

Электронный конспект лекций

Дисциплина: «Цифровые технические сети и средства связи»

Составитель Сарока В.В.
Кафедра АППиЭ
УО «БГТУ»
e-mail viksar@mail.ru

на основе пособия

Д.Парк, С.Маккей, Э.Райт Передача данных в системах контроля и управления

Лекция 1

Цели

Изучив, вы сможете:

- описать основные принципы действия всех коммуникационных систем;
- описать возникновение и эволюцию систем обмена данными;
- объяснить роль стандартов и протоколов;
- описать уровни обмена данными для модели взаимодействия открытых систем (OSI) уровней обмена данных;
- описать четыре важных физических стандарта;
- объяснить назначение систем контроля и управления;
- описать четыре наиболее важных устройства управления:

распределенная система управления (DCS);
программируемый логический контроллер (PLC);
интеллектуальный измерительный прибор;
ПК.

1.1. Введение

Обмен данными является передачей информации от одной точки к другой. Эта лекция специально посвящена цифровому обмену данными. В данном контексте понятие

«данные» относится к информации, которая представлена последовательностью нулей и единиц; с аналогичным типом данных имеет дело и компьютер. Многие системы обмена информацией работают с аналоговыми данными – примером является телефонная сеть, радио и телевидение. Почти все современные измерительные приборы связаны с передачей цифровых данных.

Для любой системы обмена данными необходимы передатчик, чтобы отправлять данные, приемник, чтобы принимать их, и находящийся между ними канал связи. Каналом связи может быть медный провод, оптоволокно, радио или микроволновое излучение.

Иногда на коротких расстояниях используется параллельная передача данных; под этим подразумевается, что для передачи сигнала требуется несколько проводов. Подобное подключение ограничивается такими устройствами, как локальный принтер. Фактически все современные системы обмена данными используют каналы связи, в которых данные передаются последовательно по одной цепи.

Иногда цифровые данные передаются с помощью системы, которая в основном приспособлена для аналоговых коммуникаций. Например, модем работает, используя поток цифровых данных для модуляции аналогового сигнала, который передается по телефонной линии. На приемном конце другой модем демодулирует этот сигнал и получает исходные цифровые данные. Слово «модем» получается из двух слов – модулятор и демодулятор.

Между передающей и принимающей сторонами должна быть взаимная договоренность о том, как надо декодировать данные. Приемник должен уметь понимать то, что присылает передатчик. Правило, по которому устройства общаются друг с другом, **называется протоколом**.

Еще десять лет назад были определены многие стандарты и протоколы, которые позволяют технологии обмена данными применять в промышленности наиболее эффективно. Конструкторы и пользователи начинают понимать, что интеграция отдельных систем, которые уже находятся в использовании, позволит получить огромные экономические выгоды и увеличить производительность.

1.2. Исторический экскурс

Системы обмена данными появились очень давно (например, французская система семафоров), но их современная форма началась с изобретения телеграфа. Первые системы использовали несколько параллельных проводов, но скоро стало очевидно, что для больших расстояний наиболее экономичным является последовательный способ передачи информации по одной паре проводов.

Первая практическая телеграфная система обычно приписывается Сэмюэлю Морзе (Samuel Morse). На каждом конце канала связи находился оператор, у которого был ключ и слуховой аппарат. Сообщение посылалось в виде закодированных последовательностей «точек» (короткие импульсы) и «тире» (длинные импульсы). Эта кодировка стала называться кодом Морзе, который состоял приблизительно из 40 символов, включая полный алфавит, цифры и некоторые знаки пунктуации. В начале работы передающий оператор обычно отправлял начальную последовательность, которую должен был подтвердить принимающий оператор. После этого отправитель передал-

вал сообщение и ждал окончательного подтверждения. Сигналы могли передаваться в одно время только в одном направлении.

Ручное кодирование и декодирование ограничивало скорость передачи, и вскоре были предприняты попытки автоматизировать этот процесс. Первым достижением было введение телетайпа, в котором точки и тире записывались непосредственно на вращающийся барабан и позже могли быть декодированы оператором.

Следующим шагом было введение машины, которая могла декодировать сигнал и печатать символы с помощью колеса, содержащего шрифт. Хотя эта система сохранялась в течение многих лет, но у нее были проблемы с синхронизацией.

Наиболее важным ограничением кода Морзе является, возможно, использование различного количества элементов для представления разных символов. Это количество может изменяться от одной точки или тире до шести точек и/или тире, что делает невозможным использование кода Морзе в автоматизированной системе. Альтернативный «код» был изобретен в конце 1800-х годов французским инженером-телеграфистом Бодо (Maurice Emile Baudot). Код Бодо стал первым двоичным кодом, символы которого имели одинаковую длину. Каждый символ имел одинаковый размер и состоял из пяти битов. Данный стандарт позволял кодировать 32 (2⁵) символа, в которые входили все буквы алфавита, но без цифр.

Впоследствии Международный союз телекоммуникаций (ITU) адаптировал этот код в качестве стандарта для телеграфных сообщений и ввел функцию «Shift» (переключение регистра), что позволило использовать дополнительный набор из 32 символов. Термин «бод» был создан в честь Бодо и используется для указания скорости, с которой сигнал изменяет свое состояние. Например, скорость 100 бод означает 100 возможных изменений сигнала за одну секунду.

Телеграфная система того времени использовала электромеханические устройства на каждом конце канала связи как для кодирования, так и для декодирования сигнала. Более поздние аппараты предоставляли пользователю возможность кодировать сообщение автономно с помощью перфоленты, а затем уже передавать это сообщение автоматически с помощью считывающего устройства. На принимающей стороне электрическая пишущая машинка печатала полученный текст. Телеграфное сообщение, однако, было почти сразу вытеснено системой факсимильной связи, использующей компьютерные технологии, и более сложными системами кодирования и передачи информации.

Устойчивая эволюция систем обмена данными привела к созданию современных скоростных систем, построенных на здоровом теоретическом и практическом фундаменте, заложенном первопроходцами науки.

1.3. Стандарты

Протоколы являются структурами, используемыми в системах обмена данными для того, чтобы компьютер мог, например, «общаться» с принтером. Обычно разработчики программного и аппаратного обеспечения используют протоколы, которые могут использовать только их устройства. Для того чтобы разрабатывать более универсальные системы контроля и управления, необходима стандартизация протоколов связи.

Стандарты могут развиваться от широко используемого протокола одного производителя (являющегося стандартом de facto) или могут быть специально разработаны организацией, представляющей какую-либо отрасль промышленности. Стандарты

позволяют производителям разрабатывать продукцию, которая может использоваться совместно с уже существующим оборудованием, что упрощает для пользователя интеграцию устройств разных производителей.

1.4. Модель взаимодействия открытых систем (OSI)

Модель OSI, разработанная Международной организацией по стандартизации (ISO), быстро приобретает поддержку в промышленности. Модель OSI сводит все проблемы разработки и обмена данными к нескольким уровням, показанным на рис. 1.1. Стандарт на физический интерфейс, такой как RS-232, хорошо вписывается в «физический уровень», а другие уровни относятся к другим протоколам.

Сообщения или данные обычно посылаются в виде пакетов, которые являются простой последовательностью байтов. Длину пакета, которая обычно фиксирована, определяет протокол. Каждый пакет требует адреса источника и адреса места назначения, чтобы система знала, куда его передавать, и чтобы приемник знал, от кого пришел пакет. Передача пакета начинается с верха стека протокола, с уровня приложения и затем проходит вниз через остальные уровни до тех пор, пока не достигнет физического уровня. Именно тогда пакет пересылается по каналу связи. Смещаясь вниз по стеку, на каждом уровне пакет приобретает дополнительный заголовок, который сообщает нижнему уровню, что делать с пакетом. На принимающем конце пакет перемещается вверх по стеку, и здесь, наоборот, при перемещении он отбрасывает информацию заголовков. Прикладной уровень принимает только данные, переданные прикладным уровнем передающей стороны.

Стрелки между уровнями на рис. 1.1 показывают, что каждый уровень считает пакет как входящий от или идущий к соответствующему уровню на противоположном конце канала связи. Это называется соединением равноправных уровней канала коммуникации, хотя в реальности пакет передается с помощью физического звена.

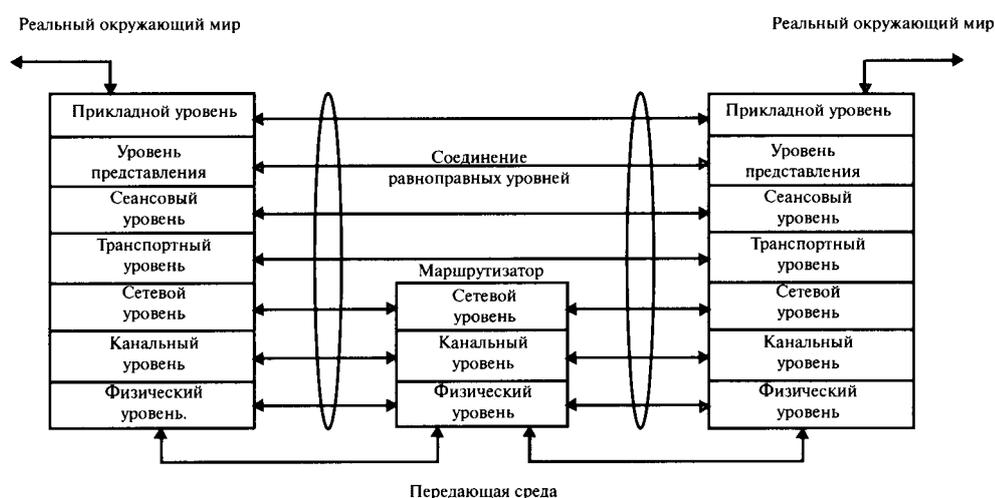


Рис. 1.1. Представление модели OSI

Стек, изображенный посередине, в данном конкретном случае представляющий маршрутизатор, имеет только три нижних уровня, которые реализуют все, что требуется для корректной передачи пакета между устройствами.

Модель OSI полезна в обеспечении универсальной основы для всех коммуникационных систем. Однако она не определяет реальный протокол, который должен использоваться на каждом уровне. Предполагается, что группы производителей в различных отраслях промышленности, сотрудничая, выработают стандарты программного и аппаратного обеспечения, наиболее подходящие именно для их отрасли. Те же, кто ищет единый базис для своих специфических требований к обмену данными, с энтузиазмом воспользовались моделью OSI и используют ее в качестве основы для выработки своих промышленных стандартов, таких как Fieldbus и HART.

Принятие этих стандартов всем рынком было замедлено неуверенностью в широком одобрении любого конкретного стандарта, дополнительной стоимостью внедрения стандарта и беспокойством об адекватной поддержке и подготовке специалистов по эксплуатации систем.

1.5. Протоколы

Как было упомянуто ранее, модель OSI обеспечивает базис, для которого может быть определен любой специфический протокол. Кадр (пакет) может состоять из следующих элементов. Первый байт может быть строкой единиц и нулей, необходимых для синхронизации приемника или для обеспечения флагов, являющихся индикатором начала пакета (для использования приемником). Второй байт может содержать адрес места назначения, указывающий место, куда должно **пойти** сообщение. Третий байт может содержать адрес источника, показывающий, откуда сообщение исходит. Байты посередине сообщения могут быть реальными данными, которые необходимо переслать от передатчика к приемнику. Конечный байт (байты) являются индикаторами конца пакета, который может содержать коды обнаружения ошибки и/или конечные флаги.

Протоколы могут быть как очень простыми (например, протокол на основе кода ASCII), так и очень сложными, которые работают с очень высокими скоростями,



Рис. 1.2. Базовая структура информационного пакета, определяемого протоколом

передавая мегабиты данных в секунду. Не может быть хорошего или плохого протокола – выбор зависит от конкретного применения.

1.6. Физические стандарты

Стандарт интерфейса RS-232

Стандарт интерфейса RS-232C был выпущен в США в 1969 г., чтобы определить электрические и механические параметры интерфейса между терминальным оборудованием (DTE) и аппаратурой передачи данных (DCE), которые использовали последовательный двоичный обмен данными.

При последовательном обмене данными коммуникационная система может включать следующие компоненты:

- DTE – терминал, отправляющий данные, например, компьютер, который является источником данных (обычно передаются последовательно символы, закодированные с использованием подходящего цифрового формата);
- DCE – устройство, действующее как преобразователь данных (например, модем), которое преобразует сигнал в форму, подходящую для канала связи, например в аналоговый сигнал для телефонной линии;
- сам канал связи, например телефонная линия;
- подходящий приемник, такой как модем, также являющийся DCE устройством, которое преобразует аналоговый сигнал снова в форму, подходящую для принимающего терминала;
- терминал приема данных, например принтер, также DTE устройство, которое принимает цифровые импульсы и декодирует их снова в последовательности символов.

Рис. 1.3. Иллюстрирует потоки сигналов через простой канал последовательной передачи данных.

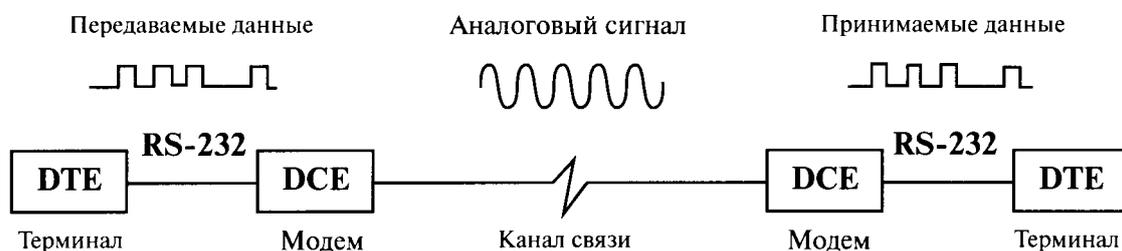


Рис. 1.3. Типичный канал последовательной передачи данных

Стандарт на интерфейс RS-232C описывает взаимодействие терминала (DTE) и модема (DCE) именно при передаче последовательных двоичных чисел. Он предостав-

ляет широкую свободу разработчикам протоколов аппаратного и программного обеспечения. Со временем этот стандарт на интерфейс был приспособлен для работы с множеством другого оборудования, например компьютеры (ПК), принтеры, программируемые контроллеры, программируемые логические контроллеры (PLC), измерительные приборы и т.п. Чтобы различать эти дополнительные применения, самая последняя версия стандарта RS-232E расширила значение акронима DCE от простого «data communication equipment (аппаратура передачи данных)» до обобщенного «data circuit-terminating equipment (оконечное оборудование передачи данных)».

Интерфейс RS-232 имеет ряд присущих ему слабых мест, которые не позволяют использовать его для обмена данными с системами контроля и управления в промышленных условиях, поэтому для преодоления этих ограничений были разработаны другие интерфейсные стандарты RS. Наиболее часто используемыми из них для систем измерения и контроля являются RS-423, RS-422 и RS-485. Более подробно эти стандарты будут описаны в главе 3.

Интерфейсный стандарт RS-423

Интерфейсный стандарт RS-423 является несимметричной системой, аналогичной RS-232, но с увеличенной дальностью, скоростью передачи данных и подключением до 10 приемников к одному линейному формирователю.

Интерфейсный стандарт RS-422

Интерфейсная система RS-422 является симметричной системой с той же дальностью, что и RS-423, но с **увеличенной скоростью передачи данных и подключением до 10 приемников к одному линейному формирователю.**

Интерфейсный стандарт RS-485

RS-485 является симметричной системой с той же дальностью, что и система RS-422, но с увеличенными скоростями передачи данных и подключением до 32 передатчиков и приемников на одну линию.

Стандарт интерфейса RS-485 хорошо подходит для систем контроля и управления, в которых несколько приборов или контроллеров могут подключаться к одной многоточечной сети.

Современные системы контроля и управления

Современные системы контроля и управления получают данные от измерительных приборов и передают контроллеру – обычно это компьютер. Затем контроллер передает данные (или управляющие сигналы) к управляющим устройствам, которые воздействуют на данный процесс.

Интеграция системы обеспечивает быстрый и эффективный обмен данными по каналу связи между различными системами промышленного предприятия.

Главными задачами эффективного управления любого промышленного процесса являются производительность и качество. Управление процессом может быть значительно улучшено путем обеспечения своевременных и точных данных. Отсюда можно вывести резюме – хорошая система контроля и управления может увеличить и качество, и производительность.

Главной целью системы контроля и управления в современной промышленности является следующее:

- **Управление процессом и выдача аварийных сигналов**

Обычно контроль за процессами, такими как температура и поток, производился аналоговыми контроллерами, использующими стандартную токовую петлю 4-20 мА. Стандарт 4-20 мА применен в оборудовании очень широкого круга поставщиков. Обычным является использование в одной управляющей системе оборудования от разных производителей. Автономные контроллеры и измерительные приборы были вытеснены, главным образом, интегрированными системами, такими как распределенные управляющие системы (DCS), которые будут описаны ниже.

- **Управление последовательностью операций, блокировка и выдача сигналов тревоги**

Традиционно это производилось с помощью реле, таймеров и других компонентов, подключенных к панелям управления и пультам управления двигателями. Управление последовательностями операций, блокировка и выдача сигналов тревоги были заменены, главным образом, программируемыми логическими контроллерами (PLC), которые описываются в разделе 1.9.

- **Интерфейс оператора для отображения информации и контроля**

Обычно **обрабатывающие и производящие предприятия контролировались** с местных пультов управления несколькими операторами, каждый из которых отвечал за часть всего процесса. Современные системы управления имеют тенденцию использовать центральную диспетчерскую, обеспечивающую управление всем предприятием. Диспетчерская оборудована рабочими станциями на основе компьютера, которые собирают информацию от всех измерительных приборов и используют ее для графического отображения состояния процесса, для управления процессом, для выдачи сигналов тревоги, для задания необходимой последовательности сигналов управления и для обеспечения блокировок.

- **Управленческая информация**

Управленческая информация традиционно обеспечивалась путем считывания показаний с различных измерительных приборов, самописцев, счетчиков и датчиков-преобразователей и путем измерения параметров технологического процесса. Эти данные были необходимы для управления всей работой предприятия или процесса, а также для обеспечения информации, необходимой правлению предприятия. Теперь сбор данных интегрирован в общую систему управления. Это устраняет необходимость сбора информации и сокращает время, необходимое на сопоставление и использование информации, чтобы устранять узкие места производства. Хорошее управление может обеспечить значительное увеличение производительности.

Способность управляющего оборудования удовлетворить этим требованиям зависела от основных достижений, которые произошли в областях интегральной электроники, микропроцессоров и передачи данных.

Наиболее значительное влияние на управление предприятием произвели следующие четыре типа устройств:

- распределенные управляющие системы (DCS);
- программируемые логические контроллеры (PLC);
- интеллектуальные измерительные приборы (SI);
- персональные компьютеры.

18. Распределенные системы управления (DCS)

DCS являются системами на основе аппаратного и программного обеспечения, предназначенными для управления процессами и сбора данных. DCS имеют модульную распределенную, но интегрированную архитектуру, базой которой является магистраль данных. Каждый модуль выполняет свою специализированную задачу, например взаимодействие оператора с аналоговыми значениями или автоматическое цифровое управление. На магистрали данных обычно имеется интерфейсный блок, обеспечивающий удобную связь с остальными устройствами, такими как PLC и контролирующими компьютерными устройствами.

19. Программируемые логические контроллеры (PLC)

PLC были разработаны в конце шестидесятых годов и были предназначены для замены наборов электромагнитных реле, особенно в автомобильной промышленности. Главным образом они использовались для управления последовательностью операций и блокировками с помощью стоек с набором входов и выходов включений/выключений, называемых цифровым вводом/выводом. Они управлялись центральным процессором, использующим первые программы типа многозвенных логических схем. Современные PLC включают аналоговые и цифровые модули ввода/вывода, а также сложные программы, аналогичные DCS, например программы контура пропорционального интегрально-дифференциального регулирования (PID). В настоящее время существуют также скоростные каналы, обеспечивающие связь между PLC, такие как 10 и 100 Мбит/с Ethernet. Типовая схема PLC системы приведена на рис. 1.4.

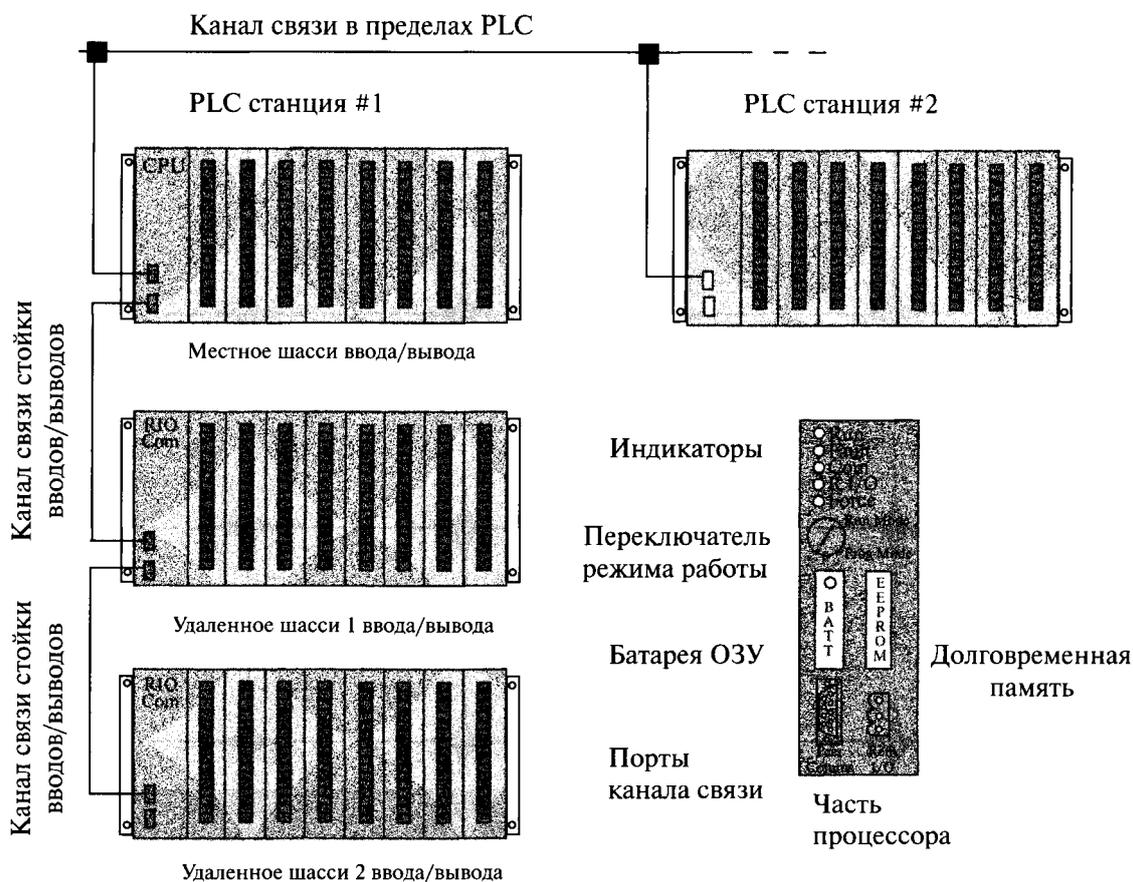


Рис. 1.4. Типовая PLC система

1.10. Влияние микропроцессора

Микропроцессор оказал огромное влияние на системы контроля и управления. Исторически любой измерительный прибор имел одну специализированную функцию. Контроллеры были локализованы и, хотя обычно были реализованы на основе компьютера, были разработаны на выполнение какой-либо специальной задачи.

Со временем стало очевидно, что микропроцессор, будучи многоцелевым устройством, может заменить специализированные локальные контроллеры. Централизованные микропроцессоры, которые могут анализировать и отображать данные, а также вычислять и передавать сигналы управления, способны обеспечить большие эффективность, производительность и качество.

В настоящее время микропроцессор соединяется непосредственно с датчиками, а для контроллера необходима интерфейсная плата. Использование микропроцессоров снабжает аппаратный уровень стека протоколом и в совокупности с соответствующими

щим программным обеспечением организует связь микропроцессоров с другими устройствами системы. Существует огромное количество измерительных приборов с необходимым программным обеспечением; одни разработаны компаниями для специализированного внутреннего применения, а другие предназначены для широкого использования. Интерфейсное аппаратное и программное обеспечение, имеющееся в настоящее время для микропроцессоров, охватывает практически все требования передачи данных для систем измерения и управления.

Поскольку микропроцессор относительно недорог, то по мере появления новых и более быстродействующих приборов, его можно модернизировать, улучшая таким образом систему контроля и управления.

1.11. Интеллектуальные измерительные системы

В 1960-х годах в качестве стандарта для измерительных приборов *de facto* был принят аналоговый интерфейс с токовой петлей 2–20 мА. В результате этого производители измерительного оборудования получили стандартный коммуникационный интерфейс, который они использовали при производстве своих приборов. Пользователи имели большой выбор приборов и датчиков от большого числа производителей, которые могли быть использованы в их системах управления.

С приходом микропроцессоров и развитием цифровых технологий ситуация изменилась. Большинство пользователей оценили достоинства цифровых измерительных приборов. К ним относится большой объем информации, отображаемой на одном приборе, местная и удаленная индикация, надежность, экономичность, автоматическая настройка и возможность диагностирования. В настоящее время наблюдается постепенный переход от аналоговых к цифровым технологиям.

Имеется ряд интеллектуальных цифровых датчиков, поддерживающих обмен цифровых данных и подходящих для самых традиционных применений. К ним относятся датчики для измерения температуры, давления, уровней, потока, массы (веса), плотности и параметров систем питания. Эти новые цифровые датчики стали известны как «интеллектуальные приборы».

К главным особенностям, которые характеризуют интеллектуальный измерительный прибор, относятся:

- интеллектуальные цифровые датчики;
- возможность передачи цифровой информации;
- способность объединения с другими приборами.

Появился также ряд интеллектуальных цифровых устройств, поддерживающих передачу данных, которые можно назвать интеллектуальными исполнительными устройствами. Примерами таких устройств являются различные приводы с регулируемой скоростью, плавные пускатели, защитные реле и коммутационная аппаратура, которые обеспечивают обмен данными.

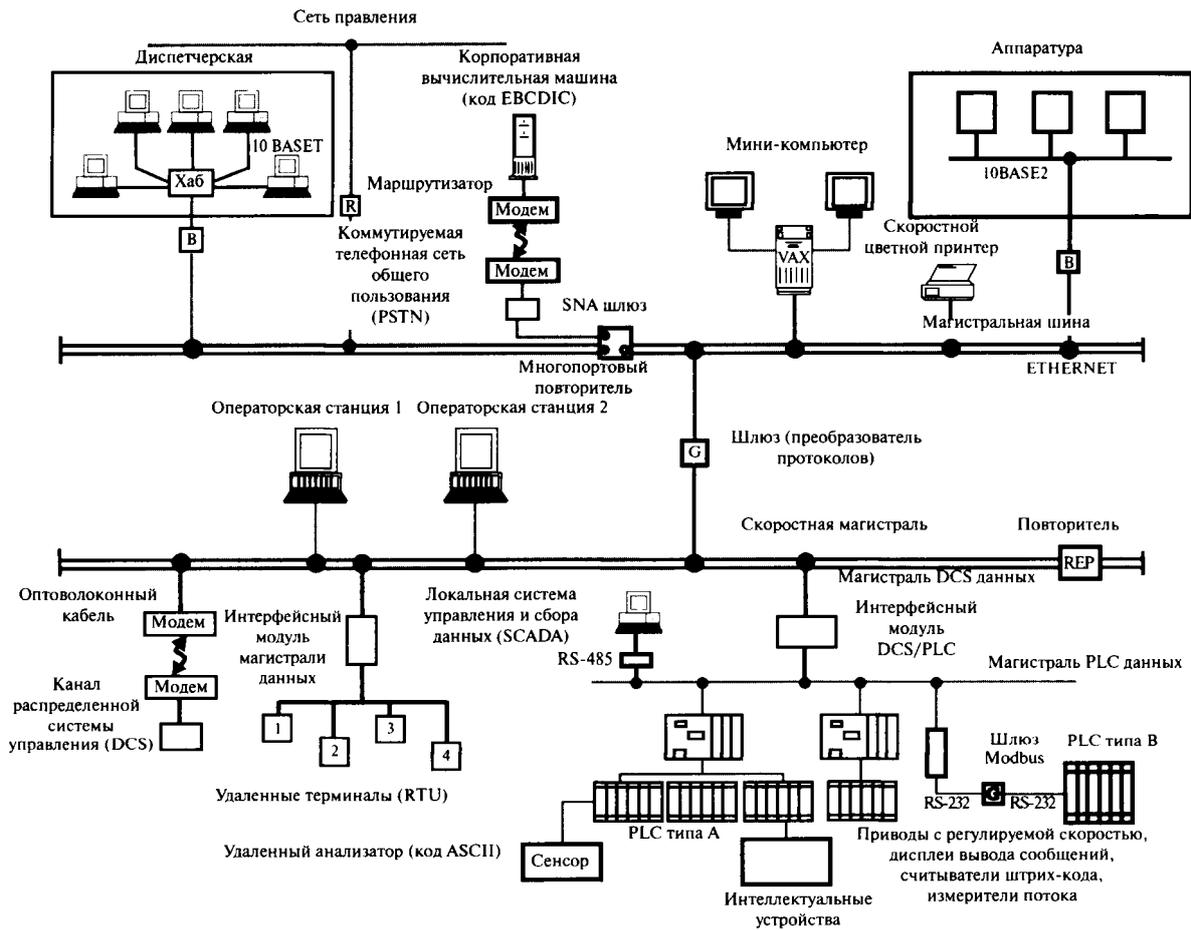


Рис. 1.5 Графическое представление передачи данных

Лекция 2

Основные принципы

Цели

Завершив изучение, вы сможете:

- объяснить основы двоичной системы счисления – биты, байты и символы;
- **описать факторы, влияющие на скорость передачи:**
 - ширина полосы,
 - отношение сигнал/шум,
 - пропускная способность,
 - частота появления ошибок;
- пояснить назначение основных компонентов коммуникационной системы;
- описать три коммуникационных режима;
- описать формат сообщений и обнаружение ошибок в асинхронных системах передачи данных;
- перечислить и пояснить использование наиболее распространенных кодов:
 - бодо,
 - ASCII,
 - EBCDIC,
 - 4-разрядный двоичный код,
 - Код Грея,
 - двоично-десятичный код (BCD);
- описать формат сообщения и принципы обнаружения ошибок в синхронных системах передачи данных;
- описать универсальный асинхронный приемопередатчик.

Бит	1 или 0
Дибит	два бита (10)
Полубайт	четыре бита (1001 или один шестнадцатеричный символ Hex)
Байт	восемь бит или два полубайта (11000001, С1 Hex)
Слово	ширина (разрядность) шины компьютера

Таблица 2.1. Различные наборы битов

2.1. Биты, байты и символы

Компьютер использует двоичную числовую систему, которая состоит только из двух цифр - 0 и 1. Любое число может быть представлено строкой из этих цифр, называемых битами (от выражения «binary digit», означающего «двоичный знак»). Например, десятичное число 5 равно двоичному числу 101.

Поскольку бит может иметь только два значения, то он легко может быть представлен напряжением: напряжение включено – 1, напряжение выключено – 0. Эти значения иногда также называют логической единицей (1) и логическим нулем (0). Типичными значениями напряжений, используемыми в компьютере, являются +5 В, представляющие логическую 1, и 0 В, представляющие логический 0, хотя может быть и наоборот, то есть 0 В для 1 и + 5 В для 0.

Строка из восьми битов называется байт (или октет) и может иметь значения от 0 (0000 0000) до 25510 (1111 1112). Компьютеры обычно производят операции с данными, выраженными одним или несколькими байтами.

Программисты **обычно используют шестнадцатеричную систему записи, поскольку она является наиболее удобной для работы с байтами.** В шестнадцатеричной числовой системе имеются 16 знаков (0 – 9 и А – F), каждый из которых представлен четырьмя битами. Таким образом, байт представляется двумя шестнадцатеричными знаками.

«Символ» является печатаемым знаком. Знаки верхнего и нижнего регистров алфавита, цифры, знаки пунктуации и такие значки, как «*» и «&» все являются символами-

Десятичное число	Шестнадцатеричное число	Двоичное число
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
10	A	1010
11	B	1011
12	C	1100
13	D	1101
14	E	1110
15	F	1111

Таблица 2.2. Шестнадцатеричная таблица

ми. Компьютер должен выражать эти символы таким образом, чтобы они могли быть поняты другими компьютерами и устройствами. Наиболее распространенным кодом, позволяющим сделать это, является Американский стандартный код обмена информацией (ASCII), описанный в разделе 2.8.

2.2. Принципы обмена данными

Каждая система обмена данными требует:

- источника данных (передатчик или линейный формирователь), который преобразует информацию в форму, удобную для передачи по каналу связи;
- приемника, который принимает сигналы и преобразует их обратно в исходные данные;
- канала связи, по которому передаются сигналы. Это может быть медный провод, оптоволокно, радио или спутниковая связь.

Кроме того, передатчик и приемник должны понимать друг друга. Для этого должно быть выработано соглашение по ряду факторов:

- тип используемых сигналов;
- определение логической «единицы» и логического «нуля»;
- коды, представляющие эти символы;
- обеспечение синхронизации между передатчиком и приемником;
- управление потоком данных, чтобы не переполнить приемник;
- способ обнаружения и исправления ошибок, возникающих при передаче.

Физические факторы обычно называют *стандартом интерфейса*; все остальные факторы относятся к протоколу.

Физический способ передачи данных по каналу связи зависит от используемой среды. Например, двоичные значения 0 и 1 могут выражаться присутствием или отсутствием напряжения на медном проводе, двумя звуковыми частотами, генерируемыми и декодируемыми модемом, как это происходит в телефонной системе, или путем модуляции света, как происходит при передаче сигнала по оптоволокну.

2.3. Режимы передачи сигналов

Через любой канал связи, соединяющий два устройства, данные можно передавать с использованием одного из трех режимов:

- симплексного;
- полудуплексного;
- полнодуплексного

Симплексная система – это такая система, которая приспособлена для передачи сообщений только в одном направлении (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Симплексная передача данных

Дуплексная система предназначена для передачи сообщений в обоих направлениях. Полудуплексной считается передача, при которой данные могут передаваться в обоих направлениях, но только в разное время (рис. 2.2).

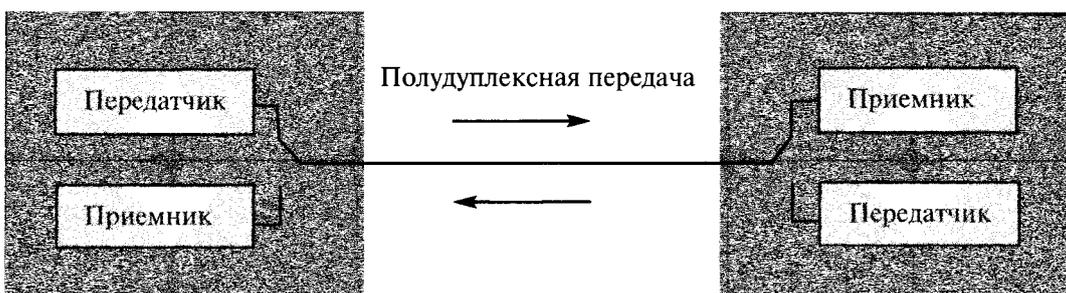


Рис. 2.2. Полудуплексная передача данных

В полнодуплексной системе данные могут передаваться в обоих направлениях одновременно (рис. 2.3).

