля между ведущим и ведомыми устройствами, исключения отдельных кабелей электропитания оконечных устройств (датчиков и исполнительных механизмов);
- экономия вспомогательного оборудования (клемм, кабельных вводов, шкафов и т.д.);
- значительная экономия финансовых и людских ресурсов при проведении монтажных работ;
- возможность подключения как интеллектуальных, так и обыкновенных оконечных устройств;
- чрезвычайно малое время цикла опроса (5 мс), позволяющее управлять оборудованием в реальном времени;

- высокая степень защищенности обмена данными между узлами;
- ориентация на самый нижний уровень автоматизации;
- большой выбор ведомых устройств для установки в любых условиях;
- источник электропитания;
- ведомые устройства для подключения датчиков и исполнительных механизмов;

• наличие широкой номенклатуры аппаратных средств для интеграции сетей AS интерфейса в существующие структуры АСУ ТП на любом уровне.

Построение промышленной сети на базе изделий, отвечающих требованиям спецификации AS интерфейса версии 2.1, позволяет расширить функциональные возможности системы:

- число ведомых устройств увеличивается до 62;
- максимальное количество точек ввода вывода, подключенных к одному сегменту, увеличивается до 248 входов плюс 186 выходов;



- появляется возможность передачи данных аналоговых датчиков (за несколько циклов опроса);
- расширяются возможности диагностики отказов оборудования и ошибок связи;
- становится возможной визуальная индикация отказа непосредственно на ведомом устройстве путем использования светодиода.

Применение master устройства с двумя AS интерфейсами дает возможность контролировать почти 1000 точек ввода вывода, а объединение двух и более таких устройств сетью верхнего уровня позволяет охватить сетью AS интерфейса сколь угодно сложный технологический участок.

Важно отметить, что новая версия спецификации обратно совместима с изначальной версией 2.0, то есть сети, созданные на основе «старой» спецификации, могут расширяться «новыми» узлами и «новые» master узлы могут взаимодействовать со «старыми» slave устройствами.

Основные компоненты промышленной сети на базе AS интерфейса

Для развертывания сегмента AS сети необходимо следующее оборудование:

- кабель — специальный профилированный или обычный двухпроводной сечением $2 \times 1,5 \text{ мм}^2$;
- ответвители с профилированного кабеля на соединитель M12 (VAZ 2T1 FK V1) и на обычный кабель (VAZ T1 G2 F).
- ведущее устройство

- повторители (при необходимости);
- сервисный прибор для адресации и диагностирования.

Кабельная система

Как показано на рис. 4, кабель AS интерфейса имеет профилированную форму, исключая его неправильный монтаж. Фирма Pepperl+Fuchs поставляет два вида кабеля для систем AS интерфейса: желтый для передачи данных и питающего напряжения (VAZ FK и YE) и черный для подачи дополнительного питания на исполнительные механизмы (VAZ FK и BK). Каждый вид кабеля выпускается в двух исполнениях, отличающихся стойкостью его оболочки к химическим воздействиям. Для химических и нефтегазовых приложений рекомендуется применение кабеля с оболочкой из полиуретана, для приложений с неагрессивной средой – из специального компаунда на основе резины.

В отличие от подавляющего большинства промышленных сетей, AS интерфейс не требует наличия термина торцов ни с одной из сторон кабеля.

Быстрое и надежное подключение узлов к кабелю обеспечивается с помощью специальной конструкции. Каждое устройство AS интерфейса устанавливается на монтажную панель (в разных источниках встречаются и такие названия, как модуль связи и «нижний» модуль), в которую предварительно укладывается кабель. В нижней части корпуса монтируемого устройства находятся ножевые контакты, прорезающие кабель и обеспечивающие непосредственный контакт с токоведущими жилами. Несимметричная форма кабеля гарантирует точное попадание контактов в сердечник проводников и абсолютно надежное соединение в течение всего срока эксплуатации. Материал, из которого изготавливается оболочка кабеля, обладает свойством самовосстановления без нарушения герметичности при снятии устройства. Эксплуатация кабеля допускается в диапазоне температур от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$, но монтаж может осуществляться только при температурах выше -25°C , так как при более низких температурах изоляция может быть повреждена в местах изгиба.

Фирма Pepperl+Fuchs предлагает многочисленные средства кабельного монтажа и разводки сетей AS интерфейса. Применение доступных по каталогу Pepperl+Fuchs изделий позволяет осуществлять быстрый и качественный монтаж сетей AS интерфейса даже силами неквалифицированного персонала.

В сетях AS интерфейса по одной паре проводов передается и информационный сигнал, и питание для подключенных оконечных устройств, поэтому требуются специальные источники электропитания. Применение стандартных источников на 30 В постоянного тока невозможно, поскольку они неизбежно «срежут» наложенный информационный сигнал.

Подключение оконечных устройств

В качестве оконечных устройств сети AS интерфейса могут выступать как датчики и исполнительные механизмы со встроенным AS интерфейсом (интеллектуальные устройства), так и обычные оконечные устройства. Первые подключаются к сети напрямую, вторые — посредством модулей ввода вывода (MBV). Следует отметить, что в первом случае ведомым устройством сети будет

являться само оконечное устройство, а во втором — MBV. Это важно помнить, особенно на этапе планирования сети, так как к одному сегменту сети AS интерфейса можно подключить меньше интеллектуальных оконечных устройств, но возможности информационного обмена с ними больше.

Подключение обычных датчиков и исполнительных механизмов осуществляется посредством MBV, подразделяемых как по типам подключаемых устройств, так и по способу монтажа и области применения. Все модули имеют гнездо установки адреса AS интерфейса, благодаря чему переадресация может быть выполнена в любой момент: до начала монтажных работ, в процессе их осуществления и после ввода системы в эксплуатацию.

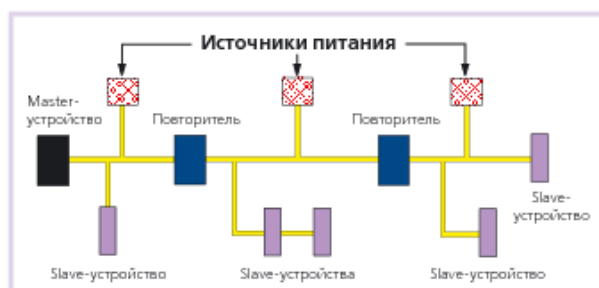


Рис. 5. Топология сети AS-интерфейса с двумя повторителями

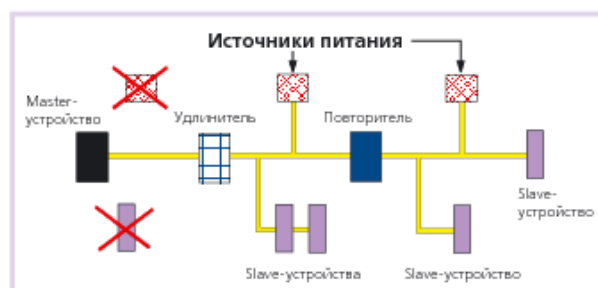


Рис. 6. Топология сети AS-интерфейса с повторителем и удлинителем



Рис. 7. Внешний вид модуля серии KF



Рис. 8. Внешний вид модуля VAA-4E



Рис. 9. Внешний вид модуля серии G2



Рис. 10. Внешний вид модуля серии G4



Рис. 11. Внешний вид модуля серии G5



Рис. 12. Внешний вид модулей серии G6

Список литературы

1. Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебное пособие для вузов./В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. –СПб., Питер, 2020.