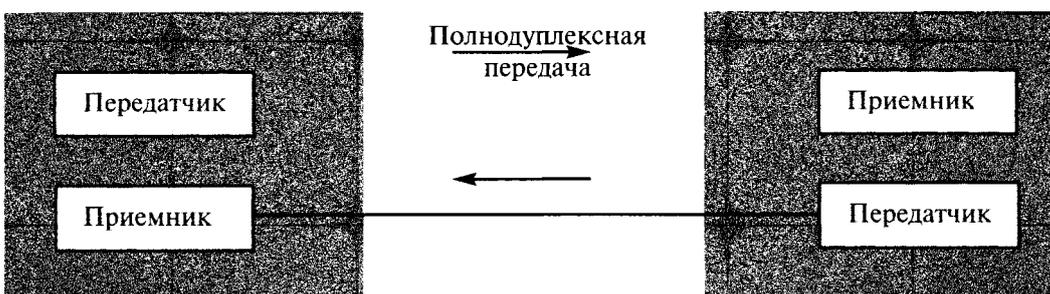


Рис. 2.3. Полнодуплексная передача данных

2.4. Асинхронные системы

Асинхронная система – это система, в которой каждый символ или байт посылается в виде кадра. Приемник не начинает обнаружения данных до тех пор, пока он не примет первый бит, называемый **стартовым битом**. Стартовый бит представляется напряжением, противоположным напряжению паузы, и позволяет приемнику синхронизироваться с передатчиком для получения данных, содержащихся в кадре.

Приемник считывает отдельные биты кадра по мере их поступления, контролируя во времени напряжение логического 0 или логической 1. Тактовая частота должна быть одинаковой на обоих концах линии, чтобы приемник прочитывал каждый бит в тот момент, когда передатчик посылает его. Поскольку тактовые частоты синхронизируются в начале каждого кадра, то при низких скоростях передачи допускаются некоторые отклонения. По мере увеличения скорости передачи отклонения должны уменьшаться, а при высоких скоростях (выше 100 кбит/с) асинхронная передача данных может сталкиваться с проблемами синхронизации.

Формат сообщения

Асинхронный кадр может иметь следующий формат:

Стартовый бит:	сигналы в начале кадра
Данные:	обычно 7 или 8 битов, но может быть 5 или 6 битов
Бит четности:	бит обнаружения операционной ошибки
Стоповый бит (биты):	обычно 1, 1,5 или 2 бита. Величина 1,5 означает, что уровень удерживается в течение времени, в полтора раза большего времени передачи одного бита



Рис. 2.4. Формат асинхронного кадра

Формат асинхронного кадра показан на рис. 2.4. Передатчик и приемник должны быть настроены точно на одну конфигурацию, чтобы из кадра можно было корректно извлечь данные. Каждый символ имеет свой собственный кадр, причем реальная скорость передачи данных получается меньше скорости передачи битов в секунду. Например, с учетом стартового бита, семи битов данных, одного бита четности и одного стопового бита для передачи семи битов данных всего необходимо передавать десять битов. Таким образом, передача полезных данных составляет 70% от всей скорости передачи битов.

2.5. Синхронные системы

В синхронных системах приемник изначально синхронизируется по тактовым импульсам передатчика, которые содержатся в потоке передаваемых данных. Это дает возможность приемнику поддерживать синхронизацию на протяжении длинных сообщений, которые обычно могут быть до 4500 байтов (36000 битов). Это обеспечивает эффективную передачу больших кадров с высокой скоростью. Синхронные системы упаковывают множество символов вместе и посылают их в виде непрерывного потока, называемого *пакетом* (или кадром).

Формат сообщения

Типичный кадр синхронной системы показан на рис. 2.5.

Преамбула	Начало разграничителя данных (SFD)	Преамбула	Адрес назначения	Источник сообщения	Длина данных	Данные	Контрольная последовательность кадра (FCS)
-----------	------------------------------------	-----------	------------------	--------------------	--------------	--------	--

Рис. 2.5. Типичный кадр синхронной системы

Преамбула:	здесь входит один или несколько байтов, которые позволяют принимающему устройству синхронизироваться с кадром.
SFD:	начало разграничителя данных сигнализирует о начале кадра.
Адрес назначения:	адрес, по которому отправляется кадр.
Источник:	адрес, из которого исходит кадр.
Длина данных:	количество байтов в поле данных.
FCS:	контрольная последовательность кадра, предназначена для обнаружения ошибок.

Каждый из этих элементов называется полем.

2.6. Обнаружение ошибок

Любая практическая передача данных подвержена воздействию помех, особенно медные провода, проложенные в промышленных условиях, где могут присутствовать большие электрические помехи. Отдельное обсуждение помех дано в главе 6. Наличие же помех может приводить к искажению получаемых данных.

Основным принципом обнаружения ошибок является вычисление передатчиком контрольного символа, основанное на содержимом оригинального сообщения. Этот символ посылается приемнику в конце сообщения, и приемник повторяет те же самые вычисления с битами, которые он получает. Если вычисленный контрольный символ не соответствует переданному символу, то можно предположить, что при передаче произошла ошибка. Различные методы обнаружения ошибок рассматриваются в главе 4.

Простейшей формой контроля за ошибками в асинхронных системах является добавление бита четности, который может быть четным или нечетным.

Проверка на четность требует, чтобы суммарное количество битов данных, являющихся логической 1, плюс бит четности равнялось четному числу. Коммуникационное оборудование на передающей стороне вычисляет необходимую четность и устанавливает бит четности, чтобы обеспечить четное число логических единиц.

Проверка на нечетность работает аналогично проверке на четность, за исключением того, что бит четности устанавливается таким образом, чтобы полное количество логических единиц, включая бит четности, равнялось нечетному числу.

Аппаратное обеспечение на принимающей стороне определяет суммарное количество логических единиц и сообщает об ошибке, если оно не соответствует четному или нечетному числу. Аппаратура приемника также обнаруживает переполнения и ошибки кадра.

Статистически использование бита четности при высокой скорости передачи имеет вероятность обнаружения ошибки только 50%. Этот способ позволяет обнаружить четное число ошибочных битов и не позволяет обнаруживать нечетное число ошибочных битов. Бит четности обычно опускается, если вместо этого способа используются более сложные схемы контроля за ошибками.

2.7. Характеристики процесса передачи

Скорость передачи сигналов (в бодах)

Скорость передачи сигналов через канал связи определяется тем, сколько раз физический сигнал изменится в секунду, и измеряется в бодах. Если передачу данных проконтролировать с помощью осциллографа, то на экране будут импульсы, частота которых соответствует скорости в бодах. Например, скорость 1000 бод соответствует импульсам, следующим через 1 мс.

Для асинхронных систем скорость в бодах на обоих концах канала связи устанавливается так, чтобы длительность импульсов была одинакова.

Скорость передачи данных

Скорость передачи данных или скорость передачи битов выражается в битах в секунду (бит/с) или в кратных единицах: кбит/с, Мбит/с и Гбит/с (кило, мега и гигабит в секунду). Эта скорость представляет фактическое число битов данных, передаваемых в секунду. Для примера рассмотрим 1000 бод, передаваемых каналом RS-232 в виде кадра из 10 бит, который состоит из 7 бит данных, стартового, стопового бита и бита четности. В этом примере скорость передачи сигнала составляет 1000 бод, а скорость передачи данных - 700 бит/с.

Хотя имеется тенденция путать скорости передачи сигнала и передачи битов, это не одно и то же. В то время как скорость передачи сигнала указывает на количество изменений сигнала в секунду, скорость передачи битов указывает на количество битов, представленных каждым изменением сигнала. В простых смодулированных системах передачи, таких как RS-232, скорость передачи сигнала равна скорости передачи битов. Для синхронных систем скорость передачи битов почти всегда превышает скорость передачи сигнала. Но для ВСЕХ систем скорость передачи данных меньше, чем скорость передачи битов, что обусловлено передачей дополнительных битов – стартового и стопового, а также битов четности (в асинхронных системах) или дополнительных полей – адресного поля и поля обнаружения ошибки в кадрах синхронной системы.

Существуют сложные способы модуляции особенно часто используемые в модемах, которые позволяют с помощью одного изменения сигнала кодировать больше одного бита. Полнодуплексный стандарт ITU (Международный союз телекоммуникаций) V.22bis, например, определяет способ, называемый *квадратурной амплитудной модуляцией*, который позволяет эффективно увеличить скорость передачи с 600 бод до 2400 кбит/с. Независимо от используемого способа максимальная скорость передачи данных всегда ограничена шириной полосы канала связи. Способы модуляции, используемые для модемов, обсуждаются в главе 7.

Ширина полосы

Единственным наиболее важным фактором, который ограничивает скорость передачи данных, является ширина полосы канала связи. Ширина полосы обычно выражается в герцах (Гц) и означает количество колебаний в секунду. Ширина полосы представляет максимальную частоту, с которой может изменяться сигнал, когда ослабление еще не начинает ухудшать сигнал. Ширина полосы близко связана с передающей средой и может быть от 5000 Гц для телефонной сети до нескольких гигагерц для оптоволоконного кабеля.

Поскольку сигнал имеет тенденцию ослабляться с расстоянием, то каналы связи могут потребовать установки через некоторый интервал повторителей (репитеров), которые необходимы для усиления затухающего сигнала.

Вычисление теоретической максимальной скорости передачи данных использует формулу Найквиста и включает ширину полосы и количество уровней, используемых для кодирования каждого элемента сигнала (см. описание в главе 4).

Отношение сигнал/шум

Отношение сигнал/шум (S/N) канала связи является еще одним важным фактором, ограничивающим скорость передачи. Источники помех могут быть как внешними, так и внутренними (глава 6).

Максимальная реальная скорость передачи данных для коммуникационного канала математически связана с шириной полосы, отношением сигнал/шум и количеством уровней, с помощью которых кодируется каждый элемент сигнала. При уменьшении отношения сигнал/шум уменьшается и скорость передачи битов. Взаимосвязь этих параметров описывается законом Шеннона-Хартли (Shannon-Hartley), приведенным в главе 4.

Пропускная способность

Поскольку данные всегда передаются в протокольной оболочке, которая может быть кадром символа или представлять гораздо более сложные схемы передачи сообщения, скорость передачи данных всегда будет меньше скорости передачи битов. Как объясняется в главе 9, количество избыточных данных, входящих в пакет сообщения, увеличивается по мере его прохождения вниз по стеку протоколов сети. Это означает, что отношение неинформативных данных к «реальной» информации может быть важным фактором в определении эффективной скорости передачи, которая иногда называется пропускной способностью.

Частота появления ошибок

Частота появления ошибок связана с такими факторами, как отношение сигнал/шум, наличие шумов и помех. Обычно существует компромисс между скоростью передачи и допустимой частотой ошибок, зависящей от типа приложения. Как правило, промышленные системы управления не могут допустить наличие ошибок и поэтому разрабатываются с учетом максимальной надежности передачи данных. Это означает, что промышленная система будет сравнительно медленнодействующей в смысле передачи данных. По мере увеличения скорости передачи имеется точка, в которой количество ошибок становится слишком большим. Протоколы обрабатывают ошибки путем запроса повторной передачи пакетов. Очевидно, что количество повторных передач в конце концов достигнет того, что фактически высокая скорость передачи данных понижает реальную скорость передачи сообщений, поскольку будет требоваться много времени на повторные передачи сбойных сообщений.

2.8. Кодирование данных

Согласованный стандартный код позволяет приемнику понимать сообщения, посылаемые передатчиком. Количество битов в коде определяет максимальное количество уникальных символов или знаков, которые могут быть представлены кодом. Наиболее распространенные коды описываются ниже.

Код Бодо

Хотя в настоящее время код Бодо используется нечасто, он имеет историческое значение. Этот код был изобретен в 1874 году Бодо (Maurice Emile Baudot) и считается первым кодом, все символы которого имели одинаковую длину. Используя пять битов, он может представлять 32 (2⁵) символа и подходит для систем, передающих только буквы, несколько знаков пунктуации и управляющие коды. Код Бодо использовался главным образом в первых телетайпах.

Современная версия кода Бодо была адаптирована ИТУ (Международный союз телекоммуникаций) в качестве стандарта для телеграфных сообщений и использует два символа «shift» (переключение регистра) для букв и цифр. Этот код стал предшественником современных кодов ASCII и EBCDIC.

Код ASCII

Наиболее распространенным набором символов на Западе является Американский стандартный код обмена информацией, или ASCII (см. табл. 2.3).

Этот код использует строку из 7 битов, что дает 128 (2⁷) символов, в которые входят:

- верхний и нижний регистры букв,
- цифры от 0 до 9,
- пунктуационные знаки и символы,
- набор управляющих кодов, составляющих первые 32 символа, которые используются самим каналом связи и при печати не выводятся.

Пример: символ D соответствует двоичному ASCII коду 1000100.

Канал связи, настроенный на строки данных, состоящие из 7 битов, может обращаться только с шестнадцатеричными значениями от 00 до 7F. Для полной шестнадцатеричной передачи данных необходим 8-разрядный канал связи, в котором каждый пакет состоит из байта (два шестнадцатеричных знака), который может быть от 00 до FF. Восемьразрядный канал связи часто называют «прозрачным», поскольку он может передать любое значение. В таком канале связи символ может быть интерпретирован как значение ASCII, если это необходимо, но в этом случае восьмой бит игнорируется.

Полный шестнадцатеричный набор можно передать через 7-разрядный канал связи путем представления каждого шестнадцатеричного знака в виде его ASCII эквивалента. Таким образом, шестнадцатеричное число 8E будет представлено в виде двух ASCII значений 38 45 (шестнадцатеричных) («8» «E»). Недостатком такого способа является то, что количество передаваемых данных почти удваивается, при этом на каждой стороне требуется дополнительная обработка данных.

Доступ к управляющему коду ASCII можно получить напрямую с клавиатуры ПК путем нажатия клавиши [Ctrl] вместе с другой клавишей. Например, сочетание Control-A(^A) генерирует ASCII код начала заголовка (SOH).

ASCII является наиболее распространенным кодом, который используется для кодирования символов при передаче данных. Он является 7-разрядным кодом и, следовательно, допускает только $2^7 = 128$ возможных комбинаций из семи двоичных знаков (битов) в диапазоне двоичных величин от 0000000 до 1111111 или в диапазоне шестнадцатеричных величин от 00 до 7F.

Каждому из этих 128 кодов присвоены специфические управляющие коды или символы, определяемые следующими стандартами:

- ANSI-X3.4.
- ISO-646.
- ITU алфавит № 5.

Таблица ASCII является справочной таблицей, используемой для записи битового значения каждого символа, определенного кодом. Существует множество различных форм этой таблицы, но все они содержат одну и ту же базовую информацию, соответствующую стандартам. Здесь приводятся два типа таблиц.

Таблица 2.3 показывает сокращенную форму таблицы ASCII, в которой все символы и управляющие коды представлены на одной странице. Эта таблица показывает код для каждого символа в шестнадцатеричной (HEX) и двоичной (BIN) записи. Иногда в каждой ячейке маленькими цифрами приводится десятичное значение (DEC).

Эта таблица является, по сути, матрицей, где MSB (самый старший разряд - цифры с левой стороны HEX или BIN кодов) располагаются вдоль верхней строки таблицы, а LSB (самый младший разряд - цифры с правой стороны HEX или BIN кодов) располагаются в левой колонке таблицы. Некоторые примеры HEX и BIN значений приводятся ниже.

Таблицы 2.4 и 2.5 имеют форму, которую часто используют в руководствах для принтеров и называют Таблицей преобразования кодов ASCII. В этой таблице упоминается каждый ASCII символ или управляющий код:

- BIN: 7-разрядный двоичный код ASCII.
- DEC: эквивалентное трехзначное десятичное значение (от 0 до 127).
- HEX: эквивалентное двузначное шестнадцатеричное значение (от 00 до 7F).

HEX	HEX	0	1	2	3	4	5	6	MSB
	BIN	000	001	010	011	100	101	110	111
0	0000	(NUL) Пустой символ	(DEL) Авторегистр	(Space) Пробел	0	@	P	'	p
1	0001	(SOH) Начало заголовка	(DC1) Управление устройством	!	1	A	Q	a	q
2	0010	(STX) Начало текста	(DC2) Управление устройством	“	2	B	R	b	r
3	0011	(ETX) Конец текста	(DC3) Управление устройством	#	3	C	S	c	s
4	0100	(EOT) Конец передачи	(DC4) Управление устройством	\$	4	D	T	d	t
5	0101	(ENQ) Символ запроса	(NAK) Отсутствие подтверждения приема	%	5	E	U	e	u
6	0110	(ACK) Подтверждение приема	(SYN) Символ синхронизации	&	6	F	V	f	v
7	0111	(BEL) Звонок	(ETB) Конец передачи пакета	`	7	G	W	g	w
8	1000	(BS) Возврат на одну позицию	(CAN) Отмена	(	8	H	X	h	x
9	1001	(HT) Символ горизонтальной табуляции	(EM) Конец носителя	)	9	I	Y	i	y
A	1010	(LF) Перевод строки	(SUB) Используется как «Конец файла»	*	:	J	Z	j	z
B	1011	(VT) Символ вертикальной табуляции	(ESC) Конец работы	+	;	K	[	k	{
c	1100	(FF) Прогон страницы	Разделитель файлов	,	<	L	\	l	|
D	1101	(CR) Возврат каретки	(GS) Разделитель групп	-	=	M	]	m	}
E	1110	(SO) Переход на верхний регистр	(RS) Разделитель записей	.	>	N	^	n	~
F	1111	(SI) Переход на нижний регистр	(RS) Разделитель элементов	/	?	O	_	o	DEL Удаление символа
LSB									

Таблица 2.3. Таблица ASCII кодов

DEC	HEX	BIN	ASCII	DEC	HEX	BIN	ASCII
0	00	000 0000	(NUL) Пустой символ	32	20	010 0000	Space Пробел
1	01	000 0001	(SOH) Начало заголовка	33	21	010 0001	!
2	02	000 0010	(STX) Начало текста	34	22	010 0010	“
3	03	000 0011	(ETX) Конец текста	35	23	010 0011	#
4	04	000 0100	(EOT) Конец передачи	36	24	010 0100	\$
5	05	000 0101	(ENQ) Символ запроса	37	25	010 0101	%
6	06	000 0110	(ACK) Подтверждение приема	38	26	010 0110	&
7	07	000 0111	(BEL) Звонок	39	27	010 0111	`
8	08	000 1000	(BS) Возврат на одну позицию	40	28	010 1000	(
9	09	000 1001	(HT) Символ горизонтальной табуляции	41	29	010 1001)
10	0A	000 1010	(LF) Перевод строки	42	2A	010 1010	*
11	0B	000 1011	(VT) Символ вертикальной табуляции	43	2B	010 1011	+
12	0C	000 1100	(FF) Прогон страницы	44	2C	010 1100	,
13	0D	000 1101	(CR) Возврат каретки	45	2D	010 1101	-
14	0E	000 1110	(SO) Переход на верхний регистр	46	2E	010 1110	.

Таблица 2.4. Таблица преобразования кодов ASCII

15	OF	000 1111	(SI) Переход на нижний регистр	47	2F	010 1111	/
16	10	001 0000	(DLE) Авторегистр	48	30	011 0000	0
17	11	001 0001	(DC1) Управление устройством	49	31	011 0001	1
18	12	001 0010	(DC2) Управление устройством	50	32	011 0010	2
19	13	001 0011	(DC3) Управление устройством	51	33	011 0011	3
20	14	001 0100	(DC4) Управление устройством	52	34	011 0100	4
21	15	001 0101	(NAK) Отсутствие подтверждения приема	53	35	011 0101	5
22	16	001 0110	(SYN) Символ синхронизации	54	36	011 0110	6
23	17	001 0111	(ETB) Конец передачи пакета	55	37	011 0111	7
24	18	001 1000	(CAN) Отмена	56	38	011 1000	8
25	19	001 1001	(EM) Конец носителя	57	39	011 1001	9
26	1A	001 1010	(SUB) Используется как «Конец файла»	58	3A	011 1010	:
27	1B	001 1011	(ESC) Конец работы	59	3B	011 1011	;
28	1C	001 1100	(FS) Разделитель файлов	60	3C	011 1100	<
29	1D	001 1101	(GS) Разделитель групп	61	3D	011 1101	=
30	1E	001 1110	(RS) Разделитель записей	62	3E	011 1110	>
31	1F	001 1111	(US) Разделитель элементов	63	3F	011 1111	?

Окончание табл. 2.4

HEX	HEX	HEX	ASCII	HEX	HEX	HEX	ASCII
64	40	100 0000	@	96	60	110 0000	`
65	41	100 0001	A	97	61	110 0001	a
66	42	100 0010	B	98	62	110 0010	b
67	43	100 0011	C	99	63	110 0011	c
68	44	100 0100	D	100	64	110 0100	d
69	45	100 0101	E	101	65	1100101	e
70	46	100 0110	F	102	66	110 0110	f
71	47	100 0111	G	103	67	1100111	g
72	48	100 1000	H	104	68	110 1000	h
73	49	100 1001	I	105	69	110 1001	i
74	4A	100 1010	J	106	6A	110 1010	j
75	4B	100 1011	K	107	6B	110 1011	k
76	4C	100 1100	L	108	6C	1101100	l
77	4D	100 1101	M	109	6D	110 1101	m
78	4E	100 1110	N	110	6E	1101110	n
79	4F	1001111	o	111	6F	110 1111	o
80	50	101 0000	P	112	70	111 0000	P
81	51	101 0001	Q	113	71	111 0001	q
82	52	101 0010	R	114	72	111 0010	r
83	53	101 0011	S	115	73	111 0011	s
84	54	101 0100	T	116	74	111 0100	t
85	55	1010101	U	117	75	111 0101	u
86	56	1010110	V	118	76	111 0110	v
87	57	1010111	w	119	77	111 0111	w
88	58	101 1000	X	120	78	111 1000	X
89	59	101 1001	Y	121	79	111 1001	y
90	5A	101 1010	Z	122	7A	111 1010	z
91	5B	101 1011	[	123	7B	111 1011	{
92	5C	101 1100	^	124	7C	111 1100	|
93	5D	101 1101	]	125	7D	111 1101	}
94	5E	101 1110	A	126	7E	111 1110	~
95	5F	101 1111	-	127	7F	111 1111	(DEL) Удаление символа

Таблица 2.5. Таблица преобразования кодов ASCII

Символ	Управляющий символ	7-разрядный двоичный код	Шестнадцатеричный код	Десятичное значение	
NUL	Пустой символ	^@	000 0000	00	0
SOH	Начало заголовка	^A	000 0001	01	1
STX	Начало текста	^B	000 0010	02	2
ETX	Конец текста	^C	000 0011	03	3
EOT	Конец передачи	^D	000 0100	04	4
ENQ	Запрос	^E	000 0101	05	5
ACK	Подтверждение	^F	000 0110	06	6
BEL	Звонок	^G	000 0111	07	7
BS	Возврат на одну позицию	^H	000 1000	08	8
HT	Горизонтальная табуляция	^I	000 1001	09	9
LF	Перевод строки	^J	000 1010	0A	10
VT	Вертикальная табуляция	^K	000 1011	0B	11
FF	Прогон страницы	^L	000 1100	0C	12
CR	Возврат каретки	^M	000 1101	0D	13
SO	Переход на верхний регистр	^N	000 1110	0E	14
SI	Переход на нижний регистра	^O	000 1111	0F	15
DLE	Авторегистр	^P	001 0000	10	16
DC1	Управление устройством 1	^Q	001 0001	11	17
DC2	Управление устройством 2	^R	001 0010	12	18
DC3	Управление устройством 3	^S	001 0011	13	19
DC4	Управление устройством 4	^T	001 0100	14	20
NAK	Отсутствие подтверждения приема	^U	001 0101	15	21
SYN	Символ синхронизации	^V	001 0110	16	22
ETB	Конец передачи пакета	^W	001 0111	17	23
CAN	Отмена	^X	001 1000	18	234
EM	Конец носителя	^Y	001 1001	19	25
SUB	Используется как «Конец файла»	^Z	001 1010	1A	26
ESC	Конец работы	^[	001 1011	1B	27
FS	Разделитель файлов	^\ ^]	001 1100	1C	28
GS	Разделитель групп	^]	001 1101	1D	29
RS	Разделитель записей	^_	001 1110	1E	30
US	Разделитель элементов	^-	001 1111	1F	31
DEL	Удаление символа		111 1111	7F	127

Таблица 2.6. Таблица управляющих кодов ASCII

Младшие биты

Положение битов	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	8	7	6	5															
0 0 0 0	NUL	SOH	STX	ETX	PF	HT	LC	DEL				SMM	VT	FF	CR	SO	SI		
0 0 0 1	DLE	DC ₁	DC ₂	DC ₃	RES	NL	BS	IL	CAN	EM	CC			IFS	IGS	IRS	IUS		
0 0 1 0	DS	SOS	FS		BYP	LF	EOB	PRE			SM				ENQ	ACK	BEL		
0 0 1 1			SYN		PN	RS	UC	EOT						DC4	NAK		SUB		
0 1 0 0	SP										£	.	<	(	+	|		
0 1 0 1	&										!	\$	*)	:	—			
0 1 1 0	-	/										'	%	-	>	?			
0 1 1 1											:	#	%	'	=	"			
1 0 0 0		a	b	c	d	e	f	g	h	i									
1 0 0 1		j	k	l	m	n	o	p	q	r									
1 0 1 0			s	i	u	v	w	x	y	z									
1 0 1 1																			
1 1 0 0		A	B	C	D	E	F	G	H	I									
1 1 0 1		J	K	L	M	N	O	P	Q	R									
1 1 1 0			S	T	U	V	W	X	Y	Z									
1 1 1 1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9									

Старшие биты

Таблица 2.7. Таблица кодов EBC DID

При отладке системы управляющие коды часто бывает трудно обнаружить, в отличие от печатаемых кодов, которые отображаются в виде определенного символа на принтере или терминале. Для обнаружения и отображения каждого из управляющих кодов можно использовать анализаторы **цифровых** линий, **которые помогают изучить** систему.

Для представления слова «DATA» в двоичном виде с помощью 7-разрядного кода ASCII (Код ASCII) каждая буква должны кодироваться следующим образом:

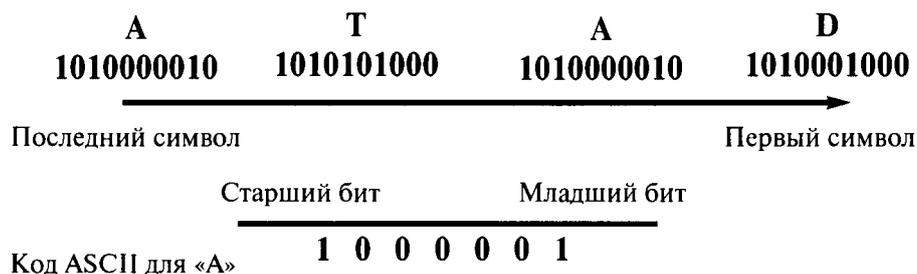
Двоичный код **Шестнадцатиричный код**

D	100 0100	44
A	100 0001	41
T	101 0100	54
A	100 0001	41

Возвращаясь к таблице ASCII, можно видеть, что двоичные числа в колонке с правой стороны изменяются на одну единицу при каждом смещении вниз по таблице. То есть бит с правой стороны числа является **младшим битом** (LSB), поскольку его изменение не намного меняет общее значение. Бит с левой стороны называется **старшим битом** (MSB), поскольку его изменение намного меняет общее значение.

В соответствии с традициями западного мира слова и предложения читаются слева направо. Глядя на ASCII код символа, сначала необходимо читать старший бит, который находится с левой стороны, но при передаче данных принято другое соглашение - ПЕРВЫМ передается младший бит, который находится с правой стороны, а последним передается старший бит. Однако символы обычно посылаются в обычной последовательности – в том виде, как они генерируются. Например, если передается слово D-A-T-A, то символы передаются в этой же последовательности, но 7-разрядный ASCII код для каждого символа имеет «обратный» порядок.

Следовательно, последовательность битов, наблюдаемых в канале связи, будет следующей (считывание каждого бита в порядке справа налево):



Добавляя к ASCII символу стоповый бит (1), бит четности (1 или 0) и стартовый бит (0), можно получить показанную снизу последовательность импульсов (с проверкой на четность). Например, ASCII код символа «A» будет передаваться в виде:



Код EBCDIC

Расширенный двоичный код для обмена информацией (EBCDIC), первоначально разработанный компанией IBM, использует для представления каждого символа восемь разрядов. Идейно код EBCDIC аналогичен коду ASCII, но конкретные последовательности битов являются другими и не совместимы с кодом ASCII. Когда IBM ввела свой ряд компьютеров, она решила принять ASCII код, поэтому код EBCDIC имеет небольшое отношение к передаче данных на промышленных предприятиях (см. код EBCDIC в табл. 2.7).

4-разрядный двоичный код

Для чисто числовых данных иногда используется 4-разрядный двоичный код, дающий 16 символов (2⁴). Числа от 0 до 9 представляются двоичными кодами от 0000 до 1001, а остальные коды используются для десятичных точек. Это увеличивает скорость передачи или уменьшает число соединений в простых системах. Четырехразрядный двоичный код приводится в табл. 2.8.

Десятичное число	Десятичный код	Код Грея	Двоично-десятичный код
0	0000	0000	0000
1	0001	0001	0000
2	0010	0011	0000
3	0011	0010	0000
4	0100	0110	0000
5	0101	0111	0000
6	0110	0101	0000
7	0111	0100	0000
8	1000	1100	0000
9	1001	1101	0000
10	1010	1111	0001 0000
11	1011	1110	0001 0001
12	1100	1010	0001 0010
13	1101	1011	0001 0011
14	1110	1001	0001 0100
15	1111	1000	0001 0101

Таблица 2.8. Четырехразрядный двоичный код

Код Ц>ея

Двоичный код неидеален для некоторых типов устройств, поскольку при последовательно увеличивающемся счете должно изменяться несколько цифр. Код Грея можно использовать для таких инкрементных устройств, как преобразователи углового положения вала. Преимуществом этого кода по сравнению с двоичным кодом является то, что по мере роста значения (инкрементное приращение) за один раз изменяется только один бит. Код Грея показан в табл. 2.9

Десятичное число	Код Грея
0	0000
1	0001
2	0011
3	0010
4	0110
5	0111
6	0101
7	0100
8	1100
9	1101
10	1111
11	1110
12	1010
13	1011
14	1001
15	1000

Таблица 2.9. Код Грея

Двоично-десятичный код

Двоично-десятичный код (BCD) является расширением 4-разрядного двоичного кода. При двоично-десятичном кодировании каждая отдельная цифра десятичного числа преобразуется в 4-разрядный двоичный код. То есть для представления одной десятичной цифры двоично-десятичный код использует четыре разряда. Хотя четыре разряда в двоичном коде могут представлять 16 чисел (от 0 до 15), для двоично-десятичного кодирования действительны только первые 10, от 0 до 9 (табл. 2.10).

Десятичное число	Двоичный код	Код Грея	Двоично-десятичный код
0	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001
2	0010	0011	0010
3	0011	0010	0011
4	0100	0110	0100
5	0101	0111	0101
6	0110	0101	0110
7	0111	0100	0111
8	1000	1100	1000
9	1001	1101	1001
10	1010	1111	0001 0000
11	1011	1110	0001 0001
12	1100	1010	0001 0010
13	1101	1011	0001 0011
14	1110	1001	0001 0100
15	1111	1000	0001 0101

Таблица 2.10. Сравнение двоичного, двоично-десятичного кодов и кода Грея

Двоично-десятичный код обычно используется в относительно простых системах, таких как небольшие измерительные приборы, координатных манипуляторах и цифровых панельных измерительных приборах. Для подключения двоично-десятичных компонентов к другим интеллектуальным устройствам имеются специальные интерфейсные платы и интегральные микросхемы (ИС). Они могут подключаться непосредственно к входам или выходам PLC.

Типичным применением двоично-десятичного кода является настройка параметров на управляющей панели с помощью группы переключателей в виде колесиков. Каждый переключатель представляет одну десятичную цифру (слева направо: тысячи, сотни, десятки и единицы). Интерфейсное подключение каждой цифры к PLC требует четырех проводов, плюс еще один провод для десятичной запятой, что в целом для четырехразрядного набора переключателей дает 20 проводов. Количество проводов и их подключений к PLC может быть уменьшено до восьми, используя разделенную во времени мультиплексирующую систему, показанную на рис. 2.6. Каждый PLC выход подключается по очереди, и двоичный код считывается PLC по четырем входам. Аналогичная система используется (в обратном порядке) для циф-

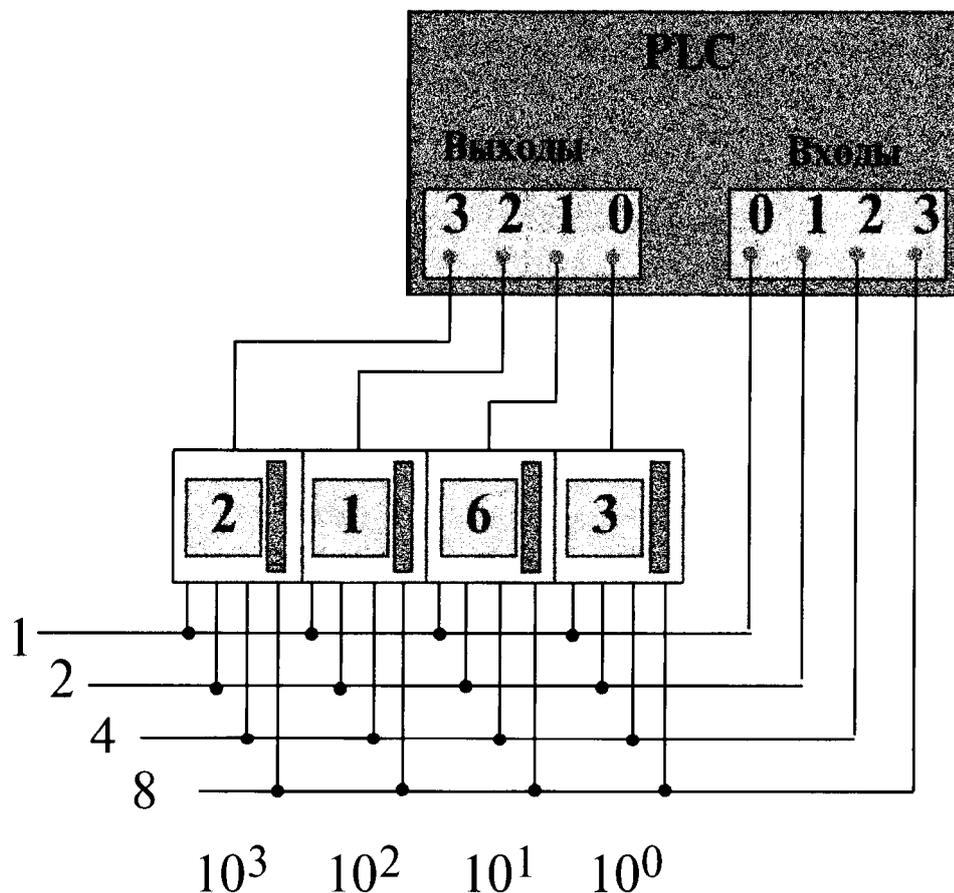


Рис. 2.6. Двоично-десятичные дисковые переключатели и их подключение к PLC

рового дисплея панельного измерительного прибора, использующего группу из четырех 7-сегментных жидкокристаллических или светодиодных дисплеев.

2.9. Универсальный асинхронный приемопередатчик (UART)

Старт/стоповые биты и биты четности, используемые в асинхронной системе передачи, обычно реально генерируются стандартной интегральной микросхемой, которая является частью интерфейса между шиной микропроцессора и линейным формирователем (или приемником) канала связи. Такой тип ИС называется **UART (универсальный асинхронный приемопередатчик)** или иногда ACE (адаптер асинхронной связи).

Различные формы UART используются также в синхронной передаче данных и называются USRT (**универсальный синхронный приемопередатчик**). Собираательно все эти ИС называются USART (**универсальный синхронно-асинхронный приемопередатчик**). Выход ИС UART не предназначен для непосредственного подключения к каналу связи. Чтобы выдавать и принимать уровни напряжений, соответствующие данному ка-

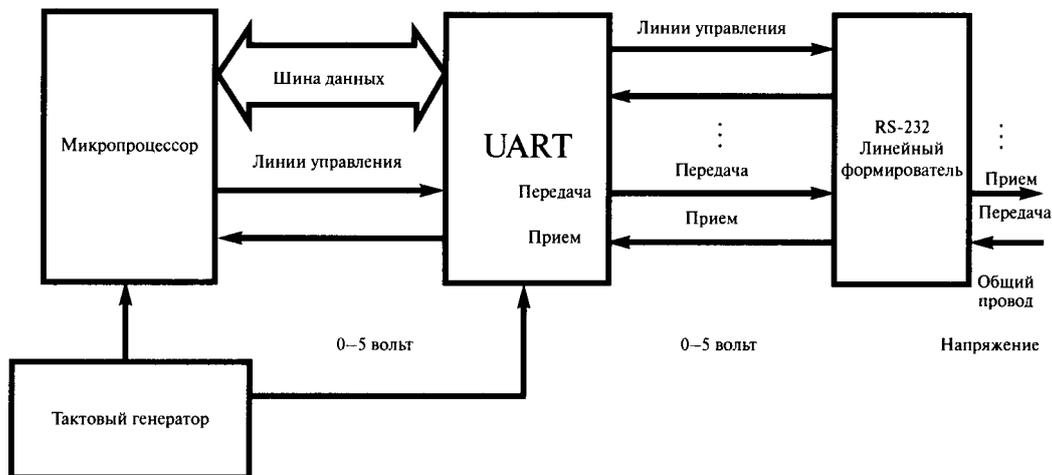


Рис. 2.7. Типовое включение UART

налу связи, используются дополнительные устройства, называемые линейными формирователями и линейными приемниками.

Примерами UART являются ИС 8250, 16450, 16550, а примером USART является ИС 8251.

Главной задачей **UART** является присмотр за всеми **местными** «рутинными» процедурами, связанными с подготовкой 8-разрядного параллельного выходного сигнала микропроцессора к асинхронной последовательной передаче данных. В качестве импульсов синхронизации используются тактовые импульсы микропроцессора, подключаемые через внешний разъем.

При **передаче** UART выполняет следующее:

- устанавливает скорость двоичной передачи;
- принимает биты символа от микропроцессора в виде параллельной группы;
- генерирует стартовый бит;
- добавляет биты данных в последовательную группу;
- определяет четность и добавляет бит четности (если необходимо);
- заканчивает передачу стоповым битом (иногда двумя стоповыми битами);
- сигнализирует процессору, что он готов к следующему символу;
- при необходимости координирует квитирование.

ИС UART имеет отдельную сигнальную линию для передачи (TX) и одну для приема (RX), поэтому она может работать в полдуплексном или полудуплексном режиме. Другие линии UART обеспечивают аппаратные сигналы квитирования – метода обеспечения некоторой формы взаимодействия между устройствами, расположенными на двух концах канала связи. Более подробно квитирование рассматривается в главе 3.

При приеме UART выполняет следующее:

- устанавливает скорость двоичного приема;
- распознает стартовый бит;
- считывает биты данных, поступающие в виде последовательной группы битов;
- считывает бит четности и производит проверку на четность;
- распознает стоповый бит (биты);
- передает символ в параллельном виде к микропроцессору для дальнейших преобразований;
- при необходимости координирует квитирование;
- проверяет данные на наличие ошибки и при ее обнаружении помечает в регистре состояния бит ошибки.

Применение UART устраняет необходимость программирования описанных выше процедур в микропроцессоре, вместо этого они прозрачно реализуются UART Программой с последовательными данными делает только одно: она просто записывает/читает байты в/из UART.

Передатчик UART

Байт, принятый от микропроцессора на передачу, записывается в адрес ввода/вывода передающей схемы UART. Биты, которые необходимо передать, загружаются в сдвиговый регистр, откуда они затем выталкиваются отрицательными перепадами

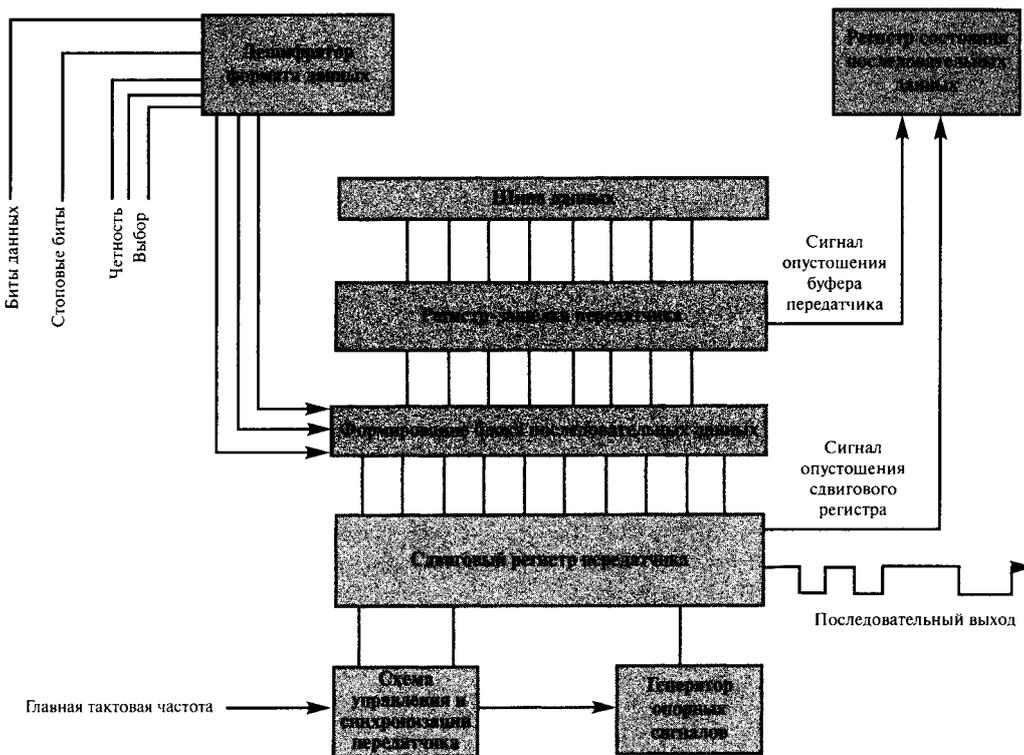


Рис. 2.8. Передатчик UART

тактовых импульсов. Частота тактовых импульсов определяет скорость передачи битов. Когда все биты будут вытолкнуты из сдвигового регистра передатчика, в него загружается следующий пакет, и процесс повторяется сначала. Слово пакет в данном случае используется для обозначения совокупности стартового бита, битов передаваемой информации, бита четности и стопового бита. Некоторые авторы называют пакетом блок последовательных данных (SDU).

Между регистром-защелкой передатчика и сдвиговым регистром находится схема, называемая **блоком формирования последовательных данных (SDU)**. Эта схема собирает реальный пакет, который загружается в сдвиговый регистр.

В полнодуплексном режиме программному обеспечению необходимо только проверять значение флага, сигнализирующего об опустошении буфера передатчика (ТВЕ), чтобы определить необходимость записи следующего байта в UART. В полудуплексном режиме модем должен переключаться между состояниями передатчика и приемника, поэтому программа должна проверять как буфер передатчика, так и буфер приемника на предмет наличия в них данных.

Приемник UART

Приемная схема UART непрерывно отслеживает входную последовательную линию, ожидая прихода стартового бита. При появлении стартового бита линия приемника контролируется с выбранной скоростью передачи битов, и последовательные биты помещаются в сдвиговый регистр приемника. Это происходит в соответствии с

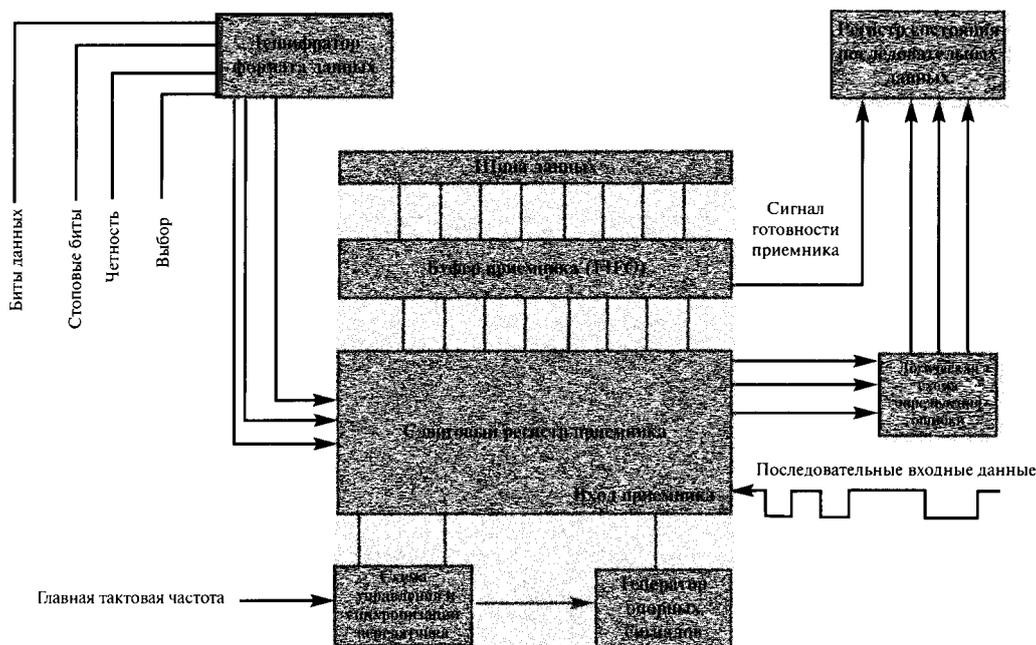


Рис. 2.9. Приемник UART

форматом, описанным с помощью регистра формата данных, программируемого пользователем. После того как весь байт будет получен, он перемещается в буфер типа FIFO («первым пришел, первым ушел»). На этом этапе флаг RxRDY (готовность приемника) переводится в состояние истины и остается таким до тех пор, пока буфер FIFO не опустеет.

Типы ошибок

Другой главной функцией UART является обнаружение ошибок в принимаемых данных. Большинство ошибок являются ошибками приема. Встречаются следующие типичные ошибки:

- Переполнение приемника:** байты принимаются быстрее, чем они могут быть прочитаны.
- Ошибка четности:** несоответствие бита четности.
- Ошибка разрыва:** это происходит в том случае, если считанные биты не соответствуют выбранному формату, это происходит в том случае, если стартовый бит действует в течение времени, большего времени кадра.

Обнаружение разрыва

Чтобы завладеть вниманием приемника, передатчик может удерживать линию данных в состоянии паузы (положительное напряжение) в течение времени, более длинного, чем необходимо для передачи целого символа. Это состояние называется разрывом, и некоторые приемники могут быть снабжены схемой обнаружения разрыва. Данное условие полезно для прерывания работы приемника, что можно производить даже посреди передаваемого потока символов. Время обнаружения разрыва зависит от скорости передачи.

Наличие ошибки создания последовательности данных передается в регистр состояния данных, показанный на рисунках 2.8 и 2.9.

Синхронизация работы приемника

Для внутренних операций UART, а также для управления операциями сдвига в схемах передатчика и приемника необходимо иметь отдельный тактовый сигнал. Частота главного тактового сигнала обычно намного больше, чем скорость последовательной передачи. Отношение частоты главного тактового сигнала к частоте передачи битов называется коэффициентом тактирования (обычно он равен 16). Вместо выборки входной линии с частотой последовательной передачи улучшенный детектор стартового бита производит выборку приемной линии с частотой главного тактового сигнала. Это минимизирует вероятность появления ошибки, вызванной несовпадением выборки с передаваемыми битами, что приводит к выборке неправильных битов.

Первые последовательные порты использовали ИС 8250 или 8251, которые прерывали работу главного процессора для приема или передачи каждого символа. Такой способ хорошо работал для скоростей того времени. Потом эти ИС были заменены на ИС 16450, которые работают аналогично, но поддерживают более

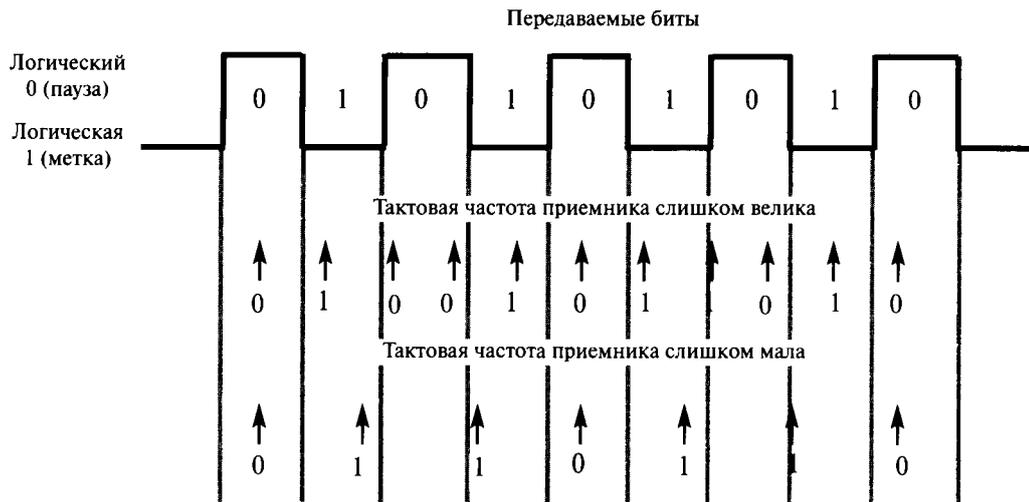


Рис. 2.10. Пример неточной синхронизации источника и приемника



Рис. 2.11. Минимизация ошибок с использованием коэффициента тактирования 16

быстрые скорости шины ПК, а еще позднее ИС 16550, которая имеет 16-байтовый буфер и, следовательно, уменьшает количество прерываний ЦП на коэффициент равный 16. Более поздние разработки используют улучшенный последовательный порт, который имеет буфер емкостью около 1000 байт и свой собственный процессор, уменьшающий количество прерываний основного ЦП в 1000 раз.

2.10. Быстродействующий UART (16550)

ИС 16550 является быстродействующим последовательным асинхронным приемопередатчиком (UART). Эта ИС используется практически на всех IBM-совместимых компью-

терах и COM-портах, продаваемых в настоящее время. Она сильно отличается от старого UART 8259 двумя характеристиками - скоростью и размером FIFO буфера. Преимуществом ИС 16550 над более старыми UART 16450 и 8250 является его 16-байтный буфер.

Скорость

ИС 16550 может работать со скоростями от 1 до 115 кбод. Она обычно используется для интерфейса RS-232, хотя стандарт RS-232 допускает скорость только до 19,2 кбод. Из-за доступности и низкой стоимости ИС 16550 производители компьютеров и дополнительных портов COM используют ИС 16550 как стандартное оборудование.

Буфер FIFO

Старый UART типа 8250 (скорость 19,2 кбод) имел только однобайтный буфер FIFO. Шестнадцатибайтный буфер ИС 16550 обладает двумя преимуществами:

- ИС 16550 делает быстродействующие коммуникации более надежными. На старых ИС, имеющих однобайтный буфер, UART мог потерять данные, если второй байт приходил на UART до того, как ЦП извлекал первый байт. ИС 16550, имея 16-байтный буфер, предоставляет ЦП 16 шансов извлечь данные, прежде чем символ будет потерян. Следующее поможет понять значение этого. Когда UART работает со скоростью 19200 бит/с (с кадром, содержащим 10-битовый символ), то ЦП должен обслуживать COM-порт 1920 раз в каждую секунду, или каждые 0,0005 секунды. Если случится так, что ЦП потребуется 0,006 секунды, чтобы обслужить COM-порт, то в однобайтном буфере UART первый байт будет потерян. При использовании ИС 16550, которая имеет 16-байтный буфер, обслуживание COM-порта теперь можно производить через 0,008 секунды.
- Новая ИС помогает реализовать многозадачную систему более эффективно. Когда COM-порт передает данные, то он должен прерывать ЦП и заполнять буфер передатчика UART. Это означает, что если ЦП производит фоновое сканирование каталога, то на сканирование уйдет больше времени пока COM-порт попытается послать данные к внешней системе. В UART с однобайтным буфером при скорости 19200 бит/с COM-порт должен прерывать ЦП 1920 раз каждую секунду, чтобы передать данные из COM-порта. Однако при использовании ИС 16550 он может поместить до 16 байтов данных в буфер за один раз и, следовательно, прерывать ЦП только 120 раз в секунду. Это увеличивает производительность ЦП при работе с COM-портом.

Лекция 3

Стандарты последовательной передачи данных

Цели

Завершив изучение, вы сможете:

- перечислить и объяснить функции основных организаций, занимающихся стандартами;
- описать и сравнить стандарты следующих интерфейсов последовательной передачи данных:
 - RS-232
 - RS-449
 - RS-423
 - RS-422
 - RS-485
 - RS/TIA-530A
 - RS/TIA-562
- объяснить метод отыскания неполадок в цепях последовательной передачи данных;
- описать широко используемые последовательные интерфейсы:
 - токовая петля 20 мА

- преобразователи последовательных интерфейсов
 - интерфейс последовательных принтеров
- описать наиболее важные стандарты интерфейсов параллельной передачи данных:
 - интерфейсная шина общего назначения
 - Centronics

3.1. Организации по стандартизации

Существует семь основных международных организаций, занимающихся разработкой стандартов и выработкой рекомендаций, которые связаны с передачей данных:

- ISO: Международная организация по стандартизации
- ITU-T: Международный телекоммуникационный союз (ранее Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии)
- IEEE: Институт инженеров по электротехнике и электронике
- IEC: Международная электротехническая комиссия
- RS: Ассоциация электронной промышленности
- ANSI: Национальный институт стандартизации США
- TIA: Ассоциация промышленности средств связи

ANSI является главной организацией по стандартизации США и представляет эту страну в ISO. ANSI – некоммерческая, неправительственная организация, поддерживаемая более чем 1000 торговыми объединениями, профессиональными сообществами и компаниями.

Международный союз телекоммуникаций (ITU) является специализированным агентством Организации Объединенных Наций (UNO). Он состоит из представителей от почтово-телеграфных и телефонных организаций (РТТ), пользователей и производителей телекоммуникационного оборудования. В Европе исполнительная власть имеет тенденцию тесно следовать рекомендациям ITU. Хотя в прошлом производители США их не признавали, теперь они начинают быстро приспосабливаться к рекомендациям ITU.

ITU определяет полный набор стандартов, касающихся взаимодействия телекоммуникационного оборудования. Стандарты на оборудование обмена данными обычно определяются рядом рекомендаций ITU-T «V».

Два примера стандартов физических интерфейсов ITU-T:

- V.24: эквивалент RS-232 для медленных асинхронных последовательных каналов;
- V.35: эквивалент RS-449 для широкополосных каналов.

RS является общественной организацией по стандартизации в США, специализирующейся на электрических и функциональных характеристиках интерфейсного оборудования. Она, главным образом, представляет производителей электронного оборудования.

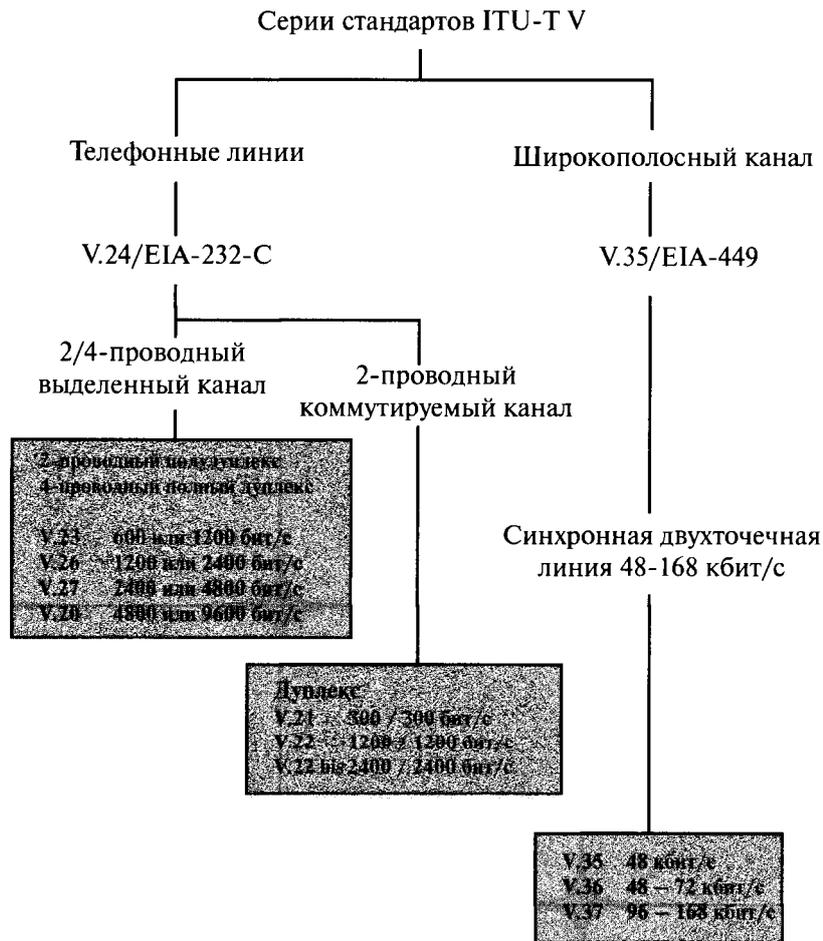


Рис. 3.1. Серии стандартов ITU-T V

ния. Поскольку RS и TIA в 1988 году слились, то TIA представляет телекоммуникационный сектор RS, и эти буквы появляются на некоторых документах по стандартам.

IEC является международной организацией по стандартам, дочерней по отношению к ISO. Она сосредоточена на электрических стандартах. IEC возникла в Европе и ее стандарты используются в большинстве западных государств, за исключением США и близко связанных с ними странах.

IEEE является профессиональным сообществом инженеров по электротехнике и электронике США. Оно выпускает свои собственные стандарты и коды. IEEE является членом ANSI и ISO.

ISO привлекает членов из всех стран мира и концентрируется на международной координации стандартов.

3.2. Стандарты интерфейсов для последовательной передачи данных

Стандарт на интерфейс определяет электрические и механические параметры, которые позволяют оборудованию разных производителей подключаться и взаимодействовать друг с другом.

RS выпустила несколько хорошо известных стандартов на интерфейсы передачи данных, которые будут обсуждены в этой главе:

- RS-232 и его модификации;
- RS-449;
- RS-423 и его модификации;
- RS-422;
- RS-485;
- RS/TIA-530A;
- RS/TIA-562.

Здесь также рассматриваются специальные интерфейсы:

- токовая петля 20 мА;
- преобразователи последовательных интерфейсов;
- интерфейс последовательных принтеров.

3.3. Симметричные и несимметричные линии передачи

При выборе системы обмена данными важно определиться с типом линий передачи и использовать симметричные или несимметричные линии передачи данных.

Несимметричная передача

В системе, использующей несимметричные линии передачи, общий опорный проводник сигнала одновременно разделяется многими сигналами и электронными схемами. Сигнал в виде напряжения передается только по одному проводу, который измеряется относительно общего провода, иногда называемого сигнальной «землей». Передаваемый сигнал является напряжением между сигнальным и общим проводом.

Теоретически несимметричная передача должна работать хорошо, если токи сигнала невелики и общий провод имеет низкое сопротивление (импеданс). На практике несимметричные системы работают только в качестве коротких каналов связи. Общий провод сигнала имеет характеристики, аналогичные другим проводникам (сопротивление, индуктивность и емкость) и неидеален для использования в качестве базового проводника. Для длинных расстояний общий проводник может не иметь одинакового потенциала во всех его точках или на концах. На общий проводник могут также воздействовать помехи или паразитные напряжения. Иногда в качестве общего провода используется экранирующий проводник. Это может привести к очень

большому уровню помех и этого следует избегать. Несимметричная передача используется в интерфейсах RS-232 и RS-423.

Тот факт, что на общий опорный проводник могут воздействовать различные помехи, означает, что к напряжениям V_1 , V_2 и V_3 , измеренным у приемника, могут добавляться наводки.

Симметричная передача

Для симметричной передачи интерфейсы требуют для каждого сигнала по два проводника. Напряжение на принимающем конце является разностью напряжений меж-

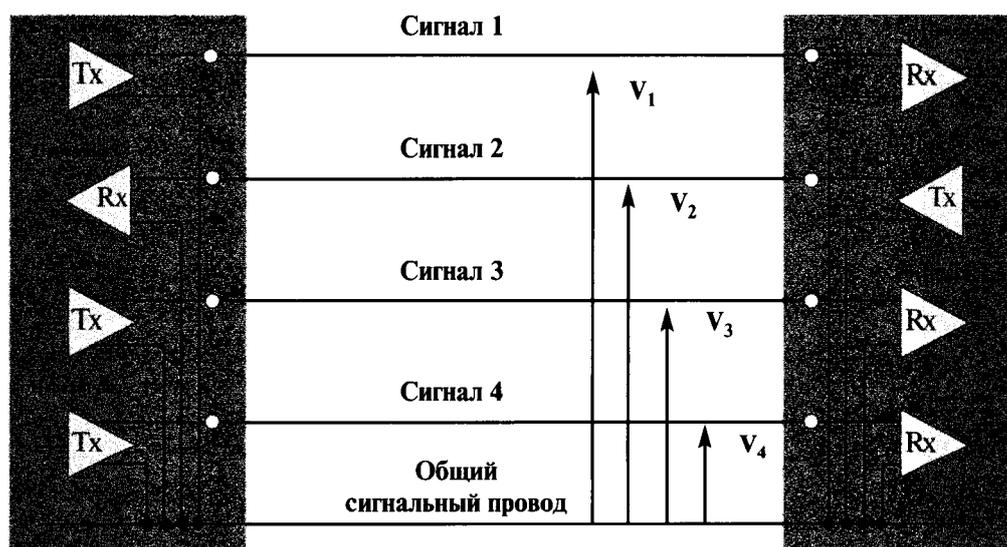


Рис. 3.2. Передача данных при использовании несимметричных интерфейсов

ду этими двумя проводниками. Такая система передачи называется симметричной или дифференциальной и позволяет устранить многие проблемы наводок, связанные с использованием общего опорного провода.

Симметричная линия передачи обеспечивает более высокую скорость передачи данных на длинные расстояния. Дифференциальный способ передачи данных предпочтителен в промышленном окружении, где помехи могут быть основной проблемой. Недостаток этого способа заключается в том, что для передачи одного сигнала симметричная система требует двух проводов.

Успешная передача сигнала напряжения по двум проводам в присутствии помех или падения напряжения основана на том предположении, что эти провода имеют одинаковые характеристики, поэтому воздействие на них будет оказываться одинаковое. Это не означает, что помехи не влияют на симметричную дифференциальную систему. Напряжение на обоих проводах будет увеличиваться или уменьшаться одновременно, а разностный сигнал при этом остается одинаковым. Напряжение между сигнальным и общим проводниками называется синфазным напряжением (CMV).

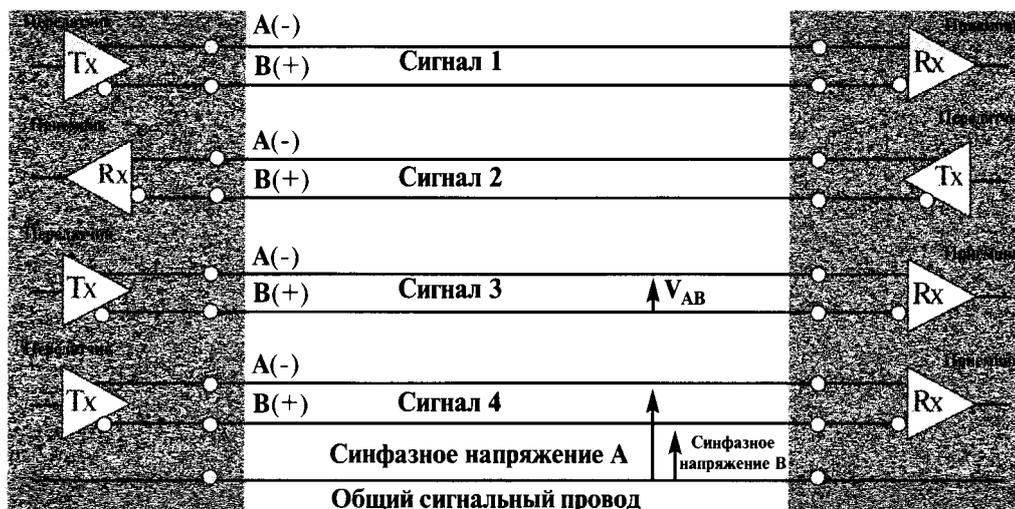


Рис. 3.3. Передача данных при использовании симметричных интерфейсов

Синфазное напряжение является показателем наведенного напряжения или помех на канал связи. В идеальном случае синфазное напряжение на двух проводах будет полностью сведено на нет. Однако, чем больше синфазное напряжение, тем выше вероятность искажения выходного напряжения или порчи устройства.

Приемная схема 2-проводной дифференциальной системы разработана таким образом, чтобы игнорировать или ослаблять синфазное напряжение (CMV), используя специальные способы подавления синфазного сигнала (CMR). Влияние помех на сигнал измеряется отношением напряжения, пройденного через приемник, к синфазному напряжению. Степень подавления помех приемником измеряется коэффициентом подавления синфазного сигнала (CMRR):

$$CMRR^B = 20 \log [dV_{\text{сиг}} / dV_{\text{сф}}]$$

Симметричная передача используется в большинстве быстродействующих интерфейсов, таких как RS-422 и RS-485.

3.4. Стандартный интерфейс RS/TIA-232 (ССИТТ V.24)

Стандартный интерфейс RS-232 был разработан с единственной целью – обеспечение связи между терминальным оборудованием (DTE) и аппаратурой передачи данных (DCE), использующей последовательный обмен двоичными данными. В частности, интерфейс RS-232 был разработан для связи терминалов с модемами.

Стандарт на интерфейс RS-232 был выпущен в США в 1969 году производственным отделом RS. Почти сразу же были выпущены небольшие поправки, и в конечном итоге был получен современный стандарт RS-232-C. Первоначально стандарт RS-232-C

назывался RS-232 (где буквы «RS» означали рекомендованный стандарт), который широко используется до сих пор. Текущей модификацией этого стандарта является EIA/TIA-232E (1991 год), который ставит его в один ряд с международными стандартами ITU V.24, ITU V.28 x и ISO-2110. Общепринято называть все модификации стандартов EIA/TIA как EIA-232, поскольку они функционально эквивалентны. Только в тех случаях, когда обсуждаются какие-либо различия конкретных модификаций, добавляется буква версии.

Неправильное понимание стандарта RS-232 отвечало за многие проблемы, возникавшие при связи оборудования различных производителей. Это привело к тому, что некоторые пользователи стали подвергать сомнению его «стандартность». Необходимо подчеркнуть, что RS-232 и другие связанные с ним RS стандарты определяют только электрические и механические параметры интерфейса, но не определяют протокол связи.

Стандарт на интерфейс RS-232 определяет способ соединения двух устройств - DTE и DCE.

DTE: Терминальное оборудование, например компьютер или принтер. DTE устройство производит обмен данными с DCE устройством. DTE устройство передает данные на контакт 2 и принимает их на контакт 3.

DCE: Аппаратура передачи данных, например модем, сейчас в стандарте RS-232E также называется терминальным оборудованием. DCE устройство принимает данные от DTE устройства и повторно передает их через другой канал передачи данных, такой как телефонная линия. DCE устройство передает данные на контакт 3 и принимает данные на контакт 2.

Основные элементы RS-232

Стандарт RS-232 состоит из трех основных частей:

- электрические характеристики сигнала;
- механические характеристики интерфейса;
- функциональное описание цепей обмена.

Электрические характеристики сигнала

RS-232 определяет такие электрические характеристики сигнала, как уровни напряжения, параметры заземления сигналов обмена и сопутствующих схем для несимметричной системы.

Передачик RS-232 должен обеспечивать напряжения в диапазоне:

- Логическая 1: от -5 В до -25 В;
- Логический 0: от +5 В до +25 В;
- Неопределенный логический уровень: от +5 В до -5 В.

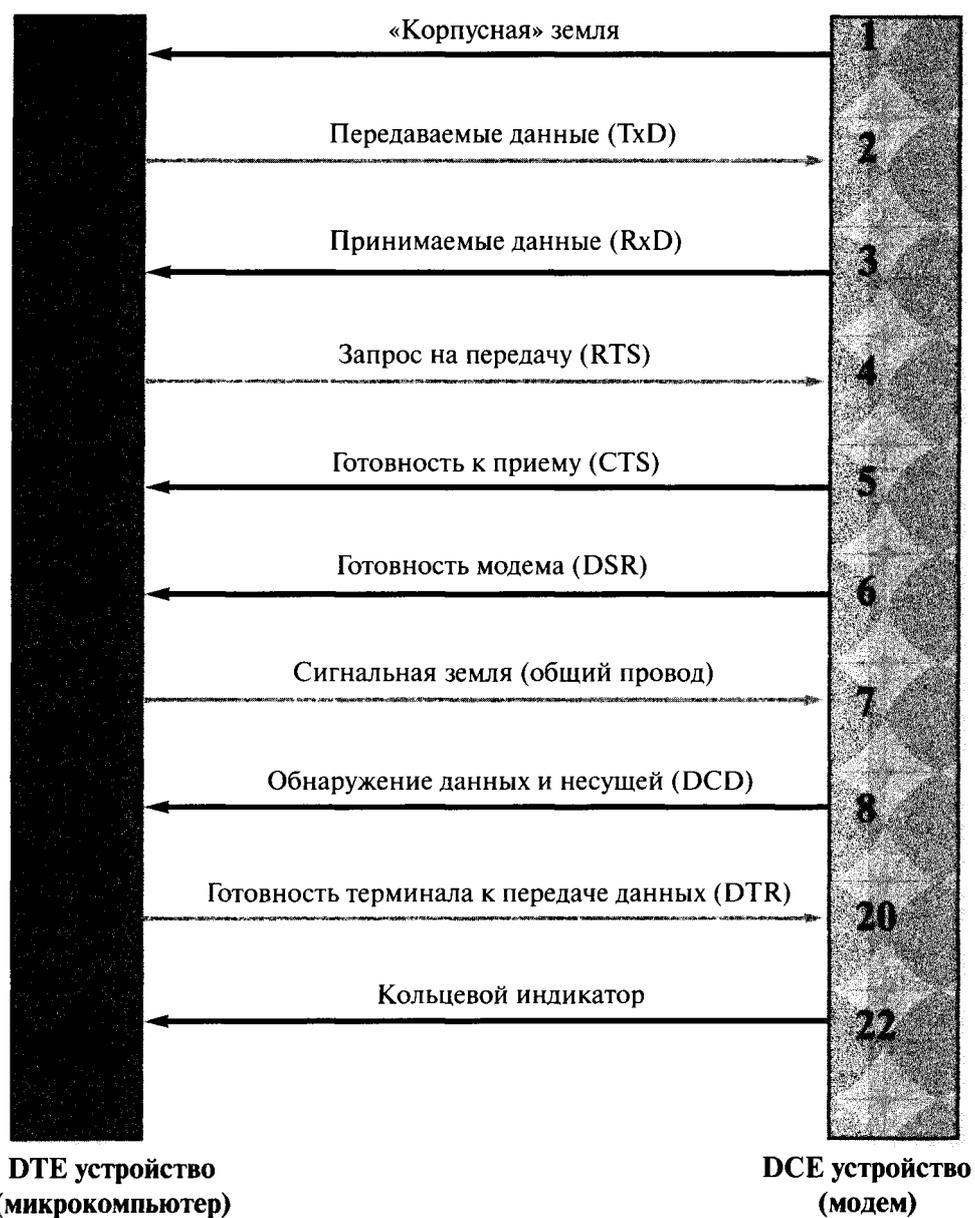


Рис. 3.4. Связь между DTE и DCE устройствами

Для приемника RS-232 определены следующие напряжения:

- логическая 1: от -3 В до -25 В;
- логический 0: от +3 В до +25 В;
- неопределенный логический уровень: от -3 В до +3 В.