2. Аппаратные и программные средства систем управления. Промышленные сети и контроллеры. /В. Кангин, В. Козлов. Бином. Лаборатория знаний, 2020
3. ГОСТ Р МЭК 870–5-1-95 Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 1. Форматы передаваемых кадров
4. ГОСТ Р МЭК 870-5-2-95 Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 2. Процедуры в каналах передачи
5. ГОСТ Р МЭК 870-5-3-95 Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 3. Общая структура данных пользователя
6. ГОСТ Р МЭК 870-5-4-96 Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 4. Определение и кодирование элементов пользовательской информации
7. ГОСТ Р МЭК 870-5-5-96 Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 5. Основные прикладные функции
8. ГОСТ Р 51840-2001 Программируемые контроллеры. Общие положения и функциональные характеристики.

III Типовые темы курсовой работы

Тема 1

Дана SCADA система наблюдения, приоритетная передача голоса и данных с использованием PCM & DXC

Особенности

- Обеспечение надежного соединения для приложений SCADA, с различной шириной полосы канала и с защищенной передачей данных
- Поддержка большого количества карт для подключения клиентов, с электрическими или оптическими интерфейсами E1, FE, FXS, FXO, 2/4W E&M, magneto, hotline, co-directional 64K, V.35, V.24, RS232, RS422, RS485, SHDSL на клиентской стороне
- Поддержка 1+1 protection резервирования 1+1 для карт с интерфейсами E1/STM-1/STM-4/ и карт PSU/DXC. Поддержка резервирования 1+1 для оптической линии

- Поддержка замены трибутарных карт в рабочем режиме (hot-swappable)
- Увеличение полосы пропускания на уровне доступа до STM-4
- Управление, мониторинг служб и функции оповещения посредством SNMP

Используемое оборудование:

- Мультисервисный узел доступа:

Основные платы > RC3000-15/6

SDH карта агрегации > RC3000-15-STM4/STM1

Голосовая трибутарная карта > RC3000-15-32FXO/FXS, RC3000-15-16E&M, RC3000-15-12MT

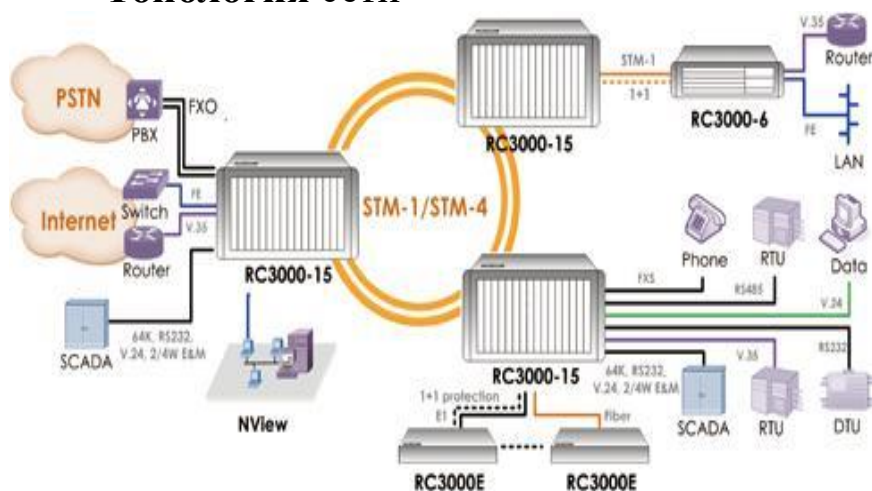
Трибутарная карта для сервисов с низкой скоростью передачи трафика > RC3000-15-8RS485, RC3000-15-16RS232/8RS232H,

RC3000-15-8V24/8V24H, RC3000-15-16C64K

Трибутарная карта для сервисов с повышенной скоростью > RC3000-15-8V35, RC3000-15-8ETH/8ETHP