Примечание. Передатчик RS-232 требует несколько более высокого напряжения, чтобы компенсировать падение на линии.

Уровни напряжения, связанные с микропроцессором, обычно составляют 0 В и +5 В, что связано с транзисторно-транзисторной логикой (TTL). Чтобы довести напряжение до необходимого уровня канала связи, на передающей стороне используется линейный формирователь. Аналогично на принимающей стороне требуется линейный приемник, преобразующий напряжение канала связи в напряжения, подходящие для микропроцессора.

Блок питания современного ПК обычно имеет стандартные +12 В, которые можно использовать для линейного формирователя.

Линии управления (квитирования) имеют тот же самый диапазон напряжений при передаче логического 0 и логической 1, за исключением того, что они имеют противоположную полярность. Это означает, что:

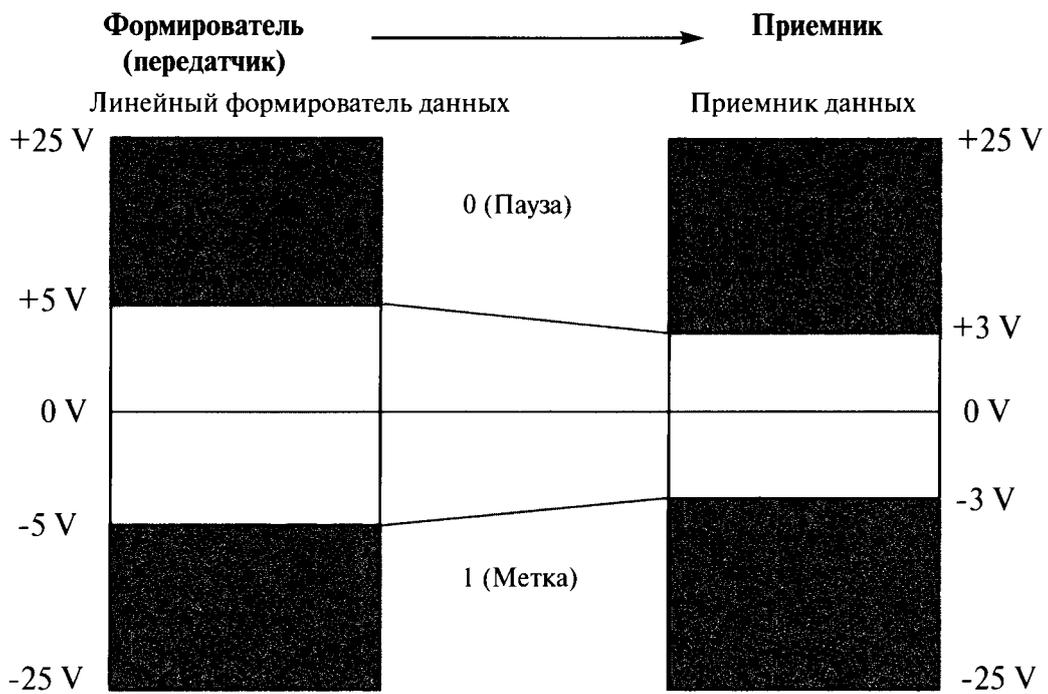
- управляющая линия, активизированная передающим устройством, имеет диапазон напряжений от +5 В до +25 В. Приемное устройство, подключенное к этой управляющей линии, допускает диапазон **напряжений от +3 В до +25 В;**
- управляющая линия, сделанная передающим устройством неактивной, имеет диапазон напряжений от -5 В до -25 В. Приемное устройство, подключенное к этой управляющей линии, допускает диапазон напряжений от -3 В до -25 В.

На принимающей стороне приемник необходим для каждой линии данных и управления, чтобы преобразовать уровни напряжения линий обратно к логическим уровням 0 В и +5 В, требуемым внутренними электронными схемами.

Стандарт RS-232 определяет 25 электрических подключений. Все подключения разделены на четыре группы:

- линии данных;
- управляющие линии;
- линии синхронизации;
- дополнительные линии.

Линии данных используются для передачи данных. Поток данных назначается от предполагаемого DTE интерфейса. Передающая линия, по которой DTE устройство передает и DCE устройство принимает сигналы, связана с контактом 2 на DTE сторо-



Линии данных

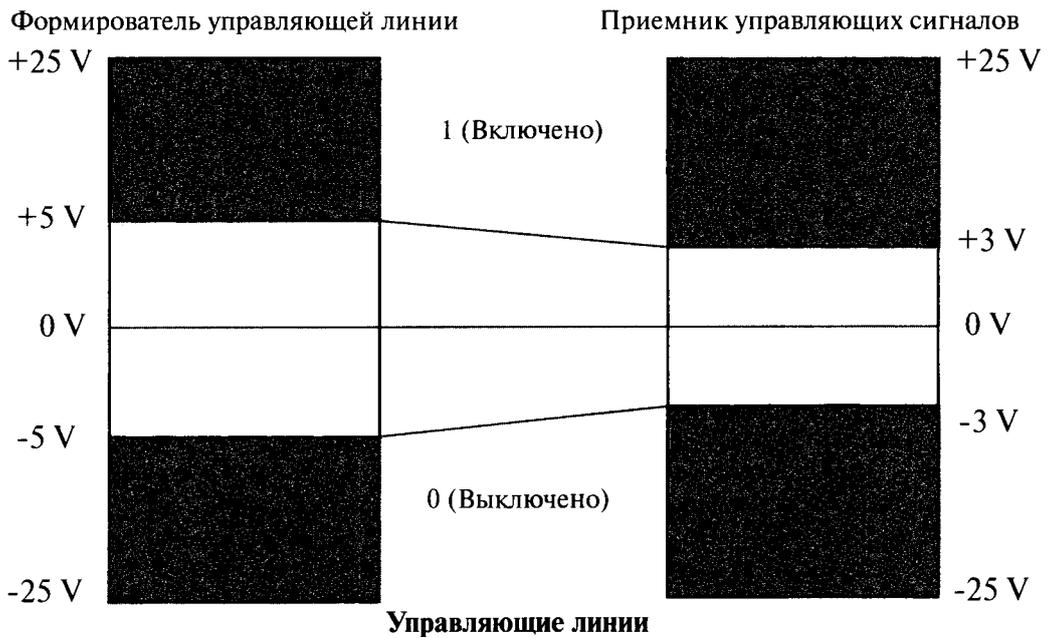


Рис. 3.5. Уровни напряжений для интерфейса RS-232

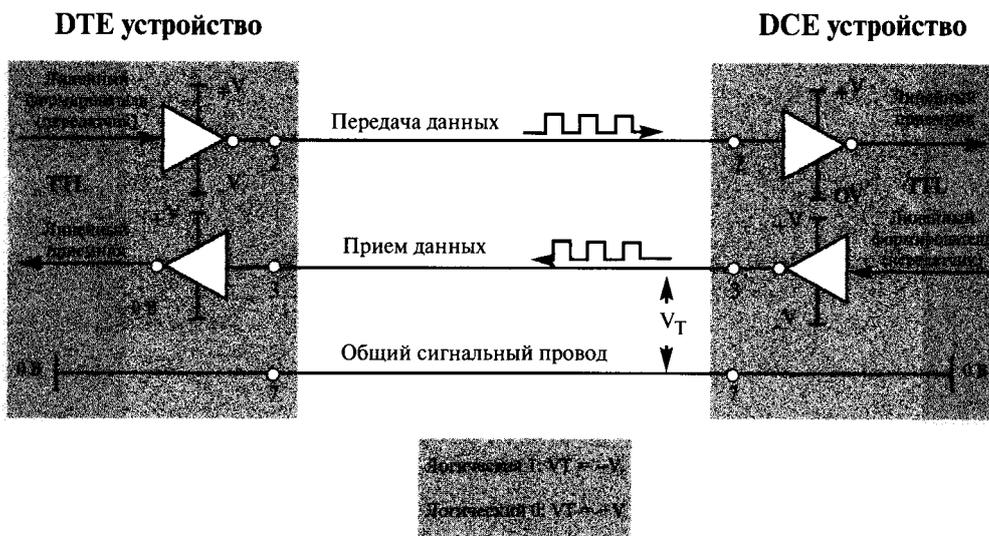


Рис. 3.6. Передатчики и приемники RS-232

не и с контактом 2 на DCE стороне. Приемная линия, по которой DTE устройство принимает, а DCE устройство передает данные, связана с контактом 3 на DTE стороне и с контактом 3 на DCE стороне. Контакт 7 является общим обратным проводом для линий передачи и приема данных. Назначение линий показано в табл. 3.2.

Управляющие линии используются для интерактивного управления устройством, что обычно называется аппаратным **квитированием**. Они управляют способом передачи потока данных через интерфейс. Наиболее часто используются четыре управляющих линии:

- | | |
|--------------|--|
| • RTS: | запрос передачи |
| • CTS: | сброс передачи |
| • DCE Ready: | готовность данных (DSR в RS-232-C) |
| • DTE Ready: | готовность терминального оборудования (DTR в RS-232-C) |

Важно помнить, что для линий квитирования состояние разрешения означает положительное напряжение, а состояние запрета означает отрицательное напряжение.

Аппаратное квитирование часто является причиной многих интерфейсных проблем. Производители иногда игнорируют управляющие линии в своем оборудовании с интерфейсом RS-232 и назначают им несвойственные применения. Следовательно, многие приложения не применяют квитирование, а вместо этого используют только три линии данных (передача, прием и общий сигнальный провод) с каким-нибудь программным квитированием. В этом случае контроль за потоком данных производит прикладная программа. Большинство систем, которые встречаются при передаче данных для целей контроля и управления, вместо аппаратного квитирования используют какой-нибудь программный протокол. Эти протоколы обсуждаются в главе 8.

Между допустимой скоростью передачи данных и длиной кабеля, соединяющих два устройства по интерфейсу RS-232, имеется определенная связь. По мере увеличения скорости передачи данных качество переключений сигнала от одного уровня напряжения к другому (например, от -25 В к +25 В) начинает в большой степени зависеть от емкости и индуктивности кабеля.

Скорость, с которой напряжение может переключаться с одного логического уровня на другой, зависит главным образом от емкости кабеля, причем емкость кабеля увеличивается с его длиной. Длина кабеля ограничена количеством ошибок в данных, допустимых при передаче. Стандарты RS-232 D и E определяют в качестве предельной величины емкость кабеля 2500 пФ. Поскольку за последнее время типичная погонная емкость кабеля уменьшилась от 160 до 50 пФ/м, то и максимальная длина кабеля увеличилась от 15 до почти 50 метров.

Наиболее распространенными скоростями передачи данных для интерфейса RS-232 являются ПО, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 и 19200 бит/с. Подготовленная на основании полевых испытаний таблица 3.1 показывает практическую связь между выбранной скоростью передачи данных и максимально допустимой длиной кабеля, причем можно видеть, что кабели большей длины можно использовать только при низких скоростях передачи данных. Следует отметить, что максимально достижимая скорость зависит от напряжений передатчика, емкости кабеля (как упоминалось выше), а также от наличия помех.

Скорость передачи, бод	Длина кабеля, метры
110	850
300	800
600	700
1200	500
2400	200
4800	100
9600	70
19 200	50
115 К	20

Таблица 3.1. Связь максимальной длины кабеля интерфейса RS-232 со скоростью передачи

Механические характеристики интерфейса

Стандарт RS-232 определяет механические характеристики интерфейса между DTE и DCE устройствами. Этот раздел утверждает, что интерфейс должен состоять из штекера и гнезда и что гнездо обычно бывает на DCE устройстве. Приводятся характеристики знакомого разъема DB-25, а также альтернативного 26-контактного разъема меньших размеров.

Хотя стандартом RS-232C это и не определено, но разъем DB-25 (25 контактов, тип D) тесно ассоциируется с интерфейсом RS-232 и стал стандартом de facto, начиная с модификации D. Модификация E формально определяет новый альтернативный 26-контактный разъем (известный как разъем ALT A). Этот разъем поддерживает все 25 сигналов, связанных с интерфейсом RS-232. Разъем ALT A физически меньше разъема DB-25 и удовлетворяет требованию по уменьшению разъема, который подходил бы к современным компьютерам. Контакт 26 в настоящее время не используется. На большинстве оборудования, совместимого со стандартом RS-232, на котором совсем или почти не используется квитиование, распространен разъем DB-9 (9 контактов, тип D). Это все пошло с тех пор, когда компания IBM решила произвести универсальный параллельный/последовательный адаптер для персонального компьютера AT. Разъем меньшего формата необходим был для того, чтобы оба интерфейса можно было подключать к стандартной интерфейсной плате ISA. Впоследствии разъем DB-9 стал промышленным стандартом, позволившим уменьшить ненужное количество контактов. Назначение контактов, обычно используемое для разъемов DB-9 и DB-25 интерфейса RS-232, приведено в табл. 3.2. Назначение контактов для разъема DB-9 не соответствует разьему DB-25 и часто является «ловушкой» для невнимательных пользователей.

Контакты для передачи данных разъема DB-9 компании IBM обычно назначаются следующим образом:

- Передача данных – контакт 3.
- Прием данных – контакт 2.
- Общий сигнальный провод – контакт 5.

Номер DTE контакта	Назначение контактов разъема DB-9 стандарта IBM	Назначение контактов разъема DB-25 стандарта EIA-232	Назначение контактов DB-25 стандарта EIA-530разъема
1	Принимаемый сигнал линии	Экран	Экран
2	Принимаемые данные	Передаваемые данные	Передаваемые данные (A)
3	Передаваемые данные	Принимаемые данные	Принимаемые данные (A)
4	Готовность DTE устройства	Запрос передачи	Запрос передачи (A)
5	Сигнальная земля/Общий провод	Сброс передачи	Сброс передачи (A)
6	Готовность DCE устройства	Готовность DCE устройства	Готовность DTE устройства (A)
7	Запрос передачи	Сигнальная земля/ Общий провод	Сигнальная земля/Общий провод
8	Сброс передачи	Принимаемый сигнал линии	Принимаемый сигнал линии (A)
9	Контрольное напряжение	Положительное контрольное напряжение	Синхронизация приемника (B)
10	Индикатор звонка	Отрицательное контрольное напряжение	Принимаемая линия (B)
11		Не задействован	Синхронизация передатчика (B)
12		Обнаружение несущей вторичных данных	Синхронизация передатчика
13		Вторичный сброс передачи	Вторичный сброс передачи (B)
14		Вторичные передаваемые данные	Передаваемые данные (B)
15		Синхронизация передатчика	Синхронизация передатчика (A)
16		Вторичные передаваемые данные	Передаваемые данные (B)
17		Синхронизация приемника	Синхронизация приемника (A)
18		Местная обратная петля	Местная обратная петля
19		Вторичный запрос передачи	Запрос передачи (B)
20		Готовность DTE устройства	Готовность DTE устройства (A)
21		Удаленная петля обратной связи/Качество сигнала	Удаленная петля обратной связи
22		Индикатор звонка	Готовность DCE устройства (B)
23		Скорость передачи сигнала	Готовность DTE устройства (B)
24		Синхронизация передатчика	Синхронизация передатчика
25		Контрольный режим	Контрольный режим

Таблица 3.2. Назначение контактов разъемов DB-9 и DB-25 для интерфейсов RS-232 и EIA/TIA-530 (часто используется для RS-422 и RS-485)

Функциональное описание линий обмена

Стандарт RS-232 определяет функции сигналов, данных, синхронизации и управления, используемых в интерфейсе DTE- и DCE- устройств. Однако лишь небольшое количество определений в этом разделе относится к применениям, используемым для обмена данными в системах контроля и управления.

Функции линий вводятся в отношении DTE устройств и являются следующими:

- **Защитная земля (экран)**
Защитная земля обеспечивает равенство потенциалов шасси DTE и DCE устройств. (Необходимо помнить, что защитное заземление может привести к проблемам образования паразитных земельных контуров).
- **Передаваемые данные (TxD)**
Эта линия передает последовательные данные от DTE устройства к соответствующему контакту DCE устройства. По время паузы на линии подерживается отрицательный потенциал.
- **Принимаемые данные (RxD)**
Эта линия передает последовательные данные от DCE устройства к соответствующему контакту DTE устройства
- **Запрос передачи (RTS)**
Линия RTS – аппаратная управляющая линия и служит для запроса передачи. Она становится активной (+V), когда DTE устройство запрашивает разрешение на передачу данных. После этого DCE устройство активизирует (+V) линию CTS (сброс передачи) – линию аппаратного потока данных.
- **Сброс передачи (CTS)**
Когда полудуплексный модем принимает данные, DTE устройство удерживает RTS линию неактивной. Если наступает очередь DTE устройства передавать данные, то оно информирует модем активизацией линии RTS. Когда модем выставляет сигнал CTS, то он информирует DTE устройство, что теперь можно передавать данные.
- **Готовность DCE устройства**
Ранее называемая линией готовности данных (DSR), линия готовности DTE устройства является сигналом индикации от DCE к DTE устройству, что модем готов.
- **Сигнальная земля (общий провод)**
Это общая линия возврата для всех передаваемых и принимаемых сигналов, а также для всех остальных цепей интерфейса. Соединение между двумя концами производится всегда.
- **Обнаружение несущей данных (DCD)**
Эта линия называется также линией обнаружения сигнала на линии приемника. Она активизируется модемом, когда он принимает несущую от удаленного устройства и остается активной все время связи.
- **Готовность DTE устройства (готовность терминала)**
Ранее называемая линией готовности терминала (DTR), линия готовности DTE устройства разрешает, но не подключает модем к линии. В ре-

Номер контакта	Номер ССИТ	Цепь	Описание	Направление действия
1	–	–	Экран	К DCE
2	103	BA	Передаваемые данные	К DCE
3	104	BB	Принимаемые данные	От DCE
4	105/133	CA/CJ	Запрос на передачу/ Готовность к приему	К DCE
5	106	CBC	сброс передачи	От DCE
6	107	CC	Готовность DCE устройства	От DCE
7	102	AB	Общий сигнальный провод	–
8	109	CF	Обнаружение несущей данных	От DCE
9	–	–	Зарезервировано для целей тестирования	–
10	–	–	Зарезервировано для целей тестирования	–
11	126	См. примечание	Не назначено	–
12	122/112	SCF/CI	Обнаружение несущей вторичных данных/ Переключение скорости передачи	От DCE
13	121	SCB	Вторичный сброс передачи	От DCE
14	118	SBA	Вторичные передаваемые данные	К DCE
15	114DB		Внешняя синхронизация передатчика(DTE источник)	От DCE
16	119	SBB	Вторичные принимаемые данные	От DCE
18	141	LL	Местная обратная петля	К DCE
19	120	SCA	Вторичный запрос на передачу	К DCE
20	108/112	CD	Готовность DTE устройства	К DCE
21	140/110	RL/CG	Удаленная обратная петля/ Качество сигнала	К/ от DCE
22	125	CE	Индикатор звонка	От DCE
23	111/112	CH/CI	Выбор скорости передачи данных (DTE/DCE источник)	К/от DCE
24	113	DA	Синхронизация передатчика (DTE источник)	К DCE
25	142	TM	Режим тестирования	От DCE
26			Отсутствует(разъем Alt A)	Ничего не подключается

Таблица 3.3. Назначение контактов ITU-T V24(ISO 2110)

жиме источника сигнал готовности DTE устройства должен был активизирован для обеспечения автоматического набора номера. В режиме ответа сигнал готовности DTE должен активизироваться для автоматического ответа.

- Индикатор звонка
Этот контакт активизируется во время присутствия напряжения звонка на линии.
- Выбор скорости передачи данных (DSRS)
Если возможны две скорости передачи данных, то путем активизации линии DSRS выбирается высшая скорость, однако в настоящее время эта линия практически не используется.

Полудуплексный режим работы интерфейса RS-232

Приводимое ниже описание одной конкретной операции интерфейса RS-232 справедливо для полудуплексного обмена данными. Это описание можно отнести и к более часто используемому полнодуплексному режиму.

Рис. 3.7 иллюстрирует операцию, инициируемую пользовательским терминалом, DTE, и связанным с ним модемом, DCE, которые изображены с левой стороны. Справа находятся удаленный компьютер и его модем.

Когда пользователь передает информацию по телефонной линии к удаленному модему и компьютеру, происходят следующие действия:

- Пользователь, инициирующий операции, вручную набирает номер удаленного компьютера.
- Принимающий модем переводит индикатор звонка линии (RI) в состояние включено/выключено, согласно вызывающему тональному сигналу. Удаленный компьютер уже держит линии готовности терминала в активном состоянии (DTR), указывающие на то, что он готов принять вызов, либо через несколько звонков DTR линию может активизировать удаленный компьютер. Затем удаленный компьютер активизирует запрос к передающей линии (RTS).
- После этого принимающий модем отвечает и передает несущий сигнал на инициирующую сторону. Через несколько секунд он выставляет сигнал готовности устройства DCE.
- Иницирующий модем затем активизирует линию обнаружения несущей данных (DCD). Иницирующий терминал активизирует свой сигнал DTR (если он еще не находился в высоком состоянии). Затем модем отвечает активизацией линии готовности DTE устройства.
- Принимающий модем активизирует линию сброса передачи (CTS), которая позволяет передавать данные с удаленного компьютера на инициирующую сторону.
- После этого данные передаются с принимающего DTE устройства (передаваемые данные) к принимающему модему. Принимающий удаленный компьютер может затем передать короткое сообщение, чтобы указать инициирующему терминалу, что он может продолжить передачу данных. Иницирующий модем передает данные инициирующему терминалу.

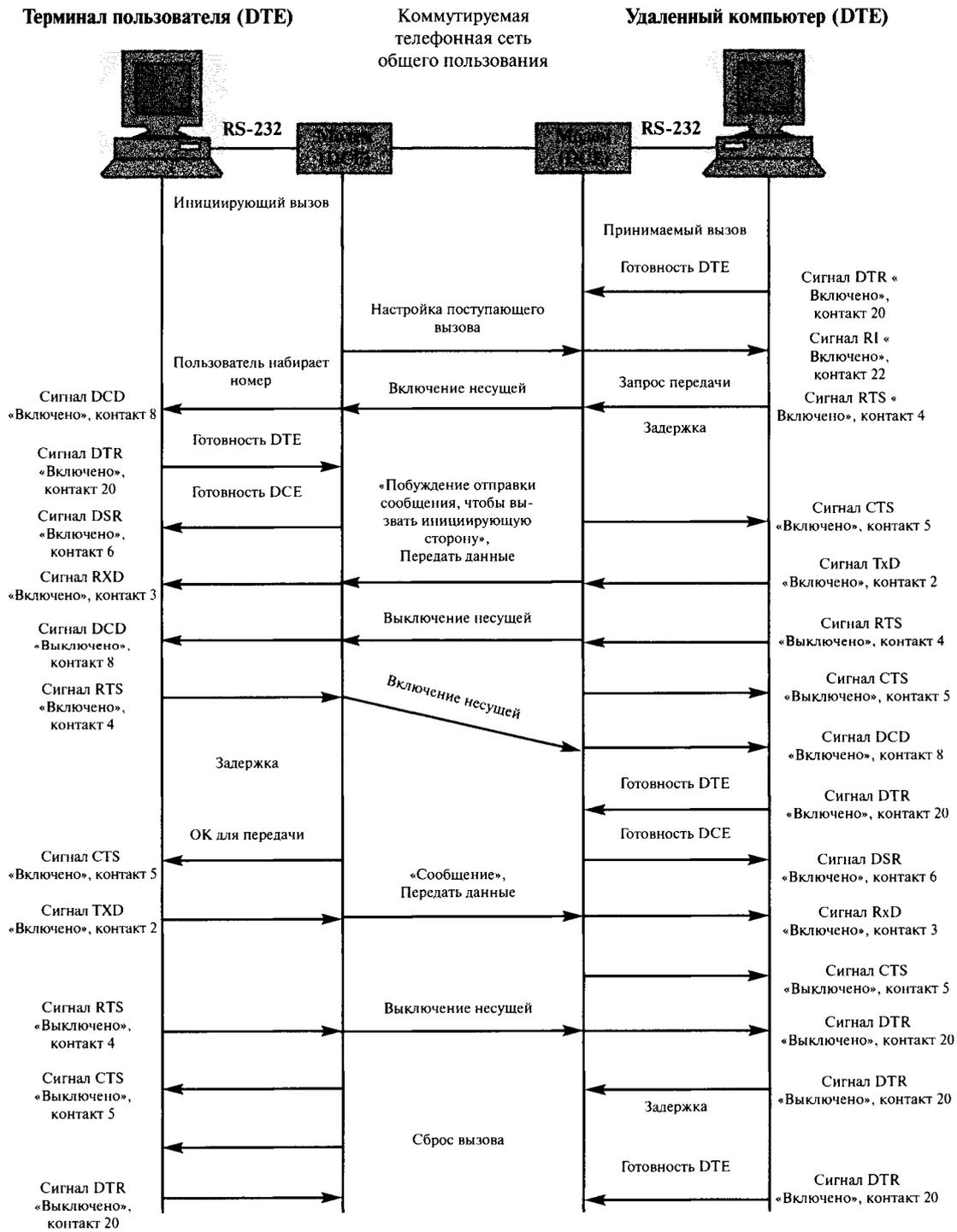


Рис. 3.7. Последовательность операций интерфейса RS-232 для полудуплексного режима

- Принимающий терминал переводит свой запрос на передачу (RTS) в состояние «выключено». Затем принимающий модем переводит линию, осуществляющую сброс передачи (CTS), в состояние «выключено».
- После этого принимающий модем выключает сигнал несущей.
- Иницирующий терминал определяет, что линия обнаружения сигнала несущей (DCD) иницирующего модема выключена, и переводит свою линию RTS в состояние «включено». Иницирующий модем указывает, что передача может быть продолжена переводом линии CTS в состояние «включено».
- Затем передача данных продолжается от иницирующего терминала к удаленному компьютеру.
- Когда обмен данными будет завершен, обе несущие выключаются, и во многих случаях сигнал DTR переводится в состояние «выключено». Это означает, что линии готовности CTS, RTS и DCE переводятся в состояние «выключено»

Полнодуплексная операция требует, чтобы передача и прием происходили одновременно. В этом случае ни на одной из сторон не производится взаимодействие линий TRS/CTS. Линии RTS и CTS остаются в состоянии «включено» при наличии несущей к удаленному компьютеру.

Краткое описание модификаций стандарта RS/TIA-232

Ниже приводится краткое описание основных различий модификаций C, D и E стандарта RS-232.

Модификация D (RS-232D)

Формально был определен 25-контактный разъем D-типа. Для модификации C в приложении была сделана ссылка на разъем D-типа и было включено отрицание того, что этот разъем не является частью стандарта, хотя de facto он был стандартом.

Диапазоны напряжений управляющих сигналов и сигналов данных были расширены до максимального значения 25 вольт от ранее определенных в модификации C 15 вольт.

Пятнадцатиметровое ограничение, неявно накладываемое емкостью цепи, было заменено требованием, что «емкость цепи не должна превышать 2500 пФ» (стандартный кабель RS-232 имеет емкость около 150 пФ/м).

Модификация E (RS-232E)

Модификация E формально определяет новый 26-контактный альтернативный разъем - ALT A. В отличие от 9-контактного разъема, который стал использоваться для RS-232 в последние годы, этот разъем поддерживает все 25 сигналов, связанных с RS-232. В настоящее время контакт 26 не используется. Технические изменения, вызванные RS-232E, не создают проблем совместимости с оборудованием, придерживающимся предыдущих модификаций стандарта RS-232.

Данная модификация ставит стандарт RS-232 в один ряд с международными стандартами CCITT V.24, V.28 и ISO 2110.

Ограничения

Несмотря на популярность и широкое использование, необходимо помнить, что интерфейсный стандарт RS-232 первоначально был разработан для связи терминалов с модемами. В свете современных требований интерфейс RS-232 имеет несколько слабых мест. Большинство из них возникло в результате увеличивающихся требований по подключению других устройств, таких как ПК, цифровые измерительные приборы, цифровые регулируемые приводы, системы управления питанием и другие периферийные устройства промышленных предприятий.

Основными ограничениями интерфейса RS-232 при его использовании для обмена данными в системах контроля и управления в условиях промышленного предприятия являются:

- двухточечное подключение, поскольку часто необходимо использовать несколько интеллектуальных устройств;
- ограничение на расстояние: 15 метров от одного устройства до другого для большинства систем управления слишком мало;
- для многих применений скорость 20 кбит/с слишком мала;
- уровни напряжений сигналов от -3 до -25 В и от +3 до +25 В напрямую несовместимы с современными стандартами источников питания.

Ассоциация RS разработала несколько других стандартов на интерфейсы, которые позволяют преодолеть некоторые из этих ограничений. В последнее время в системах контроля и управления расширяется использование интерфейсных стандартов RS-422 и RS-485.

3.5. Устранение неполадок в цепях последовательной передачи данных

При отладке последовательного коммуникационного интерфейса необходимо применять логический подход, который позволит избежать траты огромного количества времени и появления чувства разочарования. Рекомендуются процедуры, описываемые ниже.

- Проверка основных параметров. Одинаковы ли для обоих устройств установленные скорости передачи данных, старт/стоповые биты и проверка на четность? Обычно они устанавливаются с помощью DIP-переключателей на устройствах, хотя в настоящее время существует тенденция устанавливать базовые параметры программным образом.
- Определение того, какое устройство является DTE, а какое – DCE. Необходимо внимательно изучить документацию и установить, что реально происходит на контактах 2 и 3 каждого устройства. На 25-контактном разъеме DTE устройства контакт 2 используется для передачи данных, и

на нем должно быть отрицательное напряжение (метка), в то время как контакт 3 используется для приема информации (пассивная линия) и на нем должно быть приблизительно нулевое напряжение. И наоборот, на устройстве DCE контакт 3 должен иметь отрицательное напряжение, а на контакте 3 должно быть приблизительно нулевое напряжение. Если ни на контакте 2, ни на контакте 3 напряжения нет, то устройство, вероятно, не совместимо со стандартом RS-232 и должно подключаться в соответствии с другим стандартом, например RS-422, RS-485 и т.п.

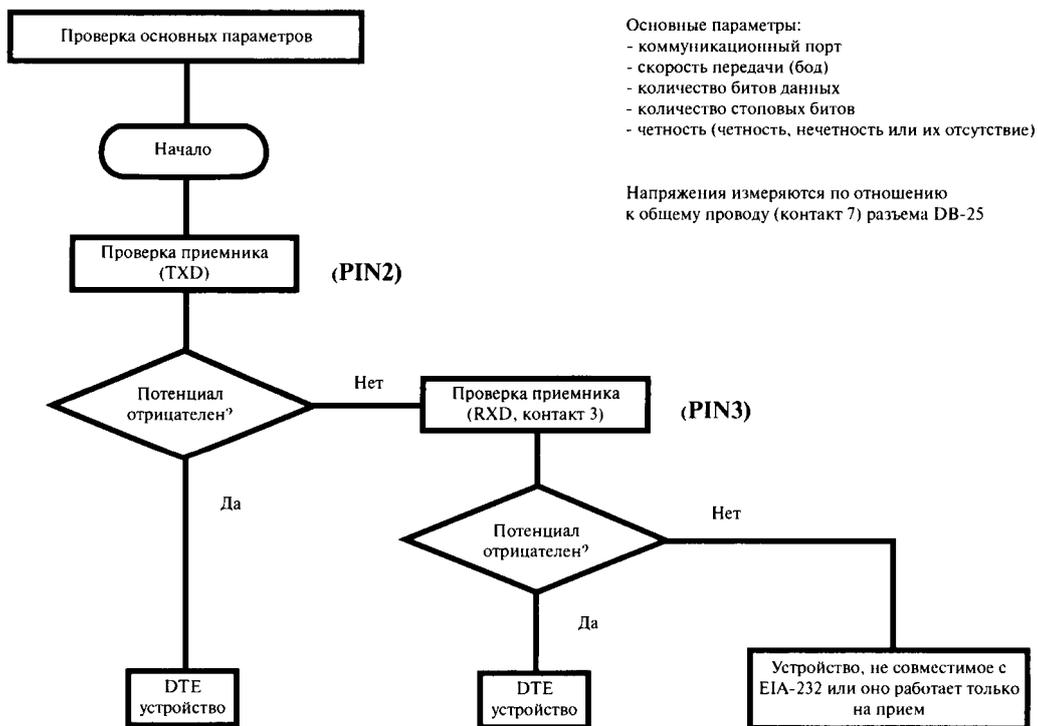


Рис. 3.8. Алгоритм определения типа устройства RS-232 – DTE или DCE

- Проверка необходимости аппаратного квитирования. Аппаратное квитирование может создавать большие трудности, поэтому для прояснения процедуры квитирования необходимо внимательно изучить документацию. Необходимо убедиться в том, что все требуемые провода корректно присутствуют в кабеле.
- Проверка реально используемого протокола. Протокол редко создает проблему, однако если три предыдущих пункта не дали никакого резуль-

тата, то, возможно, имеются нарушения протокола передачи информации между устройствами DCE и DTE.

- И наоборот, если используется программное квитирование, то необходимо убедиться в том, что оба устройства имеют необходимое программное обеспечение. В особенности необходимо проверить, что для XON и XOFF используется одинаковый ASCII символ.

3.6. Тестовое оборудование

С точки зрения проверки канала связи раздел 1.6, описывающий стандарт интерфейса RS-232-E, кажется не совсем реальным. Он гласит: «Генератор канала обмена должен быть разработан таким образом, чтобы выдерживать обрыв цепи, короткое замыкание между проводниками соединительного кабеля, несущими информации, или их замыкание с другими проводниками кабеля, включая общий сигнальный провод, без повреждения как самого генератора, так и связанного с ним оборудования».

Другими словами, теоретически любой контакт может замкнуться на любой другой или даже на землю без каких-либо повреждений! Это не означает, что интерфейс RS-232 нельзя испортить. Некорректное подключение внешних напряжений, конечно же, может испортить интерфейс, как и разряды статического электричества.

Если канала связи не работает, то для анализа возникшей проблемы можно использовать пять следующих полезных приборов:

- Цифровой мультиметр
Любое повреждение кабеля можно обнаружить путем измерения целостности кабеля. С помощью мультиметра можно проверить напряжения на контактах в активном и неактивном состояниях, чтобы убедиться в совместимости напряжений с соответствующими стандартами.
- Светодиод (LED)
Светодиод можно использовать для обнаружения активных линий и для определения соответствия интерфейса определенному стандарту. Это трудоемкая работа, при этом должно быть точное описание назначения всех контактов.
- Коммутационный бокс
- Анализатор протокола на основе ПК (с необходимым программным обеспечением)
- Специализированный анализатор протокола (например, фирмы Hewlett Packard).

Коммутационный бокс

Коммутационный бокс является недорогим прибором, который обеспечивает большинство информации, необходимой для определения и устранения проблем, возникающих в каналах передачи информации, таких как последовательные интерфейсы RS-232, RS-422, RS-423, RS-485 и т.п., а также в параллельных интерфейсах.

Коммутационный бокс подключается к кабелю данных, чтобы сделать доступными для контроля все 25 (или 9, 37, 50 и т.п.) проводников кабеля. Выпускается множест-

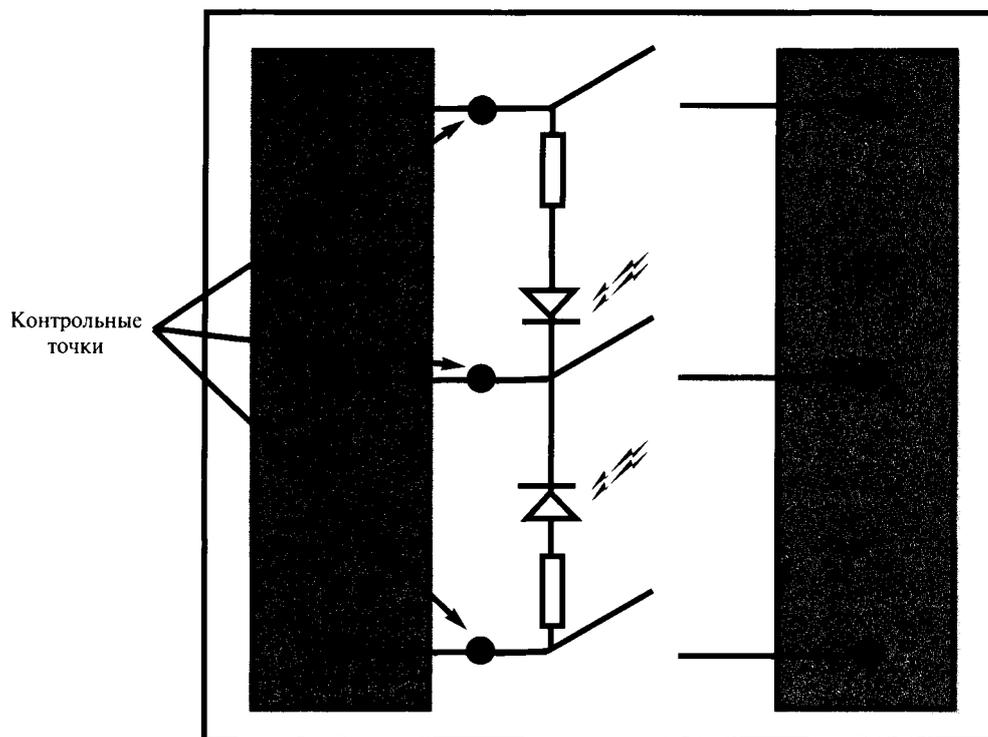


Рис. 3.9. Коммутационный бокс, показывающий потенциалы контрольных точек

во разновидностей данного оборудования – от кустарного, использующего взаимную пару разъемов DB-25 с гнездами и штырьками, до весьма сложных устройств со встроенными диодами, переключателями и контрольными точками.

Обычно коммутационные боксы имеют разъем со штырьками и гнездами, и с помощью двух стандартных последовательных кабелей коммутационный бокс может быть включен последовательно с каналом связи. Двадцать пять контрольных точек могут контролироваться с помощью светодиодов, простого цифрового мультиметра, осциллографа или анализатора протоколов. Кроме того, в каждой линии может быть замкнут или разомкнут ключ, что облегчает поиск причины проблемы.

Основным недостатком коммутационного бокса является то, что хотя и можно прервать любую из линий данных, однако это не сможет помочь с интерпретацией потока битов через линии связи. Для этой цели требуется анализатор протокола.

Нуль-модем

Нуль-модем похож на проходной кабель DB-25 и часто используется для соединения двух устройств, имеющих одинаковый набор контактов (гнезда или штырьки, например, DTE-DTE, DCE-DCE), или устройств от разных производителей с разными требованиями к квитированию. Нуль-модем имеет необходимые внутренние соединения между контактами квитирования, которые заставляют терминал верить в то, что условия передачи данных корректны. Аналогичный результат можно получить, если припаять дополнительные перемычки внутри разъема DB-25. Нуль-модемы обычно приносят больше вреда, чем пользы, поэтому использовать их нужно чрезвычайно осторожно, а в идеале лучше вообще не применять.

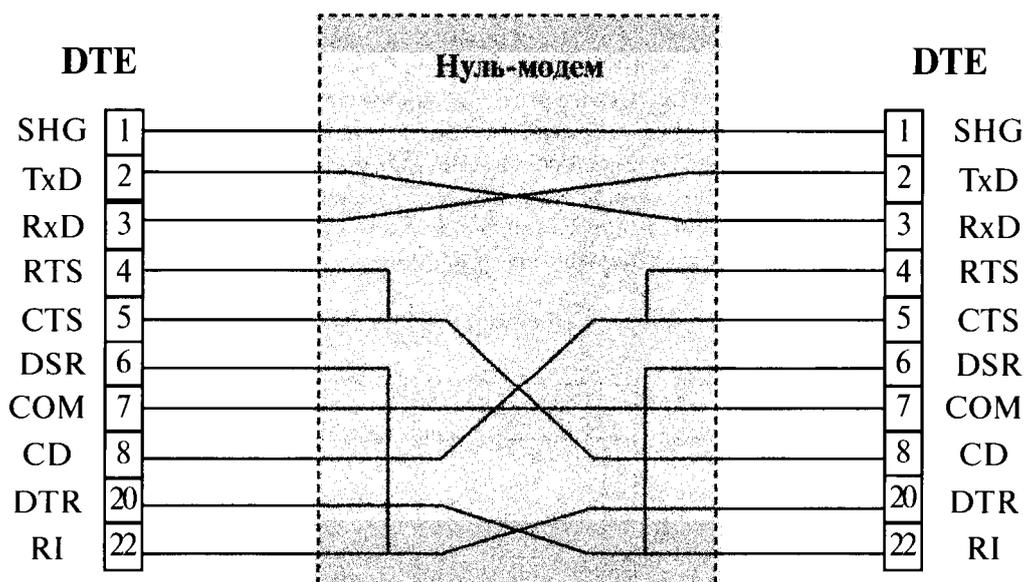


Рис. 3.10. Подключение с помощью нуль-модема

Необходимо отметить, что нуль-модем может случайно соединять контакты 1, как показано на рис. 3.10. Это подключение нежелательно и его лучше избегать.

Возвращающая «заглушка»

Эта заглушка, вставляемая в разъем, возвращает передаваемые данные на контакт приема, а также возвращает линии аппаратного квитирования. Она является еще одним из быстрых способов проверки правильности операций, выполняемых последовательным интерфейсом без подключения к другой системе.

Анализатор протокола

Анализатор протокола используется для отображения состояния реальных разрядов линии данных, а также некоторых специальных управляющих кодов, таких как STX, DLE, LE, CR и т.п. Анализатор протокола можно использовать для мониторинга битов данных при их отправлении в линию и сравнения с тем, что должно быть на линии. Это сравнение позволяет убедиться в том, что передающий терминал посылает корректные данные и что принимающее устройство получает их. Анализатор протокола полезен для обнаружения некорректного задания скорости передачи битов, бита четности, стопового бита, помех, а также некорректного подключения. Он также позволяет анализировать формат сообщения и искать ошибки протокола.

Если было определено, что проблема обусловлена не подключениями, скоростью передачи, битами данных или четности, то на предмет ошибок должно анализироваться содержимое сообщения или противоречивость операций. Анализаторы протокола могут быстро идентифицировать подобные проблемы.

Специализированные анализаторы протокола являются дорогими приборами, и бывает очень трудно оправдать их стоимость, если они используются нечасто. К счастью, было разработано программное обеспечение, которое позволяет использовать в качестве анализатора протокола обычный ПК. Использование ПК в качестве контрольного прибора постоянно расширяется и один из способов подключения ПК в качестве анализатора протокола показан на рис. 3.11.

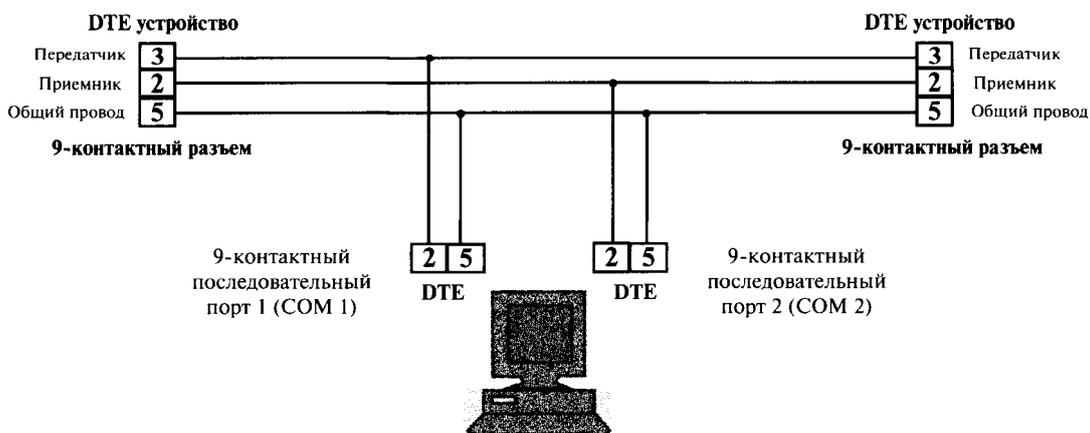


Рис. 3.11. Подключение анализатора протокола

Типичные проблемы с интерфейсом RS-232

Ниже приведен список типичных проблем с интерфейсом RS-232, которые могут возникнуть из-за неправильного подключения. Эти проблемы в равной степени могут быть применены для двух ПК, подключенных друг к другу, или для ПК, подключенного к принтеру.

Проблема	Возможная причина проблемы
Испорченные или потерянные данные	Для двух подключенных портов установлены различные скорости
	Дефект подключающих кабелей
	Несовместимость форматов данных (стоповый бит/четность/отсутствие битов данных)
	Неадекватное управление потоком
	Большое количество ошибок, вызываемых электрическими помехами
Испорчен первый символ	Неадекватен размер буфера
	Порт приемника не обеспечивает достаточно быструю реакцию.
Отсутствие данных	Для обеспечения синхронизации кадра необходимо предварить первые несколько символов кодом ASCII (DEL)
	На оба устройства не подано питание
	Некорректное подключение передающей и принимающей линий
	Некорректное подключение линий квитирования
	Не соответствуют скорости передачи данных двух портов
	Несовместимость форматов данных
	Для EIA-232 линии образована земляная петля
	Большое количество ошибок, создаваемых электрическими помехами передатчику и приемнику
	Несовместимость протоколов
ASCII данные имеют неправильное разделение	Влияние на кабель нестационарных помех
	Имеется несоответствие между символами «LF» и «CR», генерируемыми передающим устройством с принимающим устройством

Таблица 3.4 Перечень типичных проблем с интерфейсом RS-232

3.7. Интерфейсный стандарт RS-449 (ноябрь 1977 года)

Стандарту RS-449 было суждено стать преемником функциональных возможностей интерфейса RS-232. Он определил механические параметры штекеров и гнезд для используемых 37- и 9-контактных разъемов. Помимо улучшенных параметров, относящихся к быстродействию и расстоянию, он также предлагает ряд улучшений, таких как автоматическое тестирование модема, новая система заземления и несколько новых сигналов. Из-за популярности RS-232 интерфейсу RS-449 обеспечивалась небольшая поддержка. Одной из проблем было то, что 37- и 9-контактные разъемы нечасто использовались с интерфейсом RS-232. За последние годы интерфейс RS-449 приобрел поддержку со стороны пользователей RS-422 и RS-485, стандарты которых не определяли никаких механических разъемов. (Назначение контактов см. в табл. 3.5). Сейчас RS-449 вытеснен интерфейсом RS/TIA 530-A.

3.8. Интерфейсный стандарт RS-423

Стандарт RS-423 определяет несимметричный интерфейс для передачи данных, аналогичный RS-232, но содержащий некоторые улучшения. Он позволяет увеличить длину кабеля между устройствами, увеличить скорость передачи данных и использовать несколько приемников на одной линии. Стандарт RS-423 обеспечивает надежный обмен данными в следующих условиях:

- расстояние до 1200 метров;
- скорость передачи до 100 кбит/с;
- только один линейный формирователь на линии, но с увеличенной нагрузочной способностью, что допускает подключение нескольких приемников;
- подключение к одному линейному формирователю до 10 линейных приемников, потребляющих меньший ток.

Увеличение производительности было достигнуто главным образом уменьшением напряжения:

- Логический 0: от -3,6 до -6 В
- Логическая 1: от +3,6 до +6 В

По сравнению со стандартом RS-232 суммарное время нарастания напряжения уменьшено в 4 раза, поскольку перепад в 50 вольт был заменен перепадом в 12 вольт. Влияние емкости линии уменьшено, что позволяет использовать большие скорости передачи. Как и интерфейс RS-232, канал связи является несимметричным и для полной дуплексной передачи требует трех проводов. На рис. 3.12 представлена схема подключения.

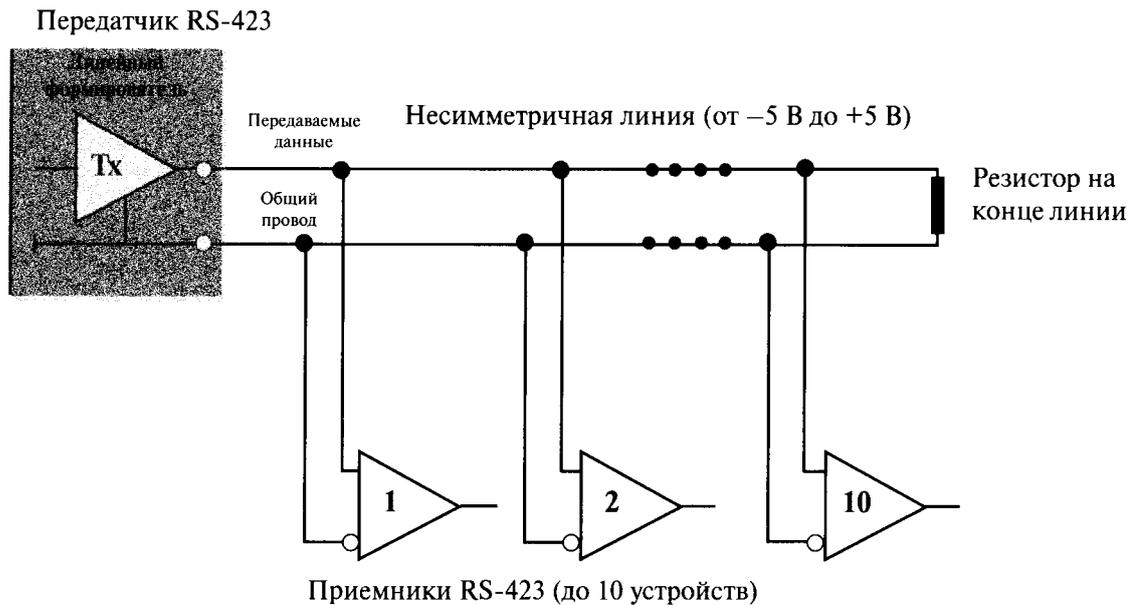


Рис. 3.12. Несимметричное подключение линейных формирователей RS-232

Способность поддерживать до 10 приемников достигается увеличением нагрузочной способности линейных формирователей, уменьшением потребляемого тока входных приемников и подключением приемников в дифференциальном режиме.

Стандарт RS-423 не определяет механические подключения или номера контактов. Обычно используют разъем DB-25, назначение контактов у которого такое же, как и у интерфейса RS-232.

3.9. Интерфейсный стандарт RS-422

Стандарт RS-422, введенный в начале 1970-х годов, определяет симметричный (дифференциальный) интерфейс обмена данными, использующий для каждого сигнала по два отдельных провода. Он позволяет использовать очень высокие скорости передачи данных и минимизировать проблемы, связанные с различными земляными потенциалами, поскольку земля больше не используется в качестве опорного провода, как это имеет место в RS-232 и RS-423. Интерфейс RS-422 является улучшенным вариантом стандарта RS-423 и позволяет следующее:

- передавать данные на расстояние до 1200 метров (аналогично RS-423);
- использовать скорости передачи до 10 Мбит/с (увеличена в 100 раз);
 - иметь на линии только один линейный формирователь;
- подключать к одному линейному формирователю до 10 приемников.

Дифференциальные напряжения между линиями А и В определены следующим образом:

- от -2 до -6 В по отношению к линии В для двоичной 1 (состояние МЕТКА или ВЫКЛЮЧЕНО);
- от $+2$ до $+6$ В по отношению к линии В для двоичного 0 (состояние ПАУЗА или ВКЛЮЧЕНО).

Спецификация определяет линии, как А и В, но их называют также как А(-) и В(+) или TX+ и TX-.

Линейный формирователь для интерфейса RS-422 обеспечивает 5 В дифференциального напряжения на двух проводах. Эти уровни напряжения позволяют передатчикам и формирователям питаться от 5-вольтового источника питания, весьма распространенного в современных компьютерах.

На рис. 3.13 представлена схема подключения RS-422 устройств.

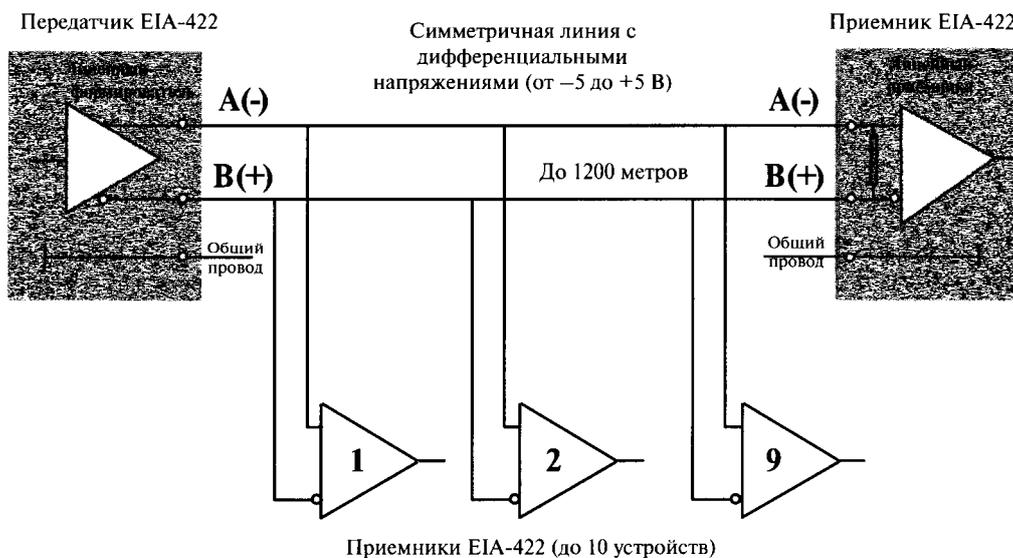


Рис. 3.13. Подключение симметричного линейного формирователя RS-422

Поскольку дифференциальный приемник чувствителен только к разнице напряжений двух сигналов на его входах, то сигналы помех, воздействующие на оба провода, будут сказываться на работе приемника незначительно. Поэтому говорят, что дифференциальные приемники имеют хорошее подавление синфазного сигнала (CMR).

Основной особенностью стандарта RS-422 является дифференциальный сигнал, который позволяет увеличить скорость и помехозащищенность. Каждый сигнал передается по одной паре проводов и представляет разность напряжений между ними. Недостатком является то, что для каждого сигнала требуются по два провода, а не по

одному, как в интерфейсах RS-232 и RS-423. Для уменьшения уровня помех предпочтительнее использовать общий земляной провод. Таким образом, для полудуплекса требуются три провода, и для полного дуплекса - пять проводов.

Симметричный линейный формирователь может также иметь входной сигнал, называемый сигналом разрешения. Целью этого сигнала является подключение формирователя к выходам А и В. Если сигнал разрешения выключен, то формирователь можно считать отключенным от передающей линии (он находится в состоянии высокого сопротивления). (Тристабильные состояния обсуждаются в разделе, описывающем RS-485).

Дифференциальные линии интерфейса RS-422 обычно оканчиваются резистором, равным волновому импедансу (Z_0) линии. Согласованная нагрузка позволяет избежать искажения сигнала при отражении от конца линии. Типичное значение Z_0 для линии из витой пары составляет около 120 Ом.

Номер контакта	Разъем DB-9, используемый для интерфейсов EIA-422 и EIA-485	Назначение контактов разъема DB-37, используемого для интерфейса EIA0449
1	Экран	Экран
2	Передаваемые данные В+	Индикатор скорости передачи
3	Принимаемые данные В+	
4	Запрос передачи В+	Передаваемые данные А-
5	Сброс передачи В+	Синхронизация передачи А-
6	Передаваемые данные А-	Принимаемые данные А-
7	Принимаемые данные А-	Запрос передачи А-
8	Запрос передачи А-	Синхронизация приема А-
9	Сброс передачи А-	Сброс передачи А-
10		Местная петля обратной связи
11		Режим данных А-
12		Готовность терминала А-
13		Готовность приемника А-
14		Удаленная петля обратной связи
15		Входящий вызов
16		Выбор частоты
17		Синхронизация терминала А-
18		Тестовый режим
19		Сигнальная земля
20		Общий провод приемника
21		
22		Передаваемые данные В+
23		Синхронизация передачи В+
24		Принимаемые данные В+
25		Запрос передачи В+
26		Синхронизация приемника В+
27		Сброс передачи В+
28		Занятость терминала
29		Режим данных В+
30		Готовность терминала В+
31		Дежурный режим приемника В+
32		Выбор дежурного режима
33		Качество сигнала
34		Новый сигнал
35		Синхронизация терминала В+
36		Дежурный режим/Индикатор
37		Общий провод передатчика

Таблица 3.5. Обычное назначение контактов разъема DB-9 для интерфейсов RS-422 и RS-485 и назначение контактов разъема DB-37, определенных стандартом RS-449

Стандарт RS-422 не определяет механические подключения или назначение контактов разъемов. Общепринято использовать разъем DB-37 с назначением контактов, как для интерфейса RS-449 (табл. 3.5).

3.10. Интерфейсный стандарт RS-485

Стандарт RS-485 является наиболее универсальным из всех стандартов RS, обсуждаемых в этой главе. Он является расширением стандарта RS-422 и поддерживает те же расстояния и скорости передачи, но допускает большее количество передатчиков и приемников, подключаемых к одной линии.

Стандарт RS-485 поддерживает двухпроводную «многоточечную» сеть и обеспечивает надежный обмен данными в следующих условиях:

- расстояние до 1200 метров (такое же, как и RS-422);
- скорость передачи до 10 Мбит/с (такая же, как и RS-422);
- подключение до 32 линейных формирователей на одну линию;
- подключение до 32 приемников на одну линию.

Примечание. Сеть устройств стандарта RS-485 позволяет подключать 32 передатчика. Если необходимо более 32 устройств, то следует использовать повторители (которые стандартами RS-485 не определены).

Дифференциальные напряжения между линиями А и В определяются следующим образом:

- от $-1,5$ до -6 В по отношению к линии В для двоичной 1 (состояние МЕТКА или ВЫКЛЮЧЕНО)
- от $+1,5$ до $+6$ В по отношению к линии В для двоичного 0 (состояние ПАУЗА или ВКЛЮЧЕНО)

Спецификация определяет линии, как А и В, но их называют также, как А(-) и В(+) или TX+ и TX-.

Как и для интерфейса RS-422, линейный формирователь для интерфейса RS-485 обеспечивает по двум проводам дифференциальное напряжение ± 5 В.

Главным улучшением интерфейса RS-485 является то, что линейный формирователь может работать с тремя состояниями, называемыми *трестабильным режимом*:

- логическая 1
- логический 0
- высокое сопротивление

В состоянии высокого сопротивления линейный формирователь совершенно не потребляет тока и кажется, что его нет на линии. Это состояние называется «отключенным» состоянием, которое может быть инициализировано сигналом на управляющем контакте ИС линейного формирователя. Трестабильный режим позволяет многоточечное подключение, и всего на одну линию может быть подключено до 32

передатчиков, хотя в любое время активным может быть только один передатчик. Каждому терминалу многоточечной системы должен быть назначен уникальный адрес, чтобы избежать конфликтов с другими устройствами системы. На случай возникновения каких-либо конфликтных ситуаций интерфейс RS-485 содержит устройство ограничения тока.

Интерфейсный стандарт RS-485 очень удобен для систем, где к одной линии могут быть подключены несколько измерительных приборов или контроллеров. Особое внимание должно быть уделено программному обеспечению, координирующему работу активных устройств, подключенных к сети. В большинстве случаев главный терминал, такой как компьютер, управляет тем, какой передатчик/приемник должен быть активизирован в любой момент времени.

Двухпроводная линия передачи данных обычно не требует специальной согласующей оконечной нагрузки, если только это специально не оговорено производителем. На длинных линиях передний и задний фронты импульсов данных будут намного круче, если на самых концах линии будут установлены согласующие резисторы, приблизительно равные волновому сопротивлению (Z_0) линии. Это показано на рис. 3.14. Для систем, использующих витую пару, величина резистора обычно составляет 120 Ом.

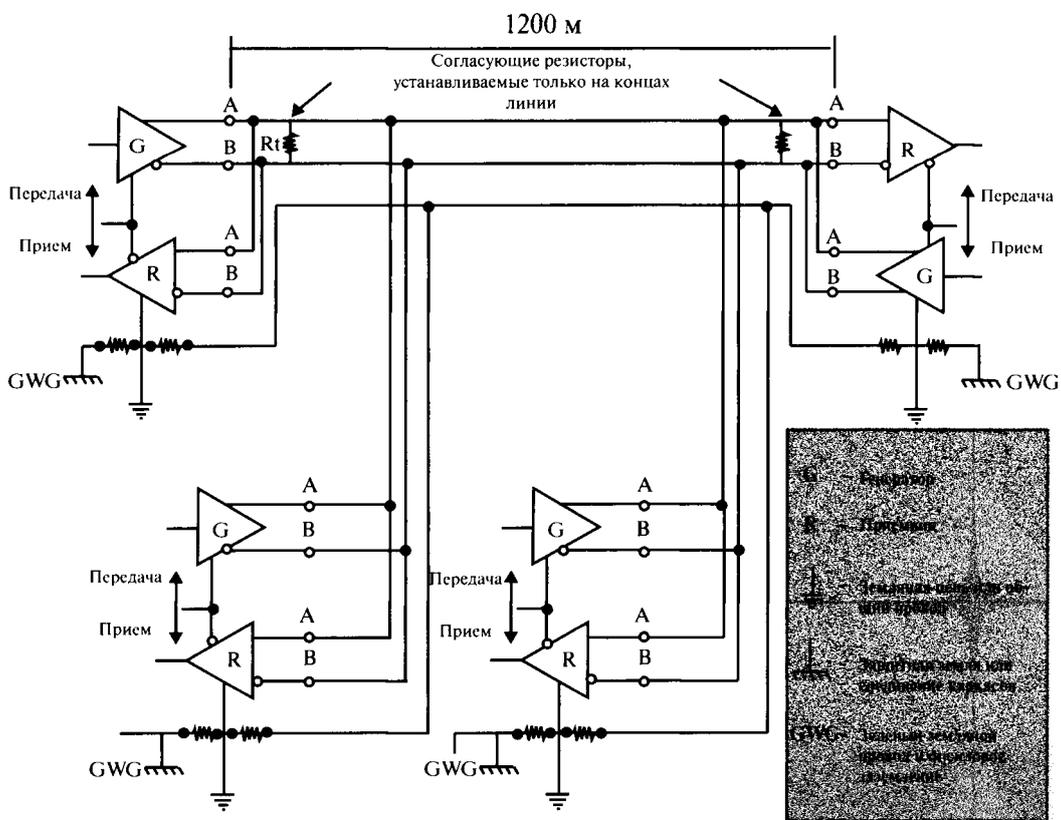


Рис. 3.14. Типичная двухпроводная многоточечная сеть

На рис. 3.14 представлена типичная двухпроводная многоточечная сеть. Следует обратить внимание, что линия передачи нагружена на обоих концах, но не в точках подключения посреди линии. Линия сигнальной земли также рекомендуется в системе RS-485, чтобы удерживать попадающее на приемник синфазное напряжение в пределах от -7 до $+12$ вольт.

Сеть из устройств RS-485 может также иметь четырехпроводную конфигурацию, которая показана на рис. 3.15. При таком подключении необходимо, чтобы один узел был главным, а все остальные – подчиненными. Главный узел производит обмен данными со всеми подчиненными, но подчиненный узел может общаться только с главным. Поскольку подчиненные узлы никогда не слушают отклик другого подчиненного узла на главный узел, то подчиненный узел не может ответить некорректно другим подчиненным узлам. Это является достоинством при работе со смешанными протоколами.

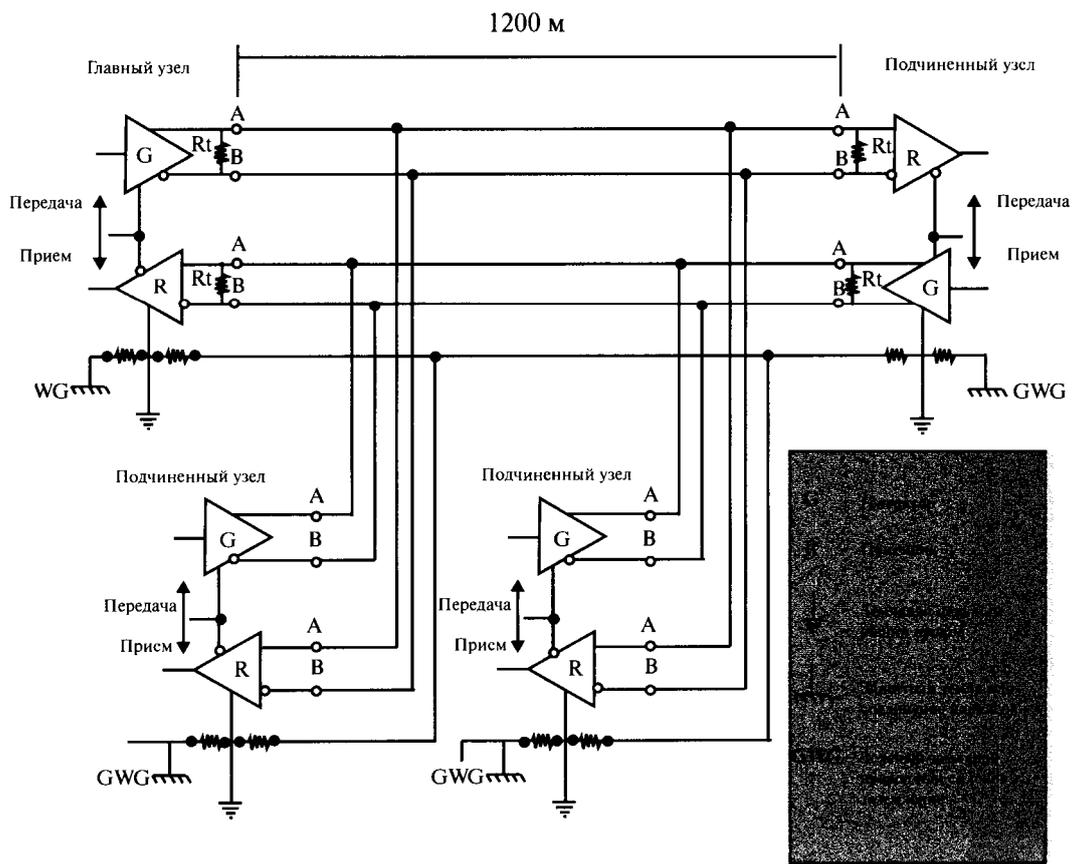


Рис. 3.15. Четырехпроводная конфигурация сети

При обычной работе имеются периоды, когда все формирователи RS-485 выключены и линии обмена данных находятся в неактивном режиме - в состоянии высокого сопротивления. При таких условиях линии восприимчивы к шумам, которые могут быть интерпретированы как хаотичные символы, передаваемые в линии. Если какая-либо конкретная система RS-485 сталкивается с подобными проблемами, то необходимо добавить резисторы смещения с номиналом 10 кОм, как показано на рис. 3.16. Эти резисторы будут поддерживать линии в состоянии метки, когда система находится в состоянии высокого сопротивления.

Заземляющие резисторы, показанные на рис. 3.15, рекомендуются спецификацией и должны иметь сопротивление 100 Ом и мощность 0,5 Вт. Их назначение - уменьшение паразитных токовых цепей, если земляные потенциалы будут иметь большую разницу.

Резисторы смещения выбираются таким образом, чтобы при отсутствии входного сигнала потенциал линии В был по крайней мере на 200 мВ ВЫШЕ, чем потенциал линии А (т.е. все передатчики находятся в состоянии высокого сопротивления). При

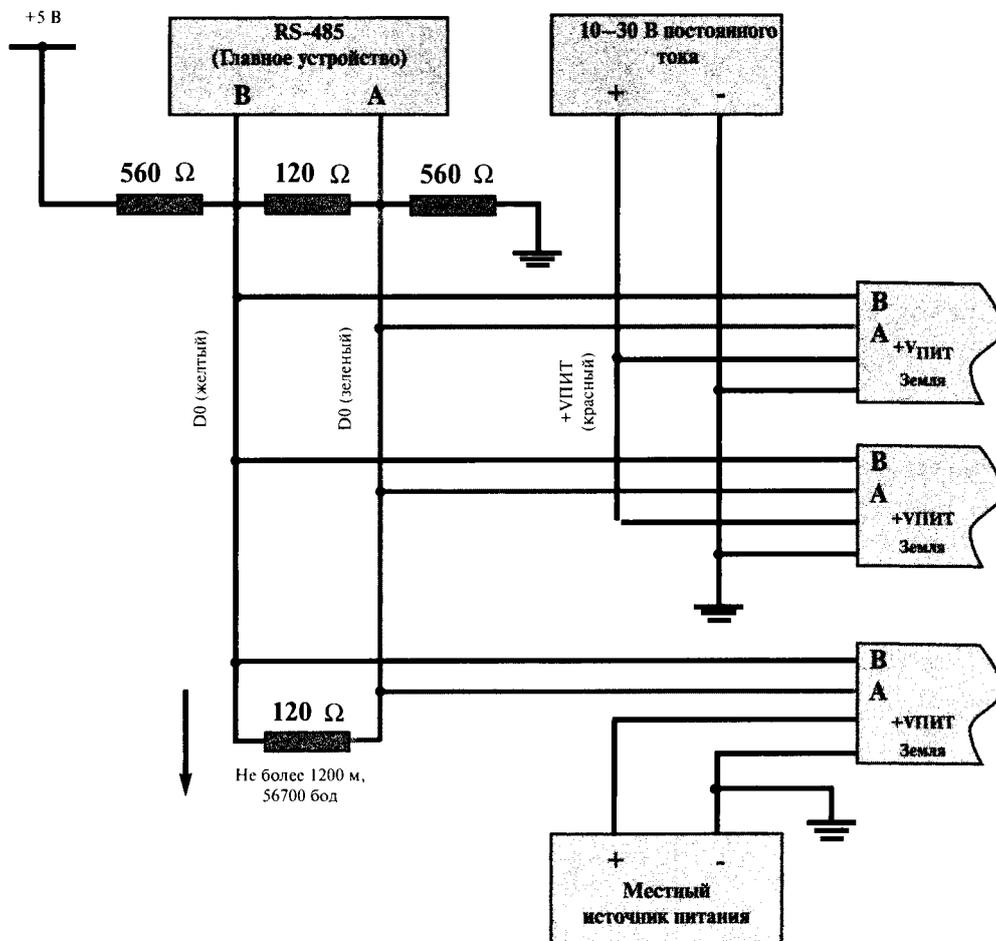


Рис. 3.16. Пример установки резисторов, снижающих уровень помех

вычислении необходимо помнить, что включенными параллельно оказываются два согласующих резистора с сопротивлением по 120 Ом. В данном конкретном примере резисторы смещения используются только в одном узле.