- Удаленный PCM Mux > RC3000E

Топология сети



Тема 2

Дана промышленная сеть с подключением в жестких условиях окружающей среды

Особенности

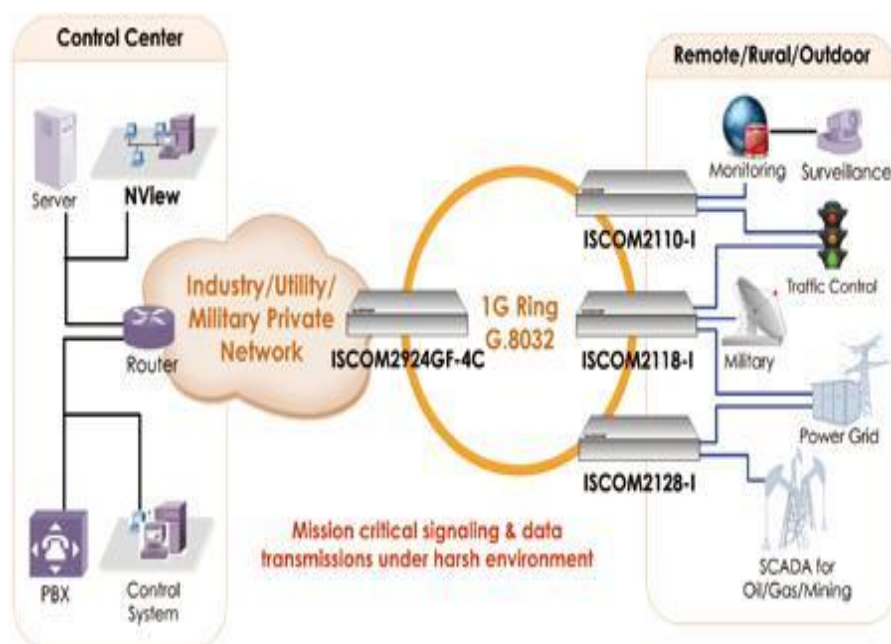
- Использование промышленных коммутаторов для предоставления Carrier Ethernet решений
- Идеальное решение для установки на промышленных предприятиях, сетях видеонаблюдения, транспорте и энергетике, жилом секторе, особо важных / открытых объектах. Соответствуют

требованиям для производств, военных объектов, транспортных ведомств

- Предоставление QoS, стандартных OAM & CFM в соответствии со стандартами расширенной сетевой безопасности и надежного соединения Fast & Gigabit Ethernet в жестких внешних условиях
- Соответствует стандартам IEC61000-4-5:2005 (устойчивость к ударам молнии)
- Соответствует стандартам IP-40 (пыленепроницаемость) dust-proof standard
- Соответствует стандартам IEC61850-3 and IEEE1613 (сертификация КЕМА)
- Диапазон рабочих температур: -40~85 °C
- Диапазон рабочей влажности для рабочего состояния: 5-95% (неконденсат)
- Управление, мониторинг служб и функции оповещения посредством SNMP

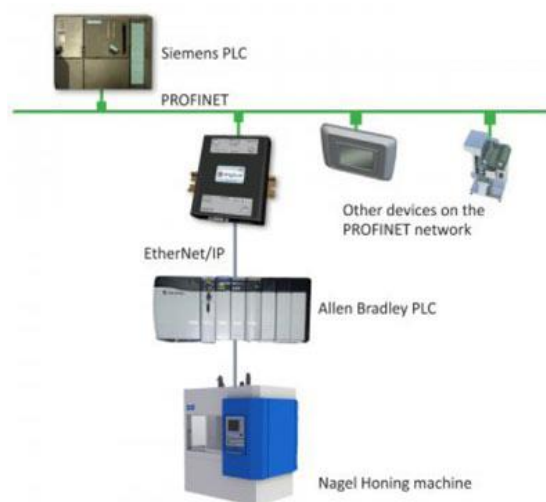
Используемое оборудование

- Интеллектуальный коммутатор агрегации > ISCOM2924GF-4C
- Промышленный коммутатор Carrier Ethernet > ISCOM2110-I, ISCOM2118-I and ISCOM2128-I



Тема 3

Шлюзы Anybus X позволяют ПЛК компании Nagel's Allen Bradley осуществлять обмен информацией в любой промышленной сети. В приведенном примере используется X-шлюз Адаптера ведомого устройства между оборудованием, работающем по протоколу EtherNet/IP, в верхней части стойки и оборудованием работающем по протоколу PROFINET, в нижней части стойки.



Тема 4.

Структура промышленной шины PROFIBUS типовой цеховой системы автоматизации дана на рис.

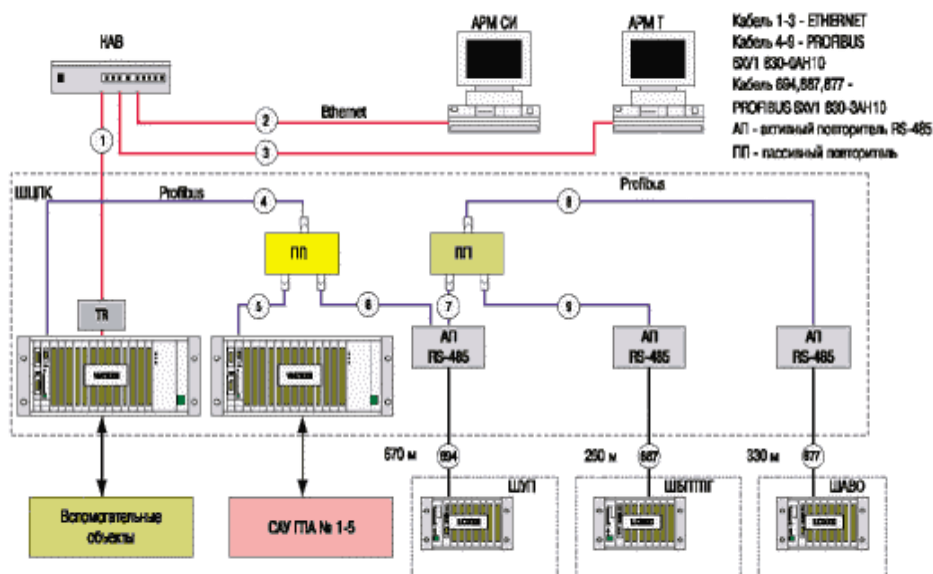


Рис.1 Структура кабельных связей промышленной сети

В представленной модели применяются в качестве узлов шины PROFIBUS промышленные контроллеры типа VME-9000, IUC-9000, SMART производства фирмы PEP Modular Computers.

Технические характеристики шины PROFIBUS согласно рис. 1:

- диапазон рабочих температур -40°C $+55^{\circ}\text{C}$;
- количество узлов 5 (расширяется до 31);
- количество активных повторителей (АП) 3;
- сегментированная шина типа "линия" и "звезда";
- длина сегментов 670, 260, 330 метров;
- физический интерфейс PROFIBUS реализован на витой паре с использованием АП типа RS-485 (6ES7 972-0AA00-0XA0) фирмы Siemens;
- скорость передачи 187,5 Кбод;
- протокол обмена FMS;
- общее количество переменных 1005;
- цикл обмена в прикладных задачах ISaGRAF 250 мс.

Особенностью данной архитектуры является использование в сети PROFIBUS многомастерного режима.

Тема 5.

В проекте системы контроля и управления компрессорной станции (СКУ КС) газопровода реализован оптический вариант PROFIBUS в соответствии с нормами германской организации, курирующей развитие стандарта PROFIBUS, PNO (Profibus Nutzer Organisation). Особенность данного решения продиктована широкой распределенностью объектов автоматизации, необходимостью повышения надежности трактов передачи данных с использованием современных технологий монтажа оптического оборудования. На рис. 2 представлена структурная схема оптического варианта PROFIBUS.