В некоторых системах резисторы смещения используются во всех узлах и в этих случаях значения резисторов смещения должны быть выше, поскольку все они будут включены параллельно.

Линейные формирователи интерфейса RS-485 предназначены для работы с 32 узлами. Это ограничение может быть преодолено путем подключения к сети повторителя интерфейса RS-485. Когда данные появляются на любой стороне повторителя, он передает их на другую сторону. Повторитель интерфейса RS-485 передает полные уровни напряжения, следовательно, к сети можно подключить еще 31 узел. Схема использования интерфейса RS-485 с двунаправленным повторителем показана на рис. 3.17.

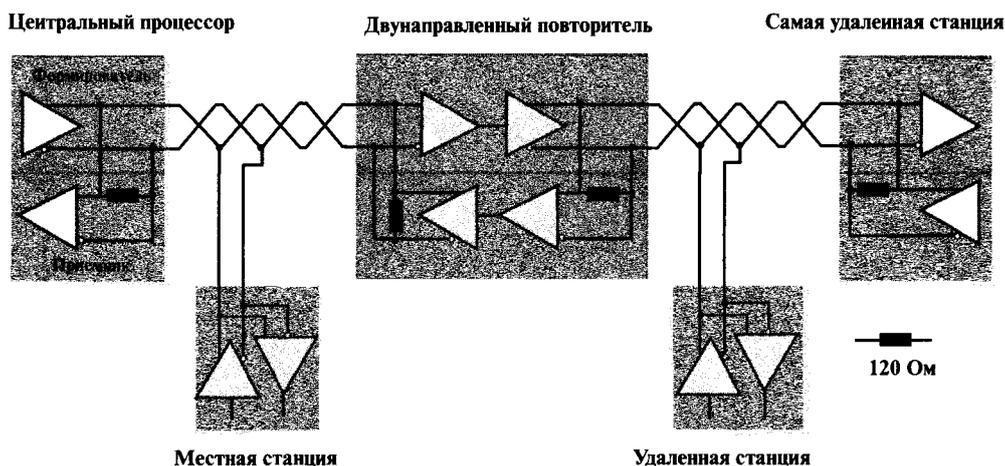


Рис. 3.17. Использование интерфейса RS-485 с повторителями

«Порог принятия решения» приемника RS-485 аналогичен порогу приемников RS-422 и RS-423 и составляет ± 200 мВ (0,2 В), как показано на рис. 3.18.

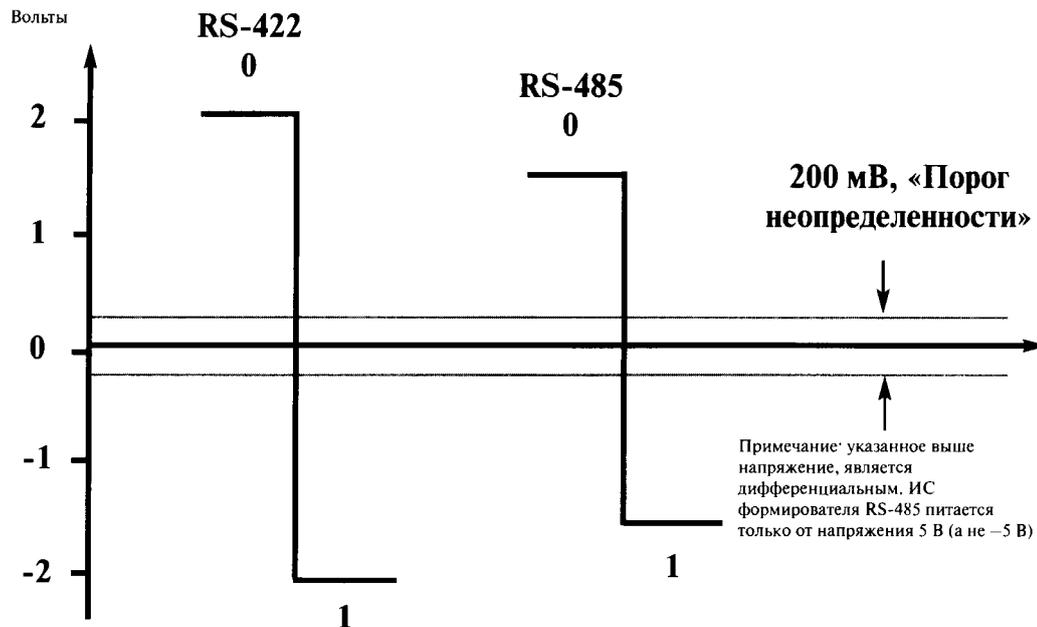


Рис. 3.18. Уровни чувствительности приемников RS-485/422 и 423

3.11. Устранение неполадок и тестирование систем с интерфейсом RS-485

Ниже кратко рассмотрены несколько предложений и процедур тестирования для систем, построенных на основе интерфейса RS-485. Будут рассмотрены аппаратные и программные методы тестирования. Приводятся также несколько примеров реальных проблем и их решений.

Алгоритм тестирования аппаратуры

- Проверьте правильность и надежность кабельных подключений. Это необходимо производить в режим офлайна (питание на устройства не подается). На этом этапе, пока питание отключено, может оказаться полезной проверка кабельных подключений на отсутствие обрывов.
- Проверьте полярность подключений между всеми устройствами сети RS-485. Канал А должен быть подключен к каналу А, а канал В - к каналу В. Обычно черный провод - это канал В, а белый провод - канал А, но для некоторых систем маркировка может быть другой. В большинстве систем красный провод вольтметра подключается к А, а черный провод - к В. Проверяйте свою систему в соответствии с инструкциями производителя.

- Проверьте напряжение системы RS-485, когда система находится в состоянии ожидания. Состояние ожидания большинства систем RS-485 характеризуется тем, что передатчики не посылают данные. В большинстве систем RS-485 передатчики имеют смещение путем подключения к отрицательному напряжению (метка или «1») через делитель напряжения, отмеченный в предыдущих разделах. Однако так бывает не всегда. В некоторых системах с помощью программного обеспечения линии смещены с использованием положительного напряжения (пауза или «0»), в то время как в других системах полностью выключаются передатчики (и в них нет внешних делителей напряжения), поэтому результирующее напряжение будет равно нулю. Необходимо помнить, что истинный выход ИС формирователя RS-485 обычно является схемой с открытым коллектором. Смещение позволяет избежать плавающего потенциала линии.
- Убедитесь в том, что экран (если он есть) соединен с землей только в одной точке. Проверьте, что у него нет других соединений с землей или общим проводом. Это особенно важно в том случае, если устройства с интерфейсом RS-485 находятся далеко друг от друга. Если устройства находятся далеко (100 метров или больше), то полезно визуально проверить экран у каждого устройства. Экраны разных пар должны быть соединены.
- Убедитесь в том, что единственное заземление экрана надежно соединено с независимым **«чистым» заземлением**. **«Чистое» заземление – это заземление, свободное от возможных помех** (к которому не подключены другие устройства).
- Убедитесь в отсутствии проблем с синфазным напряжением. Эту проблему непросто обнаружить, поскольку она может быть случайной и проявляться от случая к случаю. Обычные симптомы могут проявляться в периодических неполадках и/или в необычном поведении, например в работе устройств через одно. Синфазное напряжение может быть измерено для каждой линии относительно земли с помощью портативного вольтметра. Эти напряжения не должны превышать максимально допустимые уровни для каждого ИС формирователя.
- Убедитесь в том, что линии имеют согласующие нагрузки с соответствующим сопротивлением (если они должны быть) – необходимо следовать требованиям производителя.

Решение проблемы

Необходимо установить согласующие нагрузки, рекомендованные производителем, по одной на каждом конце. Отражения исчезнут, и система будет работать корректно.

Примечание 1. Согласующие резисторы для работы системы RS-485 не обязательны, но желательны, поскольку они уменьшают отражения (особенно при длинах кабеля больше 100 м и скоростях передачи, превышающих 40 кбод).

Примечание 2. Другим возможным решением может быть уменьшение скорости передачи (если возможно).

Примечание 3. Добавление согласующих резисторов нагружает линейные формирователи RS-485. Это может привести к другой проблеме. Не устанавливайте резисторы ни в каких других местах, кроме концов линии. Не допускается установка резисторов, номинал которых меньше рекомендованного производителем.

Пример 1.

Двухпроводная система RS-485 типа главное/подчиненное устройство имела ошибки при отклике. Ситуация заключалась в следующем:

- главное устройство посылало запрос к подчиненному устройству;
- подчиненное устройство реагировало выдачей информации. К сожалению, главное устройство не реагировало на это и посылало другой запрос;
- проблема заключалась в задержке реакции подчиненного устройства[^]
- главное устройство считало это коммуникационной ошибкой.

Решение проблемы

Прежде, чем посылать другой запрос к подчиненному устройству на получение информации, было увеличено время ожидания главного устройства.

Альтернативное решение

Ситуацию немного улучшило бы увеличение скорости передачи (небольшая настройка).

Пример 2.

Двухпроводная система RS-485 типа главное/подчиненное устройство имела ошибки в откликах. Ситуация заключалась в следующем:

- главное устройство посылало запрос подчиненному устройству.
- подчиненное устройство реагировало очень быстро;
- передающие линии главного устройства не переходили в состояние высокого сопротивления;
- поэтому отклик от подчиненного устройства был в значительной степени ослаблен низким сопротивлением линии;
- главное устройство регистрировало это, как коммуникационную ошибку.

Решение проблемы

Главное устройство переводилось в состояние высокого сопротивления быстрее путем отключения линии RTS. Очевидно, необходимо убедиться в том, что это не ухудшает ситуацию отключением передатчика до того, как он завершит передачу сигнала.

Альтернативное решение

Замедлите отклик от подчиненного устройства таким образом, чтобы главное устройство успевало переходить в состояние высокого сопротивления.

3.12. Интерфейсный стандарт EIA/TIA-530A (май 1992 года)

Этот стандарт заменяет RS-449. Предполагается, что этот стандарт будет использоваться для тех применений, в которых требуется симметричная система типа RS-422 и RS-485.

3.13. Интерфейсный стандарт EIA/TIA-562 (июнь 1992 года)

Стандарт EIA/TIA-562 поддерживает новую технологию, основанную на напряжении 3,3 В, которая позволяет системам использовать более высокие тактовые частоты и скорости передачи данных, а также меньше потреблять энергии, иметь меньшую массу и габариты. Стандарт EIA/TIA-562 поддерживает скорость 64 кбит/с, в то время как RS-232 имеет предел в 20 кбит/с.

Стандарт EIA-562 характеризуется следующими функциональными особенностями:

- скорость 64 кбит/с (максимум);
- жесткие требования к форме сигнала (пульсации не больше 5% от размаха напряжения);
- **максимальная скорость нарастания напряжения 30 В/мкс;**
- возможность подключения к интерфейсу RS-232.

Одним из недостатков стандарта EIA-562, по сравнению с RS-232, является уменьшенный уровень помехозащищенности от 2 В до 0,7 В.

3.14. Сравнение интерфейсных стандартов EIA

Сравнение основных характеристик четырех наиболее распространенных интерфейсных стандартов приводится в табл. 3.6.

Передачик	EIA-232	EIA-423	EIA-422	EIA-485
Режим работы	Несимметричный	Несимметричный	Дифференциальный	Дифференциальный
Максимальное количество формирователей и приемников на линии	1 формирователь 1 приемник	1 формирователь 10 приемников	1 формирователь 10 приемников	32 формирователя 32 приемника
Рекомендуемая длина кабеля	75 м	1200 м	1200 м	1200 м
Максимальная скорость передачи данных	20 кбит/с	100 Мбит/с	10 Мбит/с	10 Мбит/с
Максимальное синфазное напряжение	± 25 В	± 6 В	от ± 6 до $-0,25$ В	от $+12$ до -7 В
Выходной сигнал формирователя	$\pm 5,0$ В мин ± 25 В макс	$\pm 3,0$ В мин $\pm 6,0$ В макс	$\pm 2,0$ В мин $\pm 6,0$ В макс	$\pm 1,5$ В мин $\pm 6,0$ В макс
Нагрузка на формирователь	> 3 Ом	> 450 Ом	100 Ом	60 Ом
Выходное сопротивление формирователя	Питание включено	—	—	100 мкА -7 В $<$ VCM VCM $<$ 12 В
Состояние высокого сопротивления		Питание выключено	300 Ом	100 мкА (при ± 6 В)	100 мкА $-0,25$ В $<$ VCM VCM $<$ 6 В
Входное сопротивление приемника	3 – 7 кОм		> 4 кОм	> 4 кОм	$> 12$ кОм
Чувствительность приемника	$\pm 3,0$ В	± 200 мВ	± 200 мВ -7 В $<$ VCM $<$ 7 В	± 200 мВ -12 В $<$ VCM VCM $<$ 12 В

Таблица 3.6. Сравнение основных характеристик RS-232, RS-423, RS-422 и RS-485

Зависимость скорости передачи сигналов от длины кабеля для несимметричного интерфейса, использующего витую пару из проводов 24 AWG (диаметр жилы 0,5 – 0,6 мм), показана на рис. 3.19.

На практике большинство систем RS-422/485 работает до 5000 метров без особых проблем.

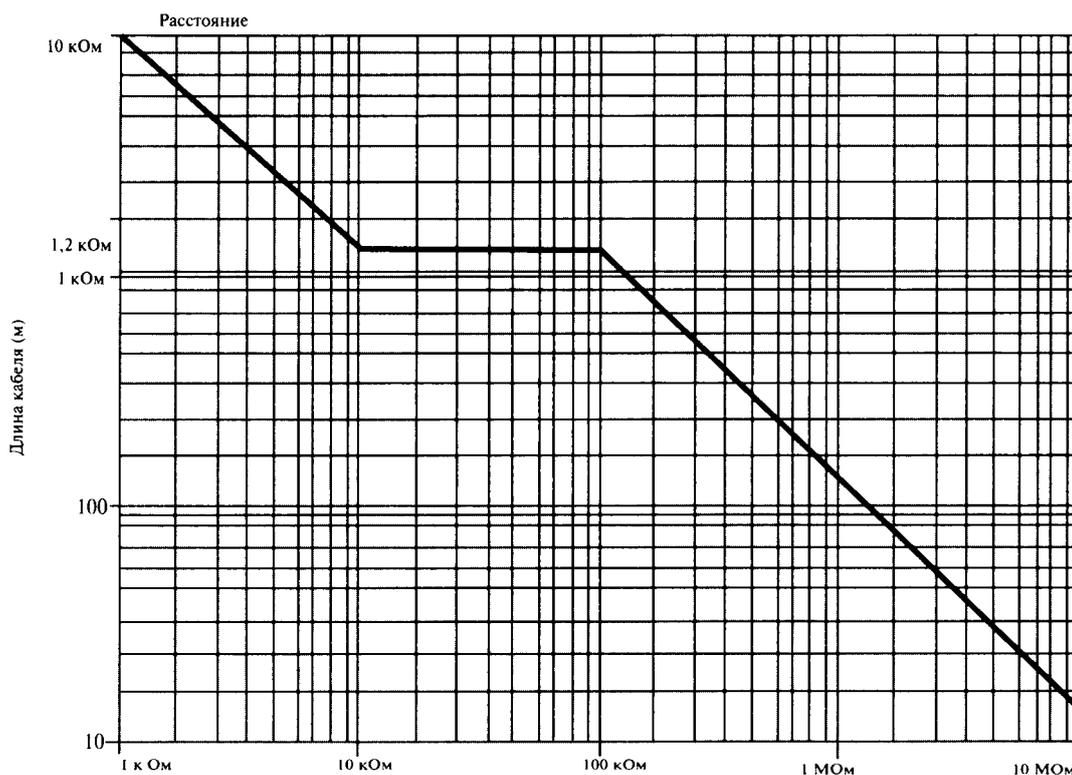


Рис. 3.19. Скорость передачи данных в зависимости от длины кабеля

3.15. Токовая петля 20 мА

Еще одним распространенным типом интерфейса является токовая петля. Этот интерфейс использует токовый сигнал, а не сигнал в виде напряжения. Токовые петли передатчика и приемника выполняются с помощью отдельных пар проводов.

Для задания логической 1 используется уровень тока от 20 до 60 мА, а для логического 0 — нулевой уровень тока. Использование постоянного токового сигнала обеспечивает связь на больших расстояниях, чем стандартный интерфейс RS-232, работающий с напряжением. Это обусловлено меньшей восприимчивостью помех, которую обеспечивает токовая петля 20 мА, и это допускает работу с линиями длиной до 1 км, но, естественно, с меньшими скоростями. На рис. 3.20 представлен интерфейс в виде токовой петли.

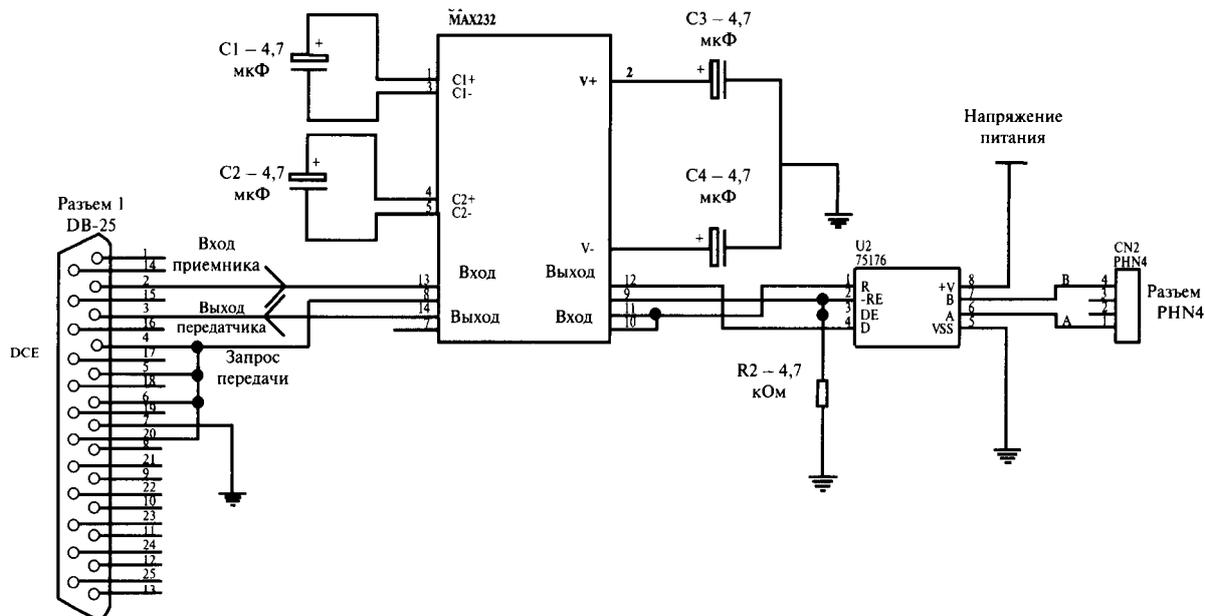


Рис. 3.22. Преобразователь интерфейсов RS-232/485

На рис. 3.21 представлена блок-схема преобразователя RS-232/RS-485, а на рис. 3.22 показана схема **подключения**.

Преобразователи интерфейсов RS-232/422 и RS-232/485 очень похожи и обеспечивают двунаправленное полнодуплексное преобразование для синхронной и асинхронной передач между портами RS-232 и RS-485. Эти преобразователи могут питаться от внешнего источника переменного тока, например 240 В, а небольшие блоки могут питаться постоянным напряжением 12 В, снимаемым с контактов 9 и 10 порта RS-232. Для промышленных применений рекомендуется использование внешних источников питания, поскольку стандарт RS-232 был задуман для связи, а не как источник питания!

Подключение типичного преобразователя RS-232/485 (Black Box Corporation), питаемого от внешнего источника, показано ниже. Корпорация Black Box не рекомен-

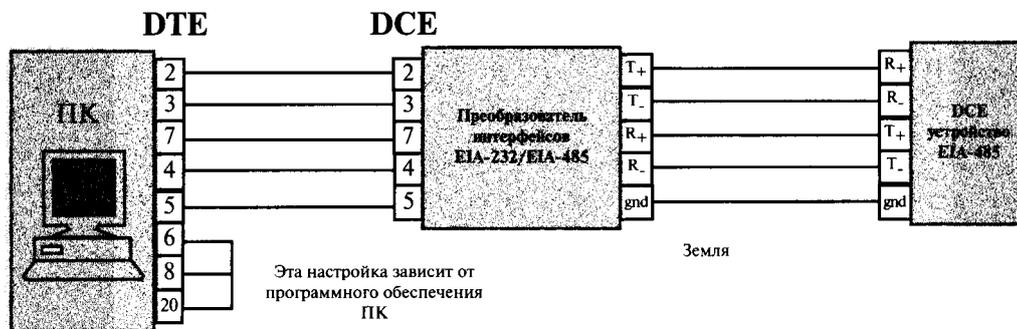


Рис. 3.23. Схема подключения преобразователя RS-232/485

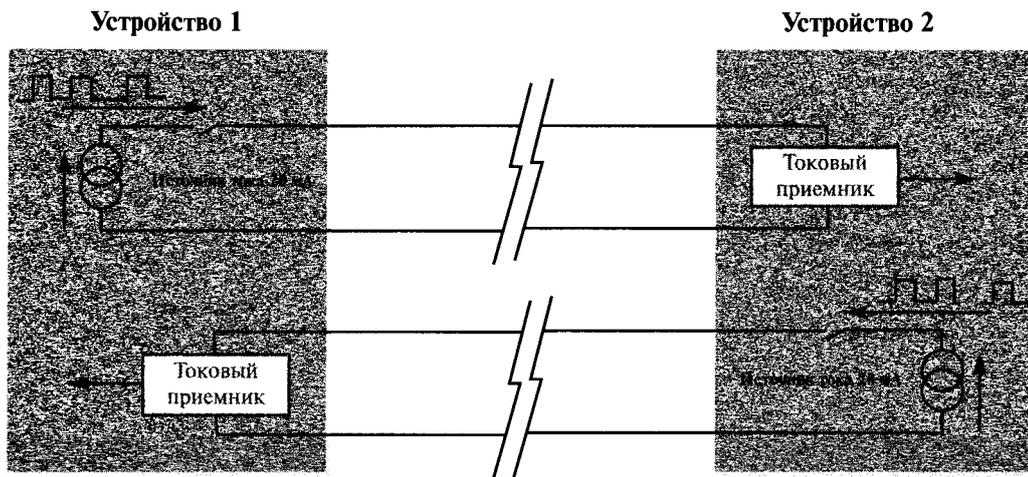


Рис. 3.20. Интерфейс в виде токовой петли 20мА

3.16. Преобразователи последовательных интерфейсов

При переходе от стандарта RS-232 к промышленным интерфейсным стандартам RS-422 и RS-485 постоянно возрастает роль преобразователей последовательных интерфейсов. Поскольку многие промышленные устройства все еще используют порты RS-232, то для их связи с другими интерфейсными стандартами **необходимо использовать** соответствующие преобразователи. Преобразователи интерфейсов **могут** также использоваться для увеличения эффективного расстояния между двумя устройствами RS-232.

Наибольшее распространение получили следующие преобразователи:

- RS-232/422
- RS-232/485
- RS-232/токовая петля



Рис. 3.21. Блок-схема преобразователя RS-232/RS-485

дует использовать оба порта преобразователя в качестве DCE и DTE устройств. Для отображения состояния входных сигналов от EIA-232 и от EIA-485 предусмотрены светодиодные индикаторы.

При работе на дальних расстояниях полезной особенностью преобразователей интерфейсов является оптическая развязка. Это особенно важно для тех мест, которые подвержены ударам молний. Даже если оборудование и не будет непосредственно поражено молнией, увеличение потенциала земли (EPR) окружающей территории может быть достаточным для повреждения коммуникационного оборудования на обоих концах канала связи. Некоторые спецификации заявляют о 10 кВ развязке, хотя эти цифры редко бывают подкреплены инженерными расчетами и должны приниматься с осторожностью.

Типичные параметры преобразователей RS-232/422 и RS-232/485:

- скорость передачи данных до 1 Мбит/с;
- переключаемый выбор DCE/DTE устройства;
 - преобразование всех сигналов данных и управления;
- наличие светодиодных индикаторов для отображения состояния; сигналов данных и управления;
- питание от источника переменного тока;
- оптическая развязка (опционально);
- разъем DB-25 (штырьки или гнезда);
- разъем DB-37 (штырьки или гнезда).

Типичные параметры преобразователей RS-232/токовая петля:

- рабочий ток 20 мА или 60 мА;
- выбираемый полнодуплексный/полудуплексный режим DCE/DTE устройства;
- поддержка активных и пассивных петель;
- оптическая развязка (опционально);
- разъем DB-25 (штырьки или гнезда);
- разъем токовой петли – 5 винтов.

3.17. Интерфейс последовательных принтеров

Важно, чтобы последовательный интерфейс, используемый для последовательных принтеров, был настроен корректно. Руководством для настройки должны послужить следующие рекомендации:

- выберите корректный ограничитель для конца каждого блока символов (или байтов), передаваемых от ПК к принтеру - это может быть CR или LF (хотя больше распространен CR);
- проверьте, какой тип управления потоком поддерживается при передаче между ПК и принтером. Если на принтере выбран XON/XOFF (в противоположность DTR), то на кабеле принтера должны быть соеди-

нены контакты передачи и прием данных, а программное обеспечение ПК должно поддерживать управление потоком типа XON/XOFF. Аппаратное и встроенное программное обеспечение ПК непосредственно не поддерживают XON/XOFF. Убедитесь в том, что символы ASCII, используемые для представления XON и XOFF, одинаковы для принтера и ПК;

- выберите на принтере подходящие настройки для кода заполнения (XOFF) и опустошения (XON) буфера. Большинство ПК имеют ограничивающий уровень для буфера, равный 256 байтам. Принтер должен передавать код XOFF, когда остается 256 свободных байтов, и XON, когда он содержит менее 256 байтов. Обычно буфер принтера имеет емкость не менее 2 кбайт;
- убедитесь в том, что опция, использующая контакт 20 или 11 для индикации сигнала DTR или линии готовности принтера, настроена правильно;
- убедитесь в правильном выборе параллельного или последовательного подключения принтера к ПК (если эта опция имеется на принтере);
- убедитесь в том, что скорость передачи не выставлена слишком высокой, которая не использует никакую форму квитирования или управления потоком, поскольку в этом случае могут быть потери данных.

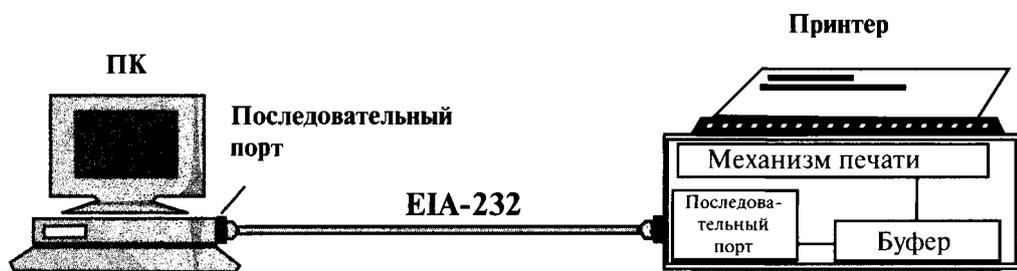


Рис. 3.24. Последовательное подключение ПК к принтеру

3.18. Интерфейсные стандарты параллельной передачи данных

Двумя наиболее важными интерфейсными стандартами, обеспечивающими параллельную передачу данных, являются:

- интерфейсная шина общего назначения (GPIB) или IEEE-488, используемая главным образом для научных целей, а также для автоматизации измерений и тестирования;
- стандарт Centronics, используемый в основном для подключения принтеров к ПК.

3.19. Интерфейсная шина общего назначения (GPIB) или IEEE-488 (IEC-625)

Интерфейс GPIB первоначально был разработан для автоматизации тестирования и для использования с научным оборудованием в лабораториях, на производстве, а также для других промышленных применений. Первоначально, при проведении автоматизированных тестов, производителям цифрового тестового и научного оборудования стало ясно, что для связи компьютера, управляющего процессом тестирования, оборудованием и регистрирующими устройствами типа плоттеров и принтеров, требуется универсальный интерфейс для обмена данными.

Стандарт, используемый в настоящее время, первоначально был разработан в 1965 году компанией Hewlett-Packard в качестве цифрового интерфейса данных, используемого для подключения инженерного контрольного оборудования, и который сначала назывался интерфейсной шиной Hewlett-Packard (HP-IB). Этот интерфейс был принят другими производителями и был выпущен в 1975 году как стандарт IEEE-488. Стандарт IEEE-488 был обновлен в 1978 году и выпущен в качестве международного, как IEC-625. С 1978 года было выпущено несколько ревизий этого стандарта. IEC-625 является общим обозначением для стандарта GPIB в Европе.

GPIB является интерфейсом, который позволяет одновременно подключать до 15 устройств или измерительных приборов к общей параллельной шине обмена данных. Он обеспечивает управление измерительными приборами, а также передачу данных к компьютеру, принтеру или плоттеру. Этот стандарт определяет способы упорядоченной передачи данных, адресацию к отдельным устройствам, стандартные команды управления шиной, а также физические параметры интерфейса.

Конфигурации физического подключения

Устройства с интерфейсом GPIB могут подключаться двумя способами:

- В виде звезды
- В виде цепочки (линейно).

Конфигурация в виде звезды – это такая конфигурация, в которой каждый прибор подключен непосредственно к контроллеру с помощью отдельного кабеля GPIB. Все разъемы подключены к одному порту, являющемуся контроллером, как показано на рис. 3.25. Недостатком этой простой схемы является то, что из-за ограниченной длины каждого кабеля все устройства должны находиться относительно недалеко от контроллера.

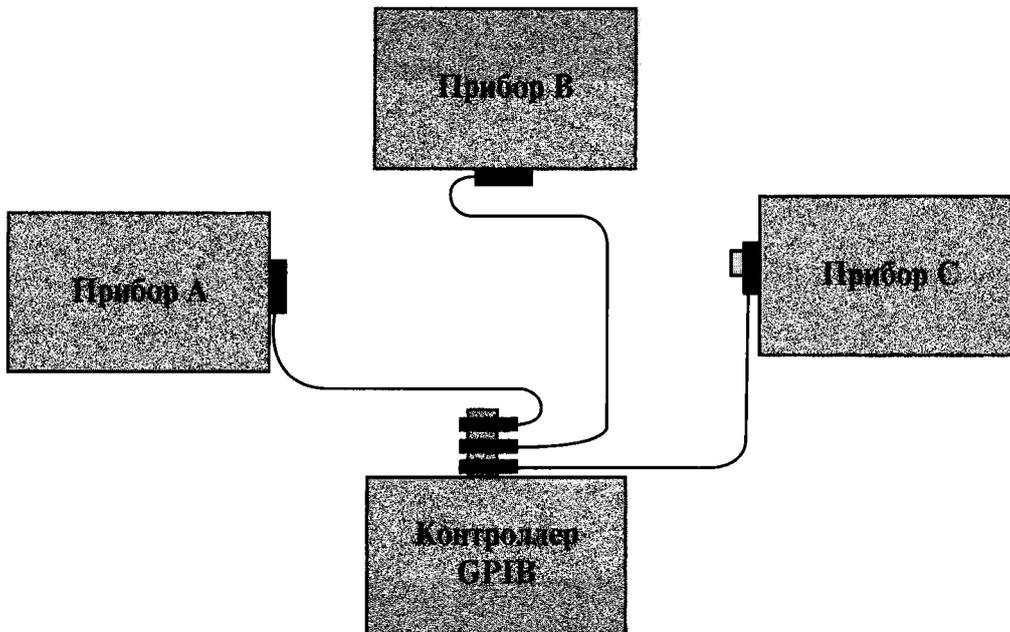


Рис. 3.25. Подключение интерфейса GPIB в виде звезды

В последовательной конфигурации каждый прибор, включая контроллер, включен последовательно друг за другом. Контроллер не должен быть первым или последним устройством в цепочке, но может быть включен в любое место, как показано на рис. 3.26. Контроллер в данном случае производит координацию всех событий на шине. Физически и электрически он аналогичен любому другому устройству, подключенному к интерфейсу GPIB. Для подключения оборудования эта конфигурация часто оказывается наиболее удобной.

Хотя для интерфейса GPIB предлагаются конфигурации в виде звезды или цепочки, подключения можно производить и другим способом, при условии соблюдения следующих правил:

- Все устройства должны быть подключены к шине.
- К шине могут быть подключены не более 15 устройств, включая

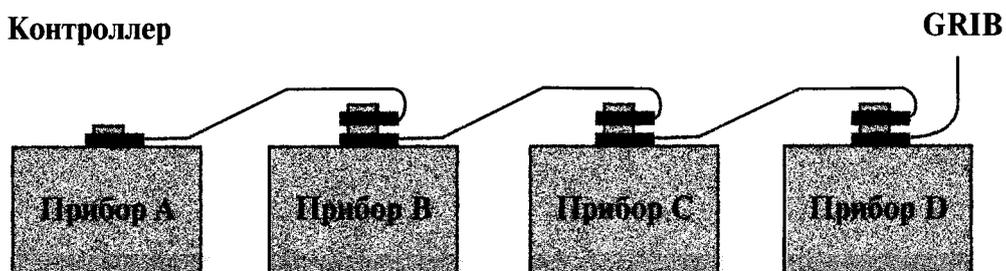


Рис. 3.26. Линейное подключение интерфейса GPIB

контроллер, причем должно быть включено питание не менее двух третей приборов.

- Длина кабеля между двумя отдельными приборами не должна превышать 4 м, а для всей шины среднее расстояние между устройствами должно быть не более 2 м.
- Полная длина кабеля не должна превышать 20 метров.

Одно устройство, подключенное к шине GPIB, может передавать данные 14-и другим устройствам. Поскольку интерфейс GPIB использует асинхронное квитирование, то реальная скорость передачи данных в большей степени определяется самими устройствами. Обычно аппаратура ограничивает максимальную скорость передачи на уровне 250 кбит/с.

Типы устройств

Существует несколько тысяч различных типов GPIB-совместимых устройств, подходящих для различных применений. Все устройства можно разделить на четыре группы:

- передатчики;
- приемники;
- передатчики/приемники;
- контроллеры.

Передатчик является односторонним коммуникационным устройством, которое может только передавать данные к устройству-приемнику. Он не принимает данные. Передатчик ожидает сигнала от контроллера и затем выставляет данные на шину. Простыми примерами передатчиков являются обычные цифровые вольтметры (DVM) и некоторые аналого-цифровые преобразователи.

Приемник является односторонним коммуникационным устройством, которое может только принимать данные от другого устройства. Он не передает данные. Он принимает данные, когда контроллер дает ему сигнал на принятие данных. Простыми примерами приемников являются принтеры, плоттеры и записывающие устройства.

Передатчик/приемник сочетает характеристики и передатчиков, и приемников. Однако он не может быть одновременно и передатчиком и приемником. Простым примером передатчика/приемника является программируемый цифровой вольтметр, который является приемником, когда контроллер передает ему диапазон измерений, и передатчиком, когда он передает результаты измерений контроллеру. Большинство цифровых приборов типа модема являются передатчиками/приемниками, и приборы такого типа обеспечивают наиболее гибкую конфигурацию системы.