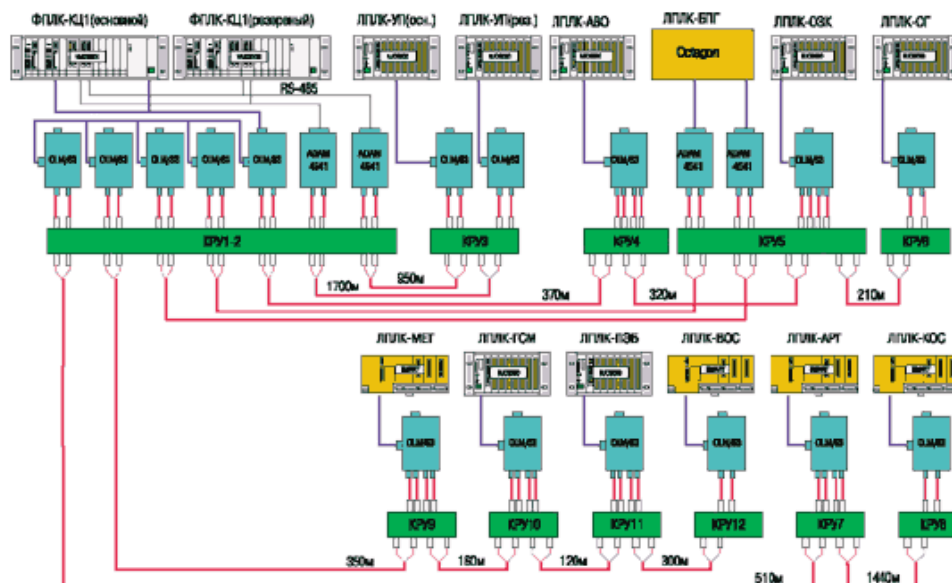


Рис. Структура локальной оптоволоконной сети PROFIBUS

Технические данные шины PROFIBUS согласно рис. :

- диапазон рабочих температур -20°C - $+55^{\circ}\text{C}$;
- количество узлов 14;
- количество оптических преобразователей (OLM) 14;
- сегментированная шина типа "линия" и "звезда";
- количество сегментов 7;
- физический интерфейс - оптический PROFIBUS;
- скорость передачи 500 Кбод;
- протокол обмена FMS;
- общее количество переменных 2000;
- цикл обмена в прикладных задачах инструментальной системы ISaGRAF 250 мс;
- режим обмена одномастерный с резервированием.

Особенностью данной архитектуры является реализация древовидной оптической сети на базе топологии типа "линия" и "звезда". Наряду со стандартными оптическими преобразователями типа OLM/S3, OLM/S4 фирмы Siemens в оптической сети используются оптические адаптеры типа ADAM4541 для перехода с физического интерфейса RS-485 на оптический канал и обратно.

Тема 6.

На рис. представлена структурная схема оптической реализации PROFIBUS.