Контроллер управляет всем, что происходит с интерфейсом GPIB. Это обычно интеллектуальный или программируемый прибор, такой как ПК или устройство, управляемое микроконтроллером. Он определяет, какие устройства будут передавать данные, а какие будут принимать данные и когда это будет происходить. Чтобы при использовании интерфейса GPIB избежать какой-либо путаницы, должен быть только один активный

контроллер, называемый *управляющим контроллером* (СIC). Контроллеров может быть несколько, но во избежание неразберихи в любой момент времени может быть только один контроллер. Контроллер также имеет свойства передатчика/приемника. В некоторых ситуациях, когда к шине GPIB одновременно подключено несколько ПК, один из них конфигурируется как контроллер, а другие – как передатчики/приемники. Контроллер должен участвовать во всех передачах данных. Он должен адресоваться к передатчику и приемнику до того, как передатчик может передать свое сообщение приемнику. После того как сообщение будет передано, контроллер снимает обращения к обоим устройствам.

Некоторые конфигурации интерфейса GPIB не требуют контроллера, например, когда только один передатчик подключен к одному или нескольким приемникам. Контроллер необходим тогда, когда должны использоваться разные активные или адресуемые передатчики или приемники.



Рис. 3.27. Разъем стандарта GPIB и назначение контактов

Электрические и механические характеристики

Шина GPIB является 24-проводным экранированным кабелем, на каждом конце которого имеются стандартные разъемы. Используются стандартные разъемы типа Amphenol, показанные на рис. 3.27. Добавление нового устройства к шине производится подключением нового кабеля по схеме звезды или цепочки. Разъемы кабелей крепятся друг к другу винтами. Поскольку 24-контактные разъемы имеют наращиваемую конструкцию, то подключать или отключать устройства от шины очень легко.

Двадцать четыре линии каждого кабеля включают 8 линий данных и 8 пар (16) управляющих и контролирующих линий шины. Линии данных используются исключительно для параллельной передачи данных (байт за байтом). Линии управления и контроля используются для задач управления шиной и синхронизации потока данных. Когда данные или команды передаются по шине, то линии управления шиной позволяют их различать. Для эффективного использования интерфейса GPIB полезно знать (хотя и не обязательно) полную информацию о том, как линии управления взаимодействуют друг с другом.

В интерфейсе RS-232 для координации квитирования, связанного с последовательной передачей данных, используется универсальный асинхронный приемопередат-

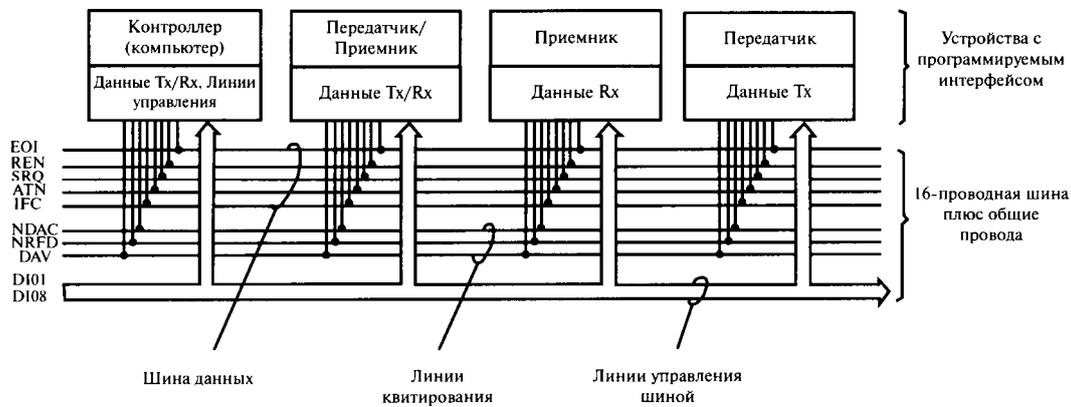


Рис. 3.28. Структура шины GPIB

Линии данных	D101	D108	Линии данных
Линии квитирования		DAV	Данные действительны
		NRFD	Не готов к приему данных
		NDAC	Данные не приняты
Общие линии управления интерфейсом		ATN	Внимание
		IFC	Сброс интерфейса
		SRQ	Запрос на обслуживание
		REN	Разрешение дистанционного управления
		EIO	Конец или идентификация

Таблица 3.7. Три группы сигнальных линий

чик (UART). А вся мощность микропроцессора может быть направлена на другие задачи. Аналогичным образом работа параллельного интерфейса GPIB управляется ИС GPIB. Наиболее широко для этих целей используется ИС GPIB производства Texas Instruments TMS9914A и NEC-7210.

Структура шины GPIB

Интерфейсная шина GPIB состоит из восьми линий данных (DIO1 - DIO8) и восьми пар управляющих линий. Три из восьми пар управляющих линий являются линиями квитирования, которые координируют передачу данных (DAV, NRFD и NDAC). Пять остальных пар служат для контроля и управления (ATN, REN, IFC, SRQ и EOI). Восемь «земляных» проводов обеспечивают электрическую экранировку и предохраняют управляющие сигналы шины от взаимного влияния друг на друга, а также от воздействия внешних помех.

Сигнальные линии можно разделить на три группы:

Восемь линий данных DIO0 - DIO8 служат для передачи и данных, и командных сообщений. Все команды и большинство данных используют 7-разрядный код ASCII и в этом случае восьмой разряд DIO9 либо не используется, либо используется для контроля по четности.

Для представления информации интерфейс GPIB использует двоичные сигналы, которые передаются по линиям шины. Для передачи используются символы «истина» и «ложь», которые соответствуют двум уровням напряжения на линии. Интерфейс GPIB использует логическое соглашение, называемое «низкий уровень – истина» или **отрицательная логика, в котором меньшее напряжение является состоянием «истина», а большее напряжение – состоянием «ложь»**. Используются стандартные TTL-уровни напряжения. Например, если сигнал DAV является «истиной», то TTL уровень напряжения будет низким ($\pm 0,8$ В), а когда сигнал DAV является «ложью», то TTL уровень является высоким ($\pm 2,0$ В). Несмотря на то что низкий потенциал является «истиной», ни одна линия не может иметь высокий уровень (т.е. «ложь»), если только все устройства на этой линии не обеспечат высокое состояние. Это удобно, когда имеется несколько приемников, принимающих данные. Линия «данные не приняты» (NDAC) не может перейти в высокое состояние «ложь», указывающее на то, что данные приняты, до тех пор, пока самый последний приемник не примет данные. То есть процесс квитирования ожидает самое медленное устройство, подключенное к шине.

Каждое устройство, подключенное к интерфейсу GPIB, имеет уникальный адрес и должно быть достаточно интеллектуальным, чтобы определить, что передаваемые данные или команда предназначены для него или для другого устройства. Каждое подключенное устройство идентифицируется с помощью программного обеспечения контроллера. Единственным ограничением при выборе адреса является то, что он должен быть целым числом от 1 до 30.

Квитирование в интерфейсе GPIB

В параллельном интерфейсе GPIB данные передаются асинхронно по одному байту. Передача данных координируется сигналами напряжения, выставляемыми на трех управляющих линиях шины – линиях квитирования (DAV, NDAC и NRFD). Этот процесс называется **трехпроводным взаимным квитированием**. Квити-

рование позволяет передатчику выставить байт данных на шину только тогда, когда все приемники готовы, и данные будут удерживаться на линии до тех пор, пока они не будут прочитаны всеми приемниками. Это также обеспечивает, что все приемники примут данные только тогда, когда на шине выставлен сигнал действительности данных.

Передатчик, прежде чем какие-либо данные будут выставлены на шину, должен подождать, пока линия NRFD будет переведена в высокое состояние («ложь»). Линия NRFD управляется приемниками. Только тогда, когда напряжение NRFD становится высоким («ложь»), все приемники готовы принимать данные. Затем передатчик выставляет сигнал DAV «истина» (низкое напряжение), и когда приемники обнаруживают на линии DAV напряжение низкого уровня, они считывают байт с линий данных. Когда каждый приемник примет данные, он снимает сигнал NDAC. После того как последний приемник получит данные, напряжение на линии NDAC становится высоким («ложь»), сигнализируя передатчику, что данные приняты. И только после того, как байт данных будет принят всеми приемниками, передатчик позволяет перевести напряжение DAV в высокое состояние («ложь») и снимает свои данные с шины. На рис. 3.29 показана последовательность процедуры квитирования.

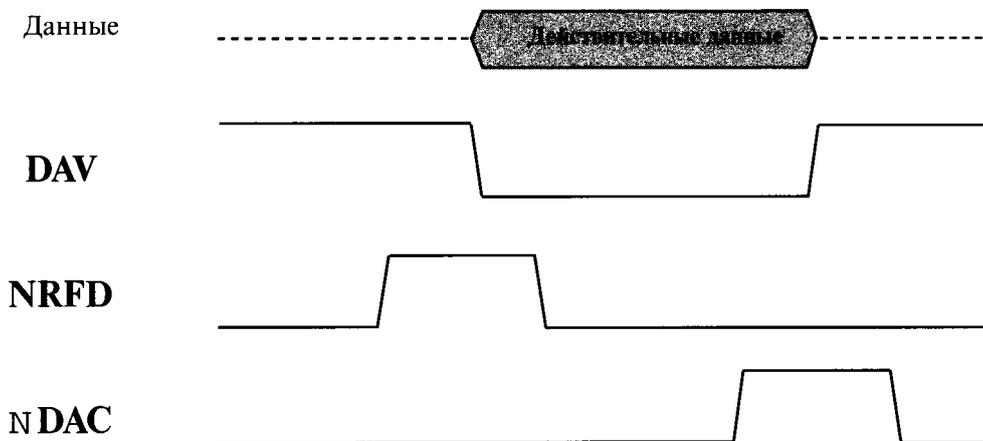


Рис. 3.29. Временная диаграмма процедуры квитирования GPIB

Линии управления интерфейсом

Пять остальных линий управляют потоком информации через интерфейс:

- ATN (Внимание)
- REN (Разрешение дистанционного управления)
- IFC (Сброс интерфейса)
- SRQ (Запрос на обслуживание)
- EOI (Конец или идентификация)

Передача данных

Адресами устройств могут быть любые целые числа от 1 до 30. Существуют два вида адресов устройств:

- Адрес передатчика (не более 15)
- Адрес приемника (не более 15)

Если какое-либо устройство видит на шине свой адрес как адрес передатчика, то оно знает, что оно должно быть передатчиком и должно будет запросить передачу

Название сигнала*	Сигнальный контакт	Обратный контакт	Определение сигнала
*DSTB (Строб данных)	1	19	Низкоуровневый импульс длительностью не менее 0,5 мкс используется для стробирования сигналов DATA (данные), передаваемых в принтер. Принтер считывает данные при низком уровне этого сигнала. Перед использованием следующего stroba данных необходимо обеспечить возврат импульса Acknowledge (Подтверждение). Если сигнал BUSY (Занят) имеет высокий уровень, то строб данных игнорируется
*DATA 1 – 8 (Данные)	2 - 9	20 - 27	Восемь линий данных от главного устройства. Высокий уровень соответствует двоичной 1, низкий уровень – двоичному 0. Старшим битом является DATA 8. Сигнал должен иметь высокий уровень по крайней мере за 0,5 мкс до начала stroba данных и удерживаться не менее 0,5 мкс после окончания stroba Acknowledge
(Подтверждение)	10	28	Импульс низкого уровня длительностью от 2 до 6 мкс является признаком ввода символов в буфер данных принтера или конца операции.
BUSY (Занят)	11	29	Высокий уровень сигнала указывает на то, что принтер не может принимать данные. Типичными условиями, которые приводят к высокому уровню сигнала BUSY, являются заполнение буфера или возникновение ошибки (ERROR)
PE (Отсутствие бумаги)	12		Высокий уровень сигнала указывает на то, что в принтере кончилась бумага
SLCT (Выбор)	13		Высокий уровень сигнала указывает на то, что принтер находится в режиме он-лайн (ON LINE)
* AUTO FEED XT (Автоматическая подача)	14		Низкий уровень сигнала указывает на то, что сигнал LF (перевод строки) подается с каждым сигналом CR (возврат каретки)
Не подключено	15		Резервная сигнальная линия
Сигнальная земля	16		Общий провод логических/сигнальных схем (0 В)

Таблица 3.8. Назначение контактов интерфейса Centronix

* Сигнал генерируется главной системой, например ПК.

Корпус	17	Земляная линия корпуса/каркаса
Не подключено		Резервная сигнальная линия
Сигнальная земля	1	9 – 30
* INIT Initialize	31	Обратные линии витой пары
ERROR (Ошибка)	32	Импульс низкого уровня длительность не менее 50 мкс, который сбрасывает буфер и инициализирует принтер
Сигнальная земля	33	Низкий уровень сигнала указывает на то, что принтер находится в режиме оф-лайн (OFF LINE), у него кончилась бумага (PAPER OUT) или что он обнаружил ошибку (ERROR)
Не подключено	34	Общий провод логических/сигнальных схем (0 В)
Regulate (Регулировка)	35	Резервная сигнальная линия +5 В
*SLCT IN (–Select In)	36	Подключено к источнику +5 В через резистор 3,0 кОм
		Низкий уровень сигнала указывает на то, что при включении питания принтер находится в режиме он-лайн (выбран)

Таблица 3.8.(продолжение) Назначение контактов интерфейса Centronics

данных. И наоборот, если оно видит свой адрес как адрес приемника, то оно должно быть приемником и будет принимать данные.

Согласно спецификации IEEE-488 допустимыми являются команды/отклики с использованием протоколов опросов и прерываний.

3.20. Интерфейсный стандарт Centronics

Интерфейсный стандарт Centronics (параллельный интерфейс принтеров) используется главным образом для подключения принтеров к компьютерам или к другим интеллектуальным устройствам. Подключение производится с помощью 36-контактного разъема. Этот интерфейс имеет ограниченную дальность действия, поскольку он использует сигналы низкого уровня +5 В. Полное определение сигналов дается в таблице 3.8.

3.21. Универсальная последовательная шина (USB)

23 сентября 1998 года компании Microsoft, Intel, Compaq и NEC опубликовали Редакцию 1.1 стандарта для универсальной последовательной шины. Целью этой редакции была стандартизация подключения входных/выходных устройств к компьютеру IBM PC, таких как принтеры, мыши, клавиатуры и акустические системы. В то время не предполагалось подключение к шине USB систем сбора данных (DAQ), но это не означает, что шину USB нельзя использовать для подключения систем DAQ. Во многих отношениях шина USB очень хорошо подходит для DAQ в лаборатории или в других не очень крупных системах.

Небольшим системам DAQ традиционно не хватало удобной и стандартизированной шины для подключения интеллектуальных устройств. Наиболее подходящей была

система IEEE 488 (GPIB). Система GPIB достаточно дорога и поддерживается не каждым ПК без покупки дополнительной платы. Возникла необходимость в удобной, недорогой и стандартизированной шине для подключения устройств не крупной системы DAQ. Всем этим требованиям удовлетворяет интерфейс USB. Поскольку он поддерживает функцию Plug and Play («подключи и работай»), то его очень легко реализовать и использовать. Кроме того, в настоящий момент интерфейс USB является стандартом для всех IBM-совместимых компьютеров. Хотя он и не такой дешевый, как интерфейс RS-232, но вполне приемлем.

Применение шины USB для систем DAQ несколько ограничено ее природой. Наибольшей проблемой является максимальная длина соединительных кабелей. Медленнорействующий вариант ограничен тремя метрами, а быстрорействующий – максимальной длиной 5 м. Это требование ограничивает возможность использования USB на больших территориях завода или фабрики. Для подобных предприятий обычно требуются системы DAQ, охватывающие расстояния порядка 1 км. Из-за требований синхронизации интерфейса USB длина кабеля не может быть увеличена с помощью повторителей. Эти требования ограничивают применение интерфейса USB лабораториями и настольными системами.

Общая структура USB шины

USB является синхронной полудуплексной шинной системой с взаимодействием типа главное/подчиненное устройство. Эта шина была разработана для подключения близко расположенных периферийных устройств и хабов к IBM-совместимому компьютеру. Она работает со скоростью либо 1,5 Мбит/с (низкая скорость), либо 12 Мбит/с (высокая скорость). Программа ПК, используя драйверы устройства, со-

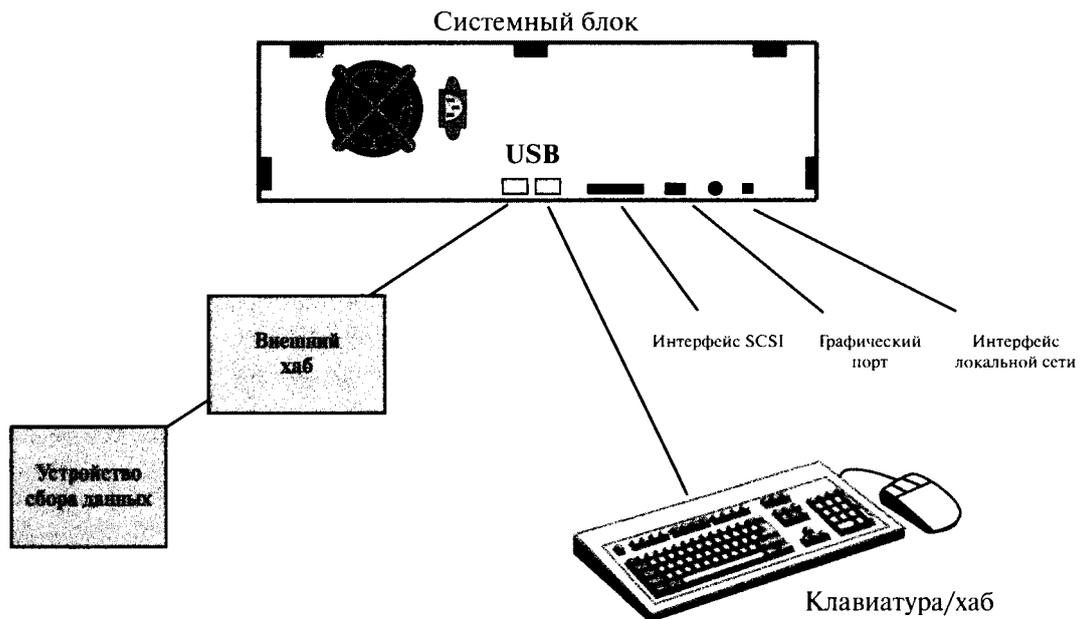


Рис. 3.30. Подключение USB-устройств

здает пакеты информации, которые должны быть переданы на USB шину. USB драйверы отводят на информацию некоторое время в пределах передаваемого кадра. Пакет помещается в этот кадр продолжительностью 1 мс, который может содержать несколько пакетов. Один кадр может содержать информацию для нескольких устройств или только для одного устройства. Затем с помощью USB драйверов кадр передается на физический уровень и далее на шину.

Устройство принимает свою часть пакета и, если необходимо, формирует отклик. Затем оно выставляет этот отклик на шину. USB драйверы ПК обнаруживают отклик на шине и подтверждают корректность кадра с помощью CRC (контроль с помощью циклического избыточного кода). Если CRC указывает на то, что кадр корректен, программа ПК принимает отклик.

Устройства, подключенные к шине USB, могут питаться от кабеля шины, причем потребляемый ток не должен превышать 500 мА. Все это хорошо работает для некрупных DAQ систем; большие DAQ системы обычно используют внешний источник питания. И питание, и обмен информацией производится по одному кабелю.

USB система состоит из множества элементов, обеспечивающих коммуникационный процесс:

- главные хабы (host hub);
- внешние хабы;
- разъем типа А;
- разъем типа В;
- кабели для низкой скорости передачи данных;
- кабели для высокой скорости передачи данных;
- USB устройства;
- контроллер и драйвер главного хаба;
- USB драйвер;
- драйверы устройств.

Топология

Шина USB использует топологию в виде пирамиды, в которой все начинается с главного хаба. Главный хаб обычно состоит из двух USB портов, расположенных на задней панели ПК. Эти порты в основном параллельны друг другу.

Каждый порт является четырехконтактным гнездом с двумя контактами, зарезервированными для питания, и двумя – для передачи информации. Кабели от внешних хабов или от USB устройств вставляются в порты главного хаба. Можно использовать один или оба порта. Если производится только одно подключение, то не имеет значения, какой из этих портов используется. Если внешнее устройство или хаб имеет съемный кабель, то для подключения используется кабель типа «А или В». Штекер А подключается к задней панели ПК (главный хаб), а штекер В подключается к устройству или внешнему хабу. Если внешний хаб или устройство имеет встроенный кабель, то штекер А вставляется в порт главного хаба. Гнездо главного хаба имеет ключ (направляющие), поэтому штекер вставляется только определенным образом. Штекеры В не подходят к гнездам А, и наоборот.

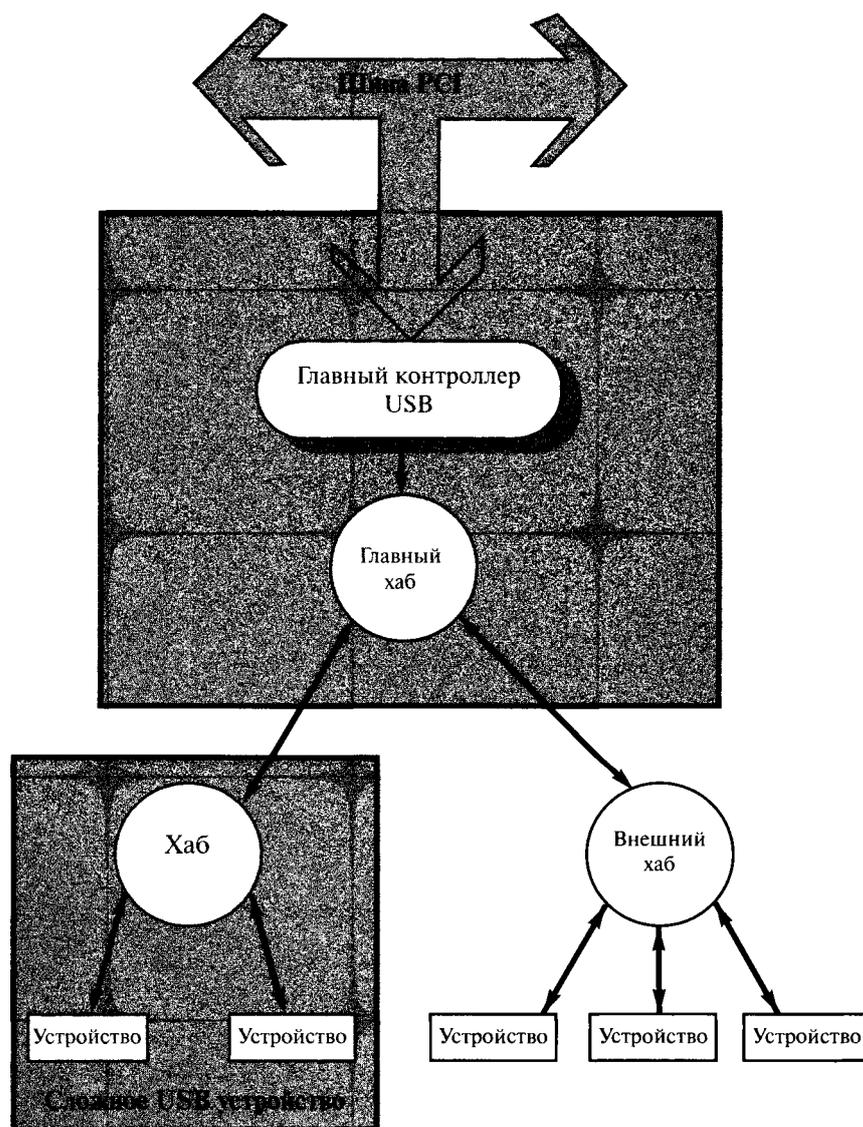


Рис. 3.31. Топология USB

Для USB систем очень важно соблюдать ограничение на длину кабеля. При подсчете полной длины кабеля должны быть учтены все кабели, даже если они исходят из хабов-повторителей.

Главные хабы

Интегральные схемы контроллера главного хаба обычно устанавливаются на материнской плате внутри ПК, хотя хаб может быть на плате, устанавливаемой в PCI-гнездо. Главный контроллер производит преобразование параллельной шины в последовательную, и наоборот, которое происходит при передаче информации между PCI шиной и USB разъемом. Для увеличения эффективности USB систем иногда используется дополнительная обработка сигнала. Сочетание главного контроллера и разъема называется корневым хабом или главным хабом. Функцией главного хаба является передача информации от PCI шины к линиям данным (+D и -D) USB гнезда и обратно. Главный контроллер может управлять скоростью, с которой работает USB шина. Через USB кабель он также подает питание (+5 В и землю) на USB устройство. Внешним USB устройством может быть другой USB хаб или USB устройство типа принтера.

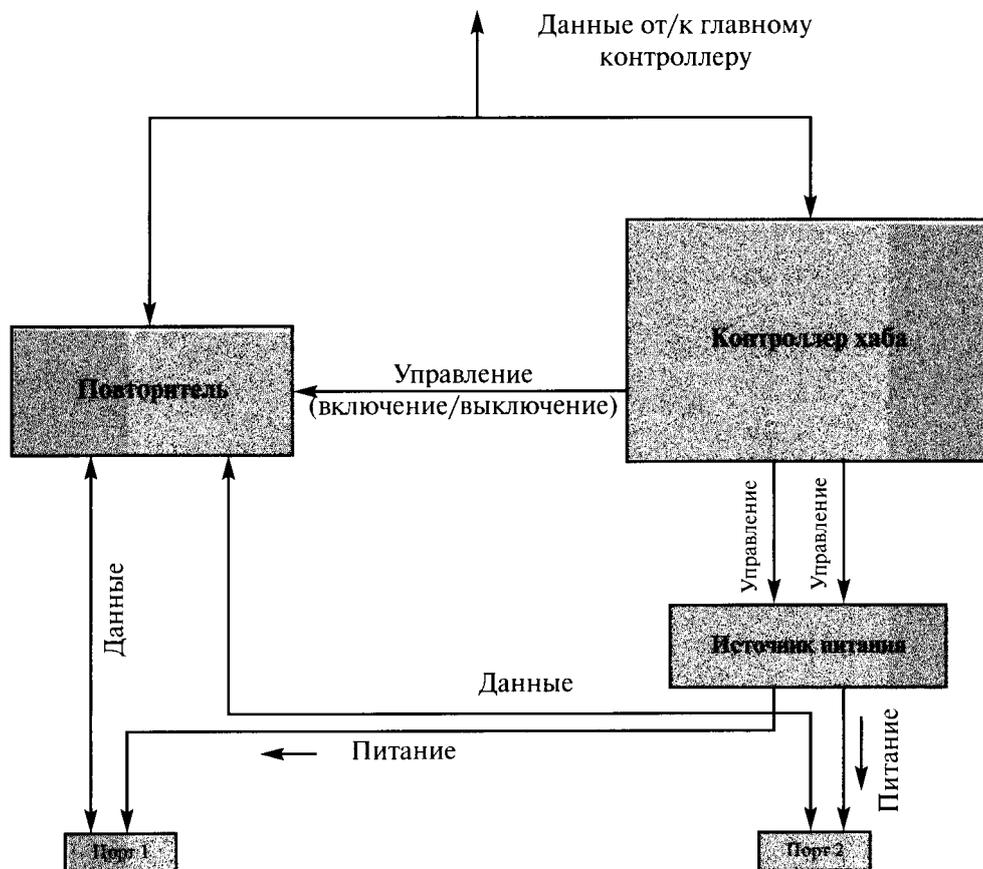


Рис. 3.32. Блок-схема главного хаба

Главный хаб осуществляет полный контроль над USB портами. Этот контроль включает следующие функции:

- инициализация и конфигурация;
- включение и отключение портов;
- определение скорости устройств;
- обнаружение подключения устройства;
- получение информации от прикладного программного обеспечения;
- создание пакета и кадра;
- передача информации на шину;
- ожидание и подтверждение отклика;
- коррекция ошибок;
- обнаружение отключения устройства;
- использование порта в качестве повторителя.

Разъемы (типы «А» и «В»)

Существуют два типа разъемов – тип «А» и тип «В». Причина того, что имеются два типа разъемов, заключается в том, что одни устройства имеют встроенные кабели, а другие – съемные. Если бы кабели были одинаковыми, то было возможным соединение порта главного хаба с другим портом хаба. Из-за полярности разъемов +5 вольт могли бы замкнуться на землю. Чтобы этого не произошло, порты хаба используют разъемы типа «А», а входные порты устройства используют разъем типа

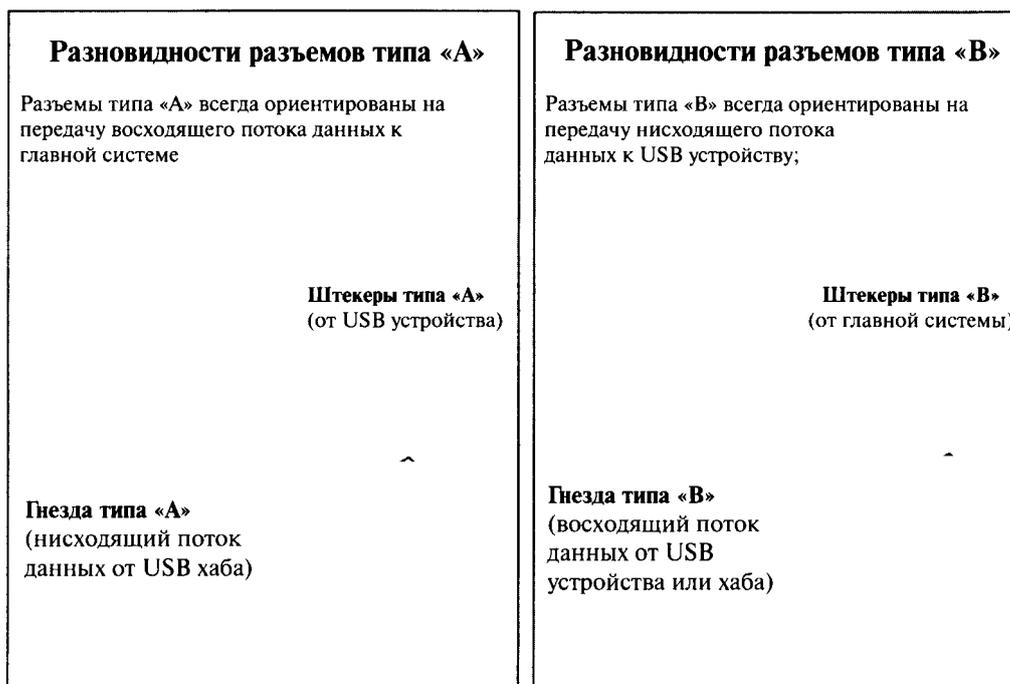


Рис. 3.33. USB разъемы

«В». Это означает, что невозможно соединить один порт хаба с другим портом хаба. На внешнем хабе вход будет иметь разъем типа «В», если только кабель хаба не фиксирован (нет разъема).

Кабели для низкой и высокой скоростей передачи данных

Стандарт USB утверждает, что интерфейс USB будет работать либо со скоростью 1,5 Мбит/с (низкая скорость), либо со скоростью 12 Мбит/с (высокая скорость). Интерфейс USB должен иметь кабели как для низкой, так и для высокой скорости. Это обусловлено различием импедансов, зависящих от скорости передачи данных. Медленнодействующий интерфейс использует неэкранированные кабели из невитых пар проводов. Пара проводов для передачи данных соответствует стандарту 28 AWG (диаметр провода 0,3-0,35 мм), а провода для передачи питания соответствуют стандарту 20-28 AWG (диаметр провода 0,35-0,8 мм). Кабели, поддерживающие низкую скорость, используются для таких устройств, как клавиатуры и мыши. Максимальная длина такого кабеля может достигать 3 м. Быстродействующий интерфейс использует экранированные витые пары. Пара проводов для передачи данных соответствует стандарту 28 AWG (диаметр провода 0,3-0,35 мм), а провода для передачи питания соответствуют стандарту 20-28 AWG (диаметр провода 0,35-0,8 мм). Максимальная задержка при распространении сигнала должна быть не более 30 нс. Максимальное расстояние для быстродействующей шины USB составляет 5 м.

Внешние хабы

Внешние хабы используются для увеличения количества устройств, подключаемых к системе. Обычно они имеют четыре выходных USB порта и либо один входной разъем типа «В», либо специализированный кабель. Этот кабель снабжен штекером типа «А». Он обычно подключается к главному хабу, но может также подключаться к выходному гнезду (типа «А») другого внешнего хаба. Даже если внешний хаб является повторителем, общая максимальная длина кабелей превышать не должна. Это определяется требованиями синхронизации USB стандарта.

Внешний хаб является интеллектуальным устройством, которое может управлять коммуникационными линиями и подавать питание на свои USB порты. Он является двунаправленным повторителем для информации, поступающей от главного хаба и от USB устройств. Внешний хаб передает информацию к главному хабу и по отношению к нему действует как внешнее USB устройство. Он играет составную часть в конфигурации устройств при включении системы. На количество хабов нет никаких ограничений.

USB устройства

USB система поддерживает любые периферийные устройства, которые можно подключить к ПК. Она также могла и была приспособлена к такому оборудованию, которое обычно не считается периферийным. К нему относятся устройства сбора данных, например цифровые модули ввода/вывода, а также модули ввода и вывода аналогового сигнала. Все USB устройства должны быть интеллектуальными. Они

очевидно, стоят дороже, чем старые неинтеллектуальные интерфейсы RS-232 и RS-485. Но за большие деньги пользователь получает больше функций, удобство использования и возможность подключения к ПК большего количества устройств. При использовании старых не-USB систем компьютер был ограничен несколькими устройствами. USB система позволяет одновременно подключить к ПК до 127 устройств.

Имеются два типа USB устройств:

- Медленнодействующие и
- Быстродействующие

Медленнодействующие устройства не только имеют ограниченную скорость, но они обладают и меньшими возможностями. К ним относятся клавиатуры, мыши и цифровые джойстики. Поскольку эти устройства выдают небольшое количество информации, то они опрашиваются реже и работают медленнее других устройств. Если к USB шине получает доступ быстродействующее устройство, то коммуникация с медленнодействующими устройствами прекращается. Отключение портов медленнодействующих устройств на корневых или внешних хабах отключает медленнодействующие устройства. Хабы вновь подключают медленнодействующие порты только после получения специального пакета преамбулы.

Быстродействующие устройства, такие как принтеры, CD-ROM приводы и акустические системы, требуют шины со скоростью 12 Мбит/с, чтобы передавать большее количество информации, необходимой для этих устройств. Все быстродействующие устройства видят весь трафик шины. В отличие от медленнодействующих устройств они никогда не отключаются. Когда устройство типа микрофона «подключено» к акустическим системам, большинство трафика и, следовательно, пакетов будет использоваться аудиосистемой. Другому трафику, например от клавиатуры и мыши, придется подождать. Драйвер контроллера главного хаба решает, какое устройство должно ждать и как долго.

Аппаратное обеспечение и драйвер контроллера главного хаба

Всеми транзакциями управляют аппаратное обеспечение и драйвер контроллера главного хаба. Аппаратное обеспечение контроллера главного хаба обеспечивает физическое соединение PCI шины с USB разъемом. Оно включает и инициализирует главные порты, а также определяет скорость и направление передачи данных обоих главных портов. Главный контроллер в сочетании с программным драйвером главного хаба определяет содержимое кадра, приоритеты устройств, а также количество передаваемых кадров.