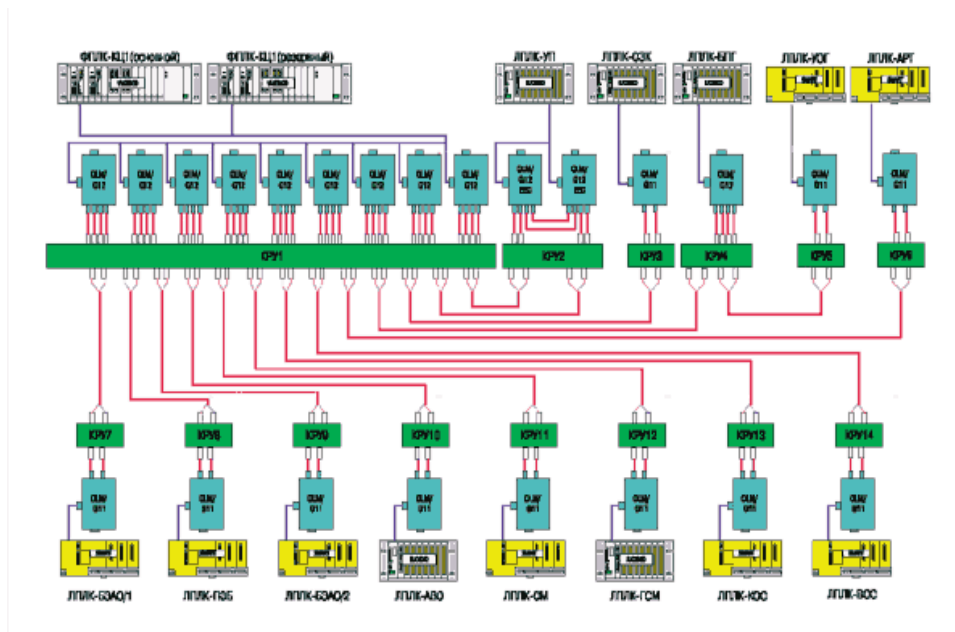


Рис. Структура локальной оптоволоконной сети PROFIBUS

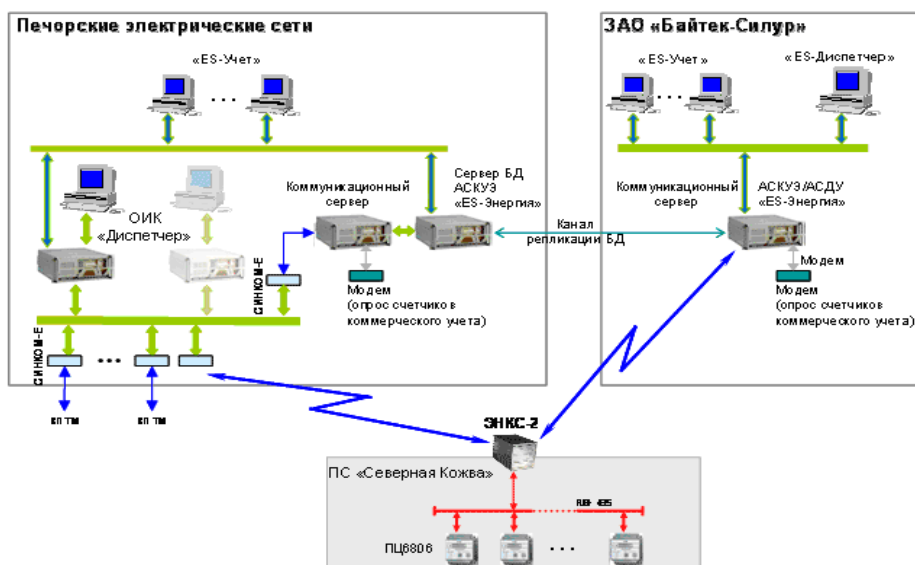
Технические данные шины PROFIBUS:

- диапазон рабочих температур $-20^{\circ}\text{C} + 55^{\circ}\text{C}$;
- количество узлов 15;
- количество оптических преобразователей (ОЛМ) 23;
- сегментированная шина типа "точка-точка" и "звезда";
- количество сегментов 12;
- физический интерфейс - оптический PROFIBUS;
- скорость передачи 500 Кбод;
- протокол обмена FMS;
- общее количество переменных 2000;
- цикл обмена в прикладных задачах ISaGRAF 250 мс;
- режим обмена одномастерный с резервированием.

В данной конфигурации оптической сети принята радиальная структура связей, увеличено количество сегментов и оптических преобразователей по сравнению с предыдущей структурой, однако это позволило увеличить надежность функционирования контроллеров за счет исключения последовательной линейной структуры

Тема 7

Построение автоматизированных систем управления и учета на базе цифровых измерительных преобразователей ПЦ6806 с реализацией протокола обмена МЭК 870-5-101



Программно-аппаратный комплекс сбора данных на подстанции, предназначенный для передачи данных в АСДУ и АСКУЭ, реализован с использованием цифровых измерительных преобразователей ПЦ6806 и устройства сбора данных ЭНКС-2.

Преобразователи ПЦ6806 установлены на все присоединения 110кВ, 6кВ и собственных нужд подстанции и выполняют функции ТИ, ТУ, ТС, а также и счетчиков активной/реактивной энергии. В объем телеинформации входит стандартный набор параметров электрической сети, контроль положения выключателей, состояние устройств релейной защиты и вызовы центральной аварийной/предупредительной сигнализации. Учет электроэнергии организован с целью автоматизации расчета баланса по 6кВ и учета потерь в трансформаторах.

Устройство сбора данных ЭНКС-2 опрашивает ПЦ6806, объединяемых с помощью промышленной сети RS-485, и обеспечивает передачу данных по двум направлениям: диспетчерский пункт электрических сетей и отдел главного энергетика с использованием телемеханического протокола согласно МЭК 870-5-101.

Для реализации телеуправления ЭНКС-2 принимает от верхнего уровня команду ТУ с подтверждением и ретранслирует ее на определенный ПЦ6806 с последующим контролем прохождения команды. При этом возможность телеуправления предусмотрена только для диспетчерского пункта предприятия электрических сетей.

Подстанция находится рядом с нефтяным месторождением и обеспечивает электроснабжение производственных нужд месторождения.

В ходе реализации проекта был решен вопрос «последней мили» для организации каналов передачи информации между ЭНКС-2 и верхним уровнем.

Для организации каналов связи использована и доукомплектована существующая корпоративная сеть связи и передачи данных, в основе которой маршрутизаторы и коммутаторы фирмы CISCO Systems, а так же специализированные сервера асинхронного доступа.

Корпоративная сеть связи обеспечивает «прозрачные» каналы взаимодействия по интерфейсу RS-232C через сеть TCP/IP между пунктами сбора информации и ЭНКС-2.

Обмен данными между пунктами сбора информации и ЭНКС-2 ведется на скорости 9600 бит/с. Параллельно с передачей данных решен вопрос организации каналов диспетчерской связи с ПС.

Диспетчерский пункт электрических сетей оборудован ОИК «Диспетчер», а отдел главного энергетика программным комплексом «ES-Энергия».

В ходе обмена информацией ЭНКС-2 синхронизирует собственные часы от ОИК «Диспетчер», передает телемеханическую информацию и показания счетчиков электроэнергии с метками времени.

При реализации протокола обмена на базе стандарта ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с учетом особенностей ПЦ6806, специалистами Инженерного центра «Энергосервис» было использовано несколько подходов:

- строгое использование идентификаторов блоков данных, предусмотряемых стандартом МЭК 870-5-101,
- применение идентификаторов блоков данных,
- применение идентификаторов блоков данных, оптимизированных под использование ПЦ6806, что связано с возможностью передачи большого объема данных с единой меткой времени.

При этом обмен данными с ОИК «Диспетчер» производится строго в рамках стандарта МЭК 870-5-101.

Использование протокола МЭК 870-5-101 позволяет обеспечить надежный и удобный обмен информацией в системах АСДУ и

АСКУЭ, а в перспективе позволит обеспечивать сбор информации с цифровых устройств релейной защиты и систем регистрации аварийных процессов путем оперативного обмена и передачи файлов.

Верхний уровень АСКУЭ электрических сетей и АСКУЭ/АСДУ построен на базе программных комплексов «ЕС-Энергия». Коммуникационный сервер АСКУЭ, установленный в диспетчерском пункте электрических сетей, обеспечивает запрос информации по электропотреблению с помощью сетевого адаптера «СИНКОМ-Е» из ОИК «Диспетчер» и сохраняет ее на сервере баз данных АСКУЭ MS SQL Server 2000. Помимо этого, коммуникационный сервер АСКУЭ обеспечивает сбор информации со счетчиков АЛЬФА по коммутируемым каналам связи с подстанций.

Коммуникационный сервер АСКУЭ/АСДУ выполняет также функции сервера баз данных MS SQL Server 2000, где сохраняется и оперативно пополняется с периодичностью 1 раз в секунду информация по телемеханике и учету электроэнергии. Клиентское приложение «ЕС-Диспетчер» позволяет оперативно наблюдать на мнемосхеме подстанции «Северная Кожва» состояние оборудования и значение электрических параметров сети.