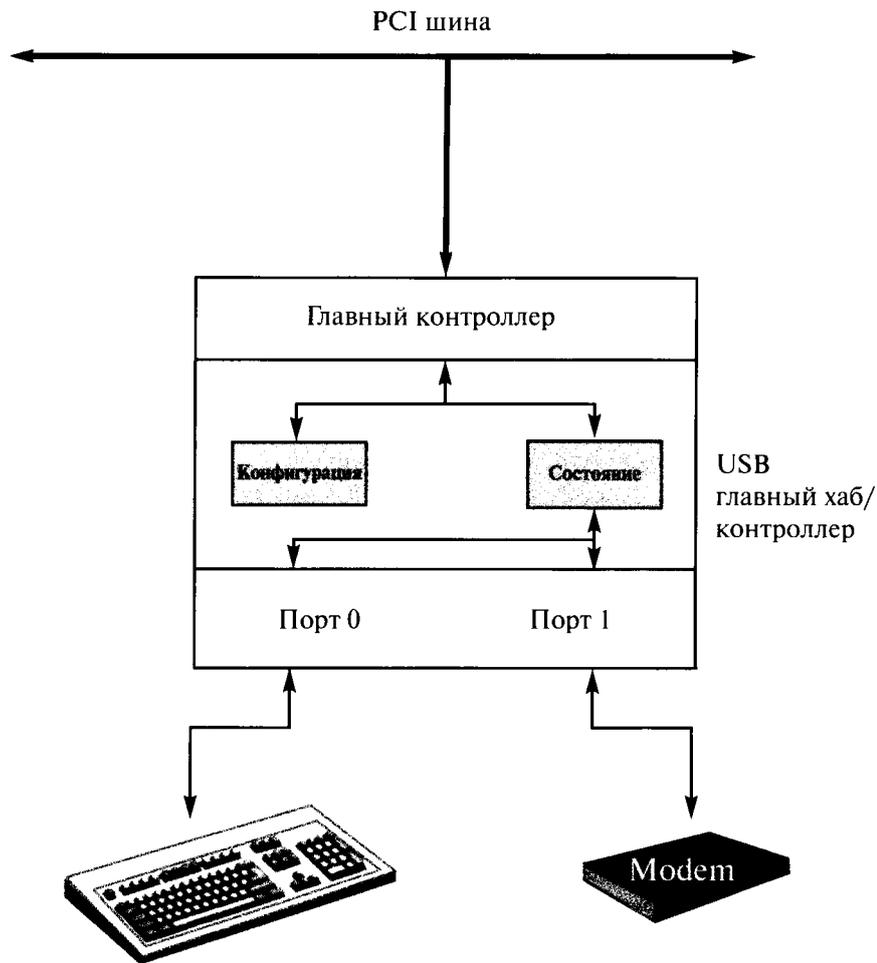


Рис. 3.34. Схема контроллера главного хаба

USB драйвер

Программный USB драйвер управляет интерфейсом между USB устройствами, драйверами устройств и драйвером главного хаба. Когда он получает запрос от драйвера устройства в ПК на доступ к некоторому устройству, то он организует запрос вместе с запросами других устройств от прикладной программы ПК. Он работает с драйвером контроллера главного хаба, чтобы назначить приоритеты пакетам, прежде чем они будут загружены в кадр. Программный USB драйвер получает информацию от USB устройств во время конфигурации устройства. Он использует эту информацию, чтобы сообщить контроллеру главного хаба, как осуществлять коммуникации с этим устройством.

Драйверы устройств

Для каждого USB устройства в ПК должен быть загружен соответствующий драйвер. Драйвер устройства является программным интерфейсом между внешним USB устройством и прикладной программой, программным драйвером USB и драйвером контроллера главного хаба. Он имеет информацию о нуждах конкретного устройства и других драйверах. Эта информация используется для определения типа, скорости (хотя портами хаба эта информация может быть определена физически), приоритета, функции устройства, а также размера пакета, необходимого для передачи данных.

Поток данных

Как было упомянуто выше, USB система является полудуплексной, синхронной коммуникационной шиной, имеет структуру главное/подчиненное устройство и предназначена для подключения периферийных устройств к внешним хабам. Это означает, что периферийные устройства не могут инициировать передачу информации по USB шине. Полный контроль над транзакциями имеет главный хаб. Он инициирует все коммуникации с хабом и устройствами. Шина USB работает в синхронном режиме, поскольку все кадры передаются в пределах временного интервала равного 1 мс. Драйвер главного хаба в совокупности с программным USB драйвером, определяет размер пакета и количество времени, которое каждое устройство получает в одном кадре.

Если прикладная программа хочет передать или принять некоторую информацию от устройства, то она инициализирует передачу с помощью драйвера устройства. Драйвер устройства поставляется либо производителем устройства, либо он поступает вместе с операционной системой. Программный USB драйвер производит запрос и помещает его в то место памяти, где находятся запросы от драйверов других устройств. Работая вместе, USB драйвер, драйвер главного хаба и контроллер главного хаба производят запрос и помещают данные и пакеты от драйверов устройств в кадры продолжительностью 1 мс. Затем главный контроллер последовательно передает данные к портам главного хаба. Поскольку все устройства подключены к USB шине параллельно, то информацию слышат все устройства (за исключением медленнодействующих устройств, если только это не медленная передача информации. Медленнодействующие устройства, когда они не опрашиваются, выключаются. Затем главный хаб ждет отклика (если необходимо). USB устройство реагирует определенным пакетом информации. Если устройство не видит никакой активности шины в течение 3 мс, то оно переходит в режим ожидания.

Имеются четыре типа IN пакетов (входящие пакеты, получение информации от устройства) и три типа OUT пакетов (выходящие пакеты, передача информации к устройству).

Некоторые устройства типа мышей и клавиатур требуют опроса (IN пакеты), но не слишком часто. Программный USB драйвер знает об этих устройствах и составляет расписание их регулярного опроса. В отклик включены три уровня коррекции ошибок. Такой тип передачи информации очень надежен. Эти периферийные устройства обычно являются медленнодействующими устройствами и, следовательно, нуждаются в особых медленных пакетах. Эти пакеты называются пакетами-преамбулами. Па-

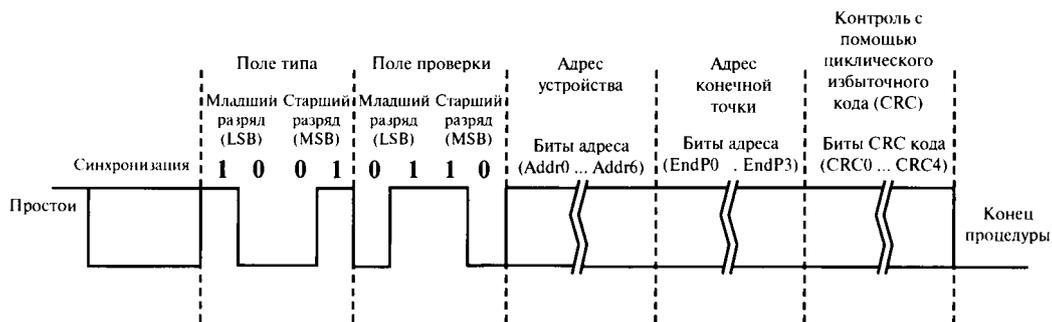


Рис. 3.35. Пример IN пакета

кет-преамбула передается перед каждым опросом. Медленнодействующие устройства отключаются до тех пор, пока они не примут этот пакет-преамбулу. Как только они будут включены, они обнаружат опрос и отреагируют на него. USB не имеет возможности для организации многочисленных ответов от устройств.

С другой стороны, имеются устройства, которые нуждаются в постоянном внимании, но постоянный опрос для них невозможен. К таким устройствам относятся микрофоны (IN пакеты), акустические системы (OUT пакеты) и CD-ROM приводы (оба типа пакетов - IN и OUT). Для этих устройств скорость передачи очень важна и очевидно, что они будут использовать максимальную скорость. Они будут также использовать большую часть кадра (до 90%). **Принимающие устройства НЕ ДАЮТ** отклика на передачу данных. Такая передача данных является односторонней или «симплексной». Это означает, что коррекция ошибок для таких типов передачи информации отключается.

Физический уровень

Физический уровень универсальной последовательной шины основан на дифференциальной коммуникационной системе, использующей ± 3 В постоянного тока. Это некоторым образом очень напоминает стандарт напряжений интерфейса RS-485. К сожалению, дальность действия для USB интерфейса меньше, чем для RS-485. И это не из-за используемого типа проводов или из-за стандарта напряжения самого интерфейса USB – все определяется требованиями синхронизации протокола USB. Чтобы удовлетворить стандартам USB при использовании любой периферии, необходимо соблюдать очень жесткие требования к синхронизации.

Физический стандарт USB предоставляет пользователю много преимуществ: это скорость 12 МГц, это очень помехоустойчивый и очень надежный интерфейс (пока пользователь следует правилам использования кабелей). При использовании стандартных кабелей и разъемов пользователю очень трудно что-либо испортить в USB системе.

Существует история, что однажды Билл Гейтс наблюдал за установкой нового компьютера. Когда он увидел все провода, выходящие с задней панели компьютера, он позвонил генеральному директору Intel и сказал: «Мы должны избавиться от этой пучины кабелей и разъемов». И, как говорится, остальное является делом истории.

Номер контакта	Назначение сигнала	Цвет провода
1	Напряжение питания	Красный
2	-Data (данные)	Белый
3	+Data (данные)	Зеленый
4	Земля	Черный

Таблица 3.9. Контакты USB разъема

Разъемы

Штекеры и гнезда USB шины имеют два провода для передачи данных и два провода для питания. Использование устройств с питанием от шины не обязательно. Контакты на штекере имеют разную длину. Контакты питания имеют длину 7,41 мм, а информационные контакты - 6,41 мм. Это означает, что если кабель вставляется во включенное устройство, то питание на устройство будет подано до подключения информационных линий. Более важным является то, что при отключении кабеля первыми отключаются коммуникационные линии, и только потом питание. Это уменьшает возможность порчи оборудования противодействующей ЭДС. Существуют два типа USB разъемов: тип «А» и тип «В».

Разъем типа «А» является плоским несколько скругленным прямоугольным разъемом с направляющими, который используется в главных портах, внешних хабах и приборах. Разъем типа «В» с направляющими является полукруглым и несколько меньшим, чем разъем типа «А». Необходимо отметить, что разъемы и типа «А», и типа «В» имеют на верхней части символ USB. Он предназначен для ориентации разъема.

Все хабы и устройства имеют гнездовые разъемы, а кабели имеют штекер типа «А» на одном конце и тип «В» на другом. Это вызвано тем, что если бы на обоих концах кабеля был разъем типа «А», то было бы возможным соединение двух гнезд главного хаба или гнезд внешнего хаба. Несъемные кабели устройств или внешний хаб имеют на одном конце только разъем типа «А».

Кабели

Кабели для USB шины бывают предназначены либо для низкой, либо для высокой скорости передачи сигналов. И те и другие кабели имеют разъемы типа А, но только быстродействующие устройства могут использовать разъемы типа В. Таким образом, съемные кабели всегда предназначены для высокой скорости.

Вследствие того, что импеданс кабеля определяется отчасти скоростью передачи сигнала, то для разных скоростей необходимы разные кабели. Внешние хабы всегда являются быстродействующими устройствами, но они будут работать как с медленными.

так и с быстрыми кабелями. Медленнодействующие устройства типа клавиатуры будут подключаться только к другим медленнодействующим устройствам с помощью медленных кабелей. Порты на хабах могут автоматически определять скорость устройства, подключенного к другому концу. Если линия D+ имеет высокий потенциал (от +3,0 до +3,6 В постоянного напряжения), то устройство считается быстродействующим. Если высокий потенциал имеет линия D-, то устройство считается медленнодействующим.

Медленный интерфейс (1,5 Мбит/с) использует неэкранированные кабели данных из невитых проводов. Коммуникационная пара проводов соответствует стандарту 28 AWG (диаметр провода 0,3-0,35 мм), но из-за того, что провода невитые и неэкранированные, общий диаметр медленного кабеля меньше, чем диаметр быстрого кабеля. Максимальное расстояние для медленного кабеля составляет 3 м. Сюда входят суммарное расстояние от порта главного хаба до внешнего хаба, а также от внешнего хаба до устройства. Обычно для систем передачи данных более медленная скорость передачи данных означает более длинное расстояние. В данном случае кабель не защищен от наводок и из-за ограничений, накладываемых Федеральной комиссией по связи, США (FCC), на коммуникации со скоростями от 1 до 16 Мбит/с, его длина строго ограничена.

Быстродействующие кабели (12 Мбит/с) используют экранированную витую пару проводов, соответствующих стандарту 28 AWG. Максимальная длина таких кабелей составляет 5 м. И опять в эту длину входит полная длина кабеля от хаба до хаба и от хаба до устройства. Внутренний экран соединен с корпусом на обоих концах кабеля. Обычно для систем передачи данных земля соединяется только на одном конце, но поскольку расстояние небольшое, то в данном случае это проблем не вызовет.

Примечание. Прежде чем **производить подключение, рекомендуется измерить** разницу земляных потенциалов обоих устройств.

Пара проводов питания как медленных, так и быстрых кабелей соответствует стандарту 20-28 AWG (диаметр провода 0,35-0,8 мм). К внешним устройствам по этим проводам может быть подано питание с напряжением +5 В постоянного напряжения при токе от 100 до 500 мА. Каждый порт хаба предоставляет это питание устройствам только в том случае, если его имеет сам хаб. Все хабы могут определить, подано ли на разъем питание. Если внешний хаб сам питается от шины, то он поделит ток 500 мА между портами и обеспечит каждому порту ток 100 мА.

Передача сигналов

Если к хабу подключается какое-либо устройство, то порт хаба сразу же определяет скорость устройства. Порт проверяет напряжение на линиях D- и D+. Если линия D+ имеет положительный потенциал, то порт знает, что устройство является быстродействующим. Если линия D- становится положительной, то устройство является медленнодействующим.

Если же постоянные напряжения линии D+ и линии D- падают ниже 0,8 В более чем на 2,5 мкс, то хаб считает, что устройство отключено. А если напряжение на любом конце линии поднимется выше 2 В постоянного тока более чем на 2,5 мкс, то порт считает это условие подключением устройства.

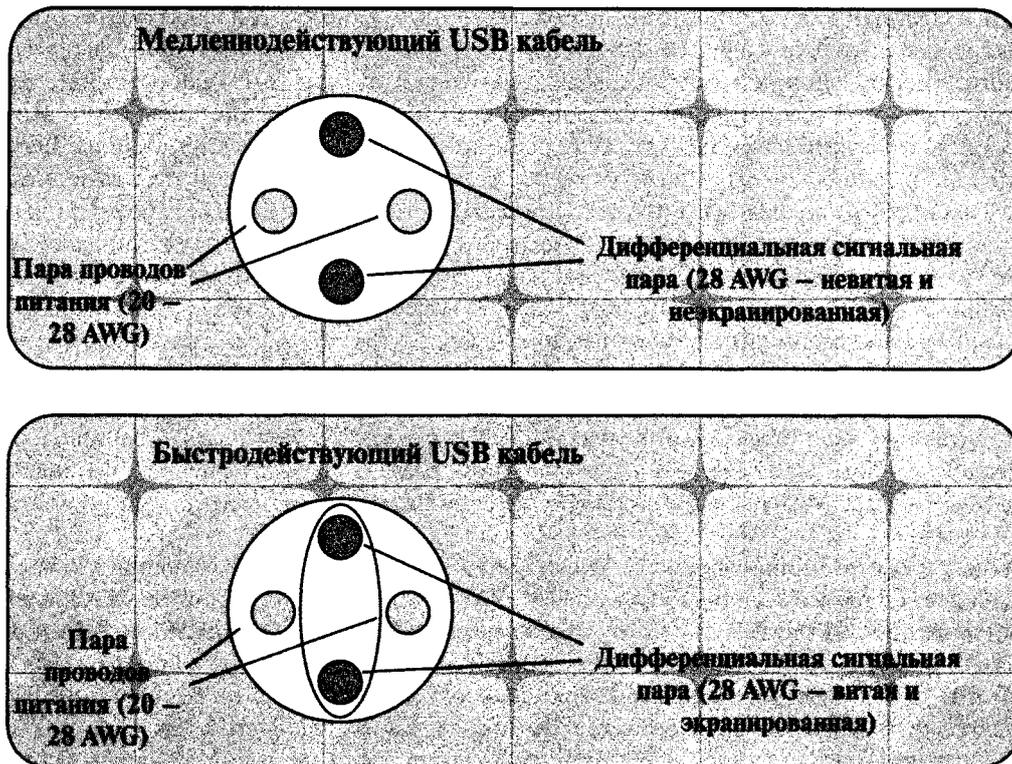


Рис. 3.36. Медленно- и быстродействующие кабели

Состояния паузы для медленных и быстрых устройств противоположны друг другу. Для медленнодействующего устройства состояние паузы характеризуется тем, что линия D+ имеет потенциал 0 вольт, а линия D- имеет положительный потенциал. Для быстродействующего устройства состояние паузы характеризуется тем, что линия D+ имеет положительный потенциал, а линия D- имеет нулевой потенциал. В большинстве случаев передачи данных положительное напряжение указывает на нулевое (0) состояние, а отрицательное – на единицу (1). Для USB системы это неприменимо, поскольку она использует систему кодирования NRZI (без возвращения к нулю и с инверсией).

Напряжения, используемые для дифференциальной передачи сигнала, являются следующими:

- максимальное передаваемое напряжение +3,6 В (постоянное);
- минимальное передаваемое напряжение +2,8 В (постоянное);
- минимальное напряжение, необходимое для распознавания перехода ± 2 В (постоянное);
- типичное напряжение линии, получаемое приемником ± 3 В (постоянное).

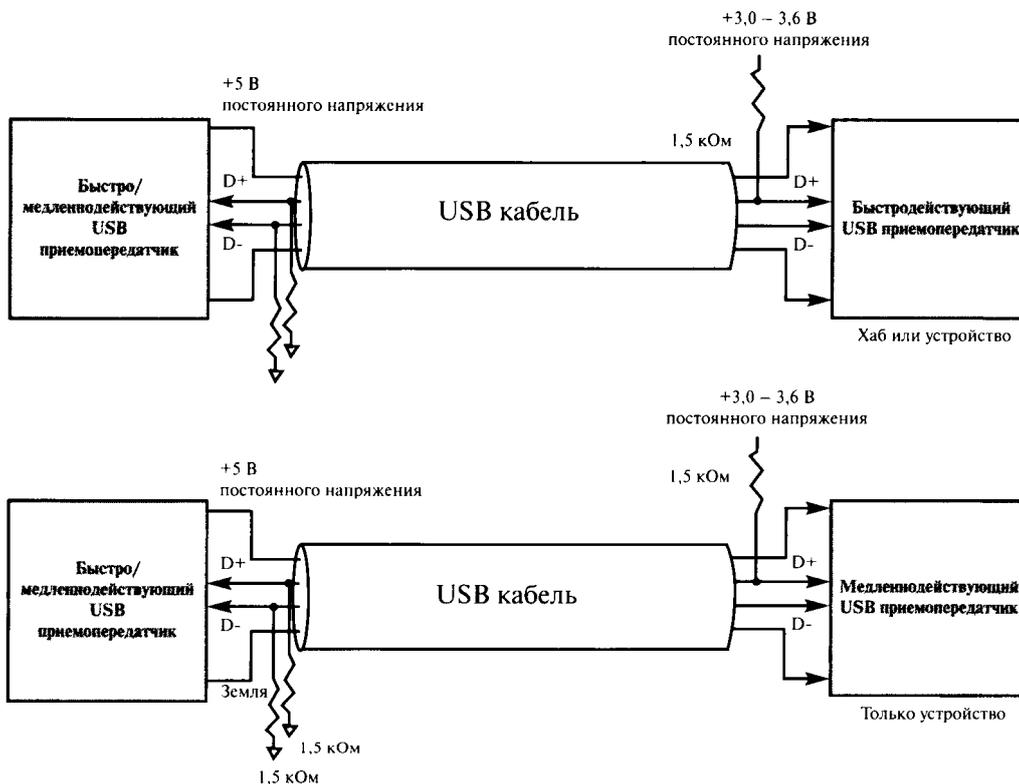


Рис. 3.37. Схема подключения проводов USB шины

Система NRZI и битовое заполнение

USB использует систему кодирования без возвращения к нулю и с инверсией (NRZI). В NRZI системе «1» определяется как отсутствие «изменений» или «перепада» напряжения, а «0» является изменением или перепадом напряжения. Строка нулей приводит к потоку данных типа тактовой частоты. Система передачи сигнала USB шины использует переход от одного напряжения к другому для синхронизации приемников. Поток единиц, следовательно, не будет означать никаких изменений. Это приведет к тому, что приемник потеряет синхронизацию. Чтобы преодолеть эту проблему, USB использует технологию заполняющих битов (от 6 до 7). Если подряд должны быть переданы шесть или больше единиц, то передатчик вставляет нули (перепад). Если приемник видит шесть единиц подряд, то он знает, что следующий перепад (нуль) необходимо проигнорировать.

Распределение питания

Такие устройства, как клавиатуры и мыши, для своей работы требуют питания. Необходимое питание обеспечивается USB системой через кабели и хабы. Внешние

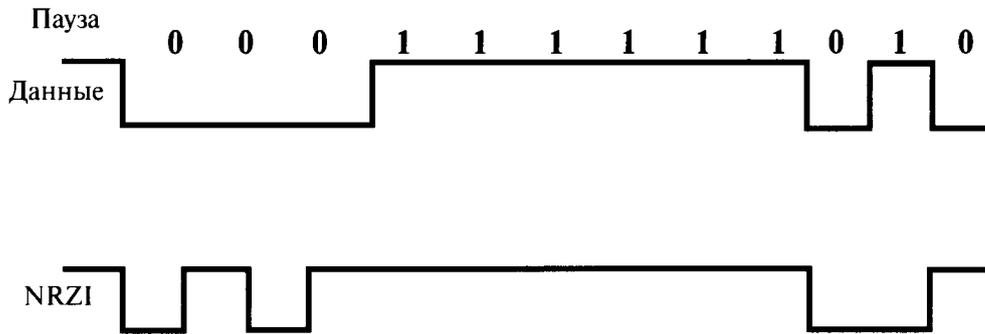


Рис. 3.38. Пример NRZI кодирования

хабы могут иметь либо свое питание, либо питаться от шины. Напряжение, выдаваемое USB хабом, составляет +5 В постоянного тока. Хабы должны обеспечивать не менее 100 мА и не более 500 мА потребляемого тока для каждого порта. Если внешний

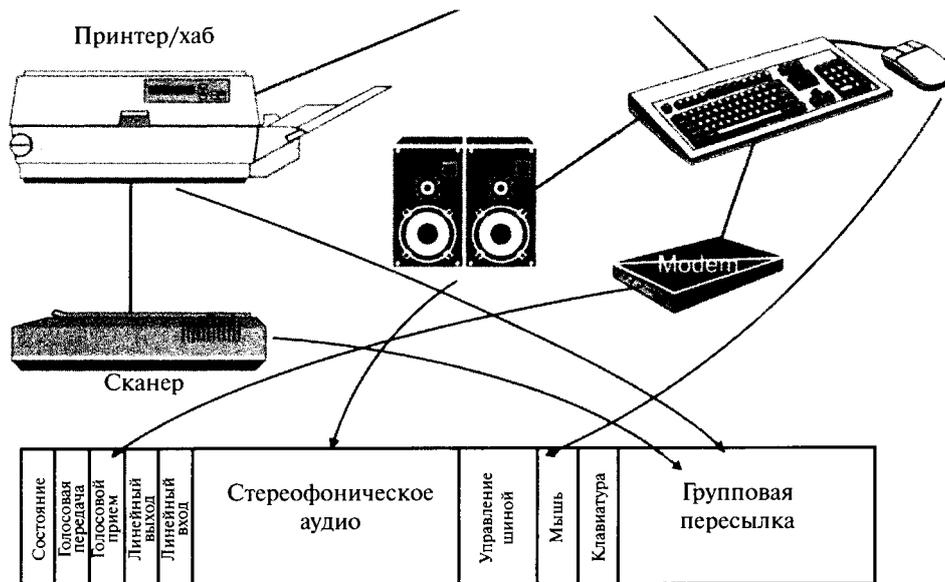


Рис. 3.39. Блок-схема уровня канала передачи данных USB

хаб с четырьмя портами питается от шины, то он будет делить ток 500 мА между всеми портами. Четыре порта по 100 мА составляют 400 мА. Это оставляет 100 мА на работу самого хаба. Нельзя подключать вместе два хаба, питаемых от шины, если только устройства, подключенные к последнему хабу, не имеют самостоятельного питания. Если внешний хаб имеет самостоятельное питание, то есть питается от сети, он должен обеспечивать ток 500 мА для каждого порта.

Уровень передачи данных

Уровень канала передачи данных в соответствии со спецификацией USB определяет USB как полудуплексную синхронную коммуникационную шинную систему, работающую по принципу главное/подчиненное устройство. Этот канал предназначен для соединения близко расположенных периферийных и внешних шин. Аппаратные и программные устройства, такие как драйвер и электроника контроллера главного хаба, программный USB драйвер и драйверы устройств, - все вносят вклад в уровень канала передачи данных USB.

При совместной работе этих устройств уровень канала передачи данных обеспечивает следующее:

- сбор данных с PCI шины с помощью драйвера устройства;
- обработку информации;
- контроль, определение и выполнение различных типов передачи данных;
- вычисление и проверку на наличие ошибки в пакетах и кадрах;
- помещение различных пакетов в 1 мс кадр;
- обнаружение начала разделителей кадров;
- передачу пакетов на физический уровень;
- прием пакетов с физического уровня.

Способы передачи данных

При рассмотрении уровня канала передачи данных USB удобно начать с четырех различных способов передачи данных. Большой ассортимент устройств, имеющих интерфейс USB, требует различных способов передачи данных. К ним относятся:

- передача с использованием прерываний;
- изохронная передача;
- управляющая передача;
- потоковая передача.

Как говорилось выше, данные в USB системах могут передаваться на двух скоростях. Главным образом, уровень канала передачи данных для этих режимов одинаков, за исключением небольших отличий. Причина этого станет очевидной в следующих разделах.

Передача с использованием прерываний применяется для таких устройств, которые традиционно используют линии IRQ. Устройства типа клавиатуры, мыши и

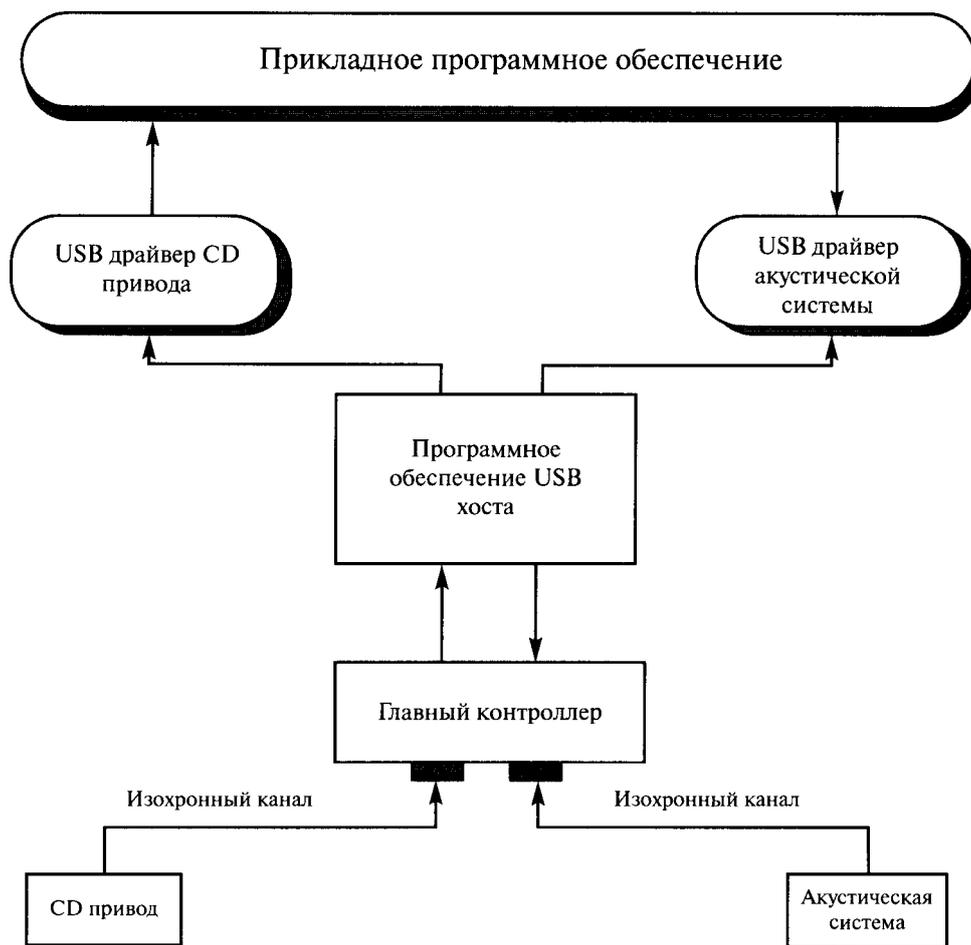


Рис. 3.40. Пример изохронной передачи данных

платы DAQ используют линии IRQ для сообщения компьютеру, что их необходимо обслужить. Шина USB не поддерживает устройства, которые выдают запросы в компьютер. Чтобы преодолеть эту проблему драйвер USB инициирует опрос тех устройств, которые требуют периодического внимания. Этот опрос должен производиться достаточно часто, чтобы данные не потерялись, но и не слишком часто, чтобы зря не занимать линию. При установке устройство определяет свои минимальные требования по опросу. Устройства, которые требуют опросов, редко опрашиваются каждый кадр. Клавиатура является типичным устройством, опрашиваемым каждый 100-й кадр.

Изохронная передача используется в тех случаях, когда на устройства или от них передается информация с постоянной скоростью. К таким устройствам относятся микрофоны и акустические системы. Передача информации может производиться



Рис. 3.41. Пример потоковой передачи данных

асинхронно, синхронно или еще каким-либо образом, в зависимости от используемого устройства. Это постоянное внимание требует, чтобы большая часть кадра была передана в пользование одного или двух устройств. Если одновременно производится слишком большое количества данных, то они могут потеряться. Этот тип передачи не критичен к качеству данных. Коррекция ошибок или потеря данных игнорируется. Медленнодействующие устройства не могут использовать изохронный тип передачи из-за небольшого количества передаваемых данных. Используя медленнодействующие устройства, данные невозможно передавать достаточно быстро. При изохронной передаче максимальное количество данных, которое может быть помещено в один пакет, составляет 1023 байта. Ограничений по количеству передаваемых пакетов нет.

Управляющая передача используется для передачи специальных запросов и информации к специфическим устройствам. Этот метод используется главным образом во время циклов конфигурации и инициализации. Такие передачи являются критическими по отношению к данным и требуют отклика или подтверждения от устройства. Для управляющего типа передачи данных производится полная коррекция ошибок. Так или иначе этот тип передачи используют все устройства. Эти передачи занимают очень небольшую часть канала, но поскольку устройство должно выдавать ответ главному хэбу, то кадры посвящены этой одной передаче данных.

Потоковая передача используется для передачи больших блоков данных к устройствам, которые не зависят от времени, но для которых важны сами данные. Типичным устройством, использующим потоковую передачу, является пишущий CD привод и принтер. Эти устройства требуют большого количества информации, но для них нет ограничения по времени передачи, как, например, для акустической системы. Если данные поступают на такие устройства в первые 10 мс или в последующие – разницы нет. Но это должны быть корректные данные, поэтому такой тип передачи данных включает квитирование и полную коррекцию ошибок.

Пакеты и кадры

USB протокол может и часто действительно использует многопакетный многокадровый формат. USB кадр состоит из трех частей. Один кадр эквивалентен одной транзакции.

Пакеты бывают следующих типов:

- пакет-признак;
- пакет данных;
- пакет квитирования.

Каждый кадр начинается с пакета-признака. Пакет-признак включает другие меньшие пакеты: схему синхронизации, идентификатор типа пакета и тип пакета-признака (рис. 3.42).

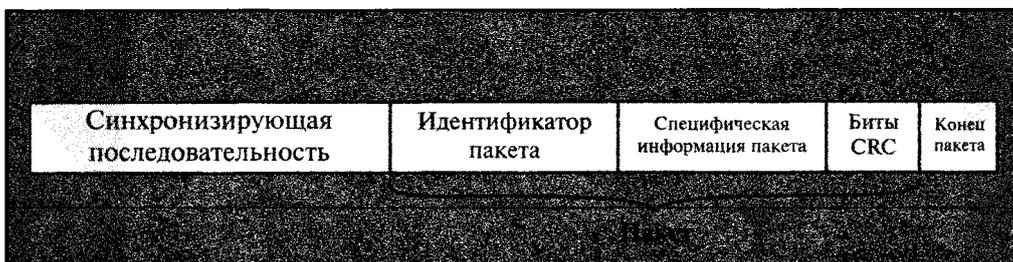


Рисунок 3.42. Формат пакета

Четыре типа пакета-признака

- начало кадра;
- IN-пакеты;
- OUT-пакеты;
- пакеты настройки.

Начало кадра/пакета-признака указывает начало всего пакета. Он сообщает приемнику, что это начало 1 мс кадра. «IN-пакеты» являются пакетами, которые будут передавать данные от устройств к ПК. «OUT-пакеты» являются пакетами, которые будут передавать данные от ПК к устройству. Настроечные пакеты используются для запроса устройств или хабов о начале информации и содержат информацию для устройств или хабов.

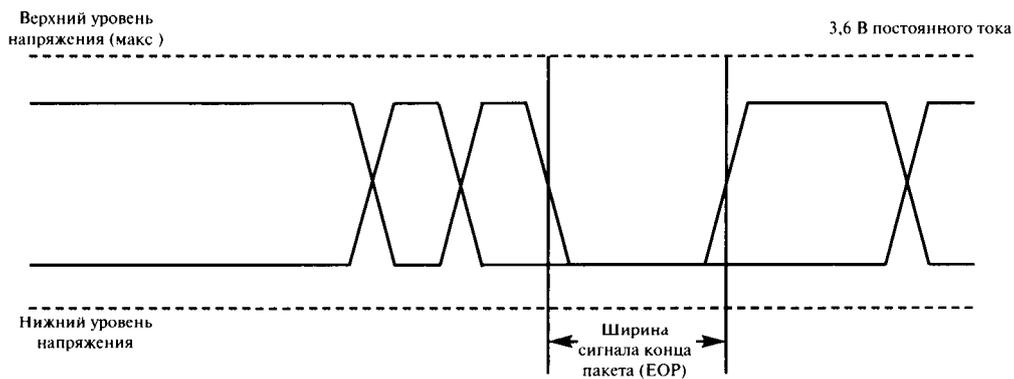


Рис. 3.43. Конец пакета

Специальный пакет используется только для медленных передач. Он называется пакетом-преамбулой. Этот пакет короче пакета, который используется при скоростной передаче данных. Он содержит только 64 байта данных и всегда использует квитирование. Этот пакет имеет три разновидности: IN-пакет, OUT-пакет и пакет настройки.

В конце всех пакетов, за исключением использования изохронных кадров, имеется пакет для коррекции ошибок. При быстрой скорости передачи информации применяется 16-разрядный контроль с помощью циклического избыточного кода (CRC). Медленнодействующие устройства используют 5-разрядный CRC, поскольку их пакеты невелики. Если устройство или хаб видит конец кадра, то оно проверяет CRC. Если CRC корректен, то устройство считает это концом сообщения. Если CRC не корректен и время ожидания не истекло, то устройство продолжает ожидать. Если же CRC не корректен, а время ожидания истекло, то приемник считает, что кадр некорректен.

Уровень приложения (уровень пользователя)

Уровень приложения можно разделить на два подуровня – операционная система (например, Windows 2000) и прикладная программа устройства (например, программа для работы модема).

Уровень приложения стандарта USB, по сути, является уровнем пользователя. Это потому, что стандарт USB фактически не определяет настоящий уровень приложения. Что он определяет, так это уровень пользователя, который может быть использован (программистом прикладного обеспечения) для создания прикладного уровня.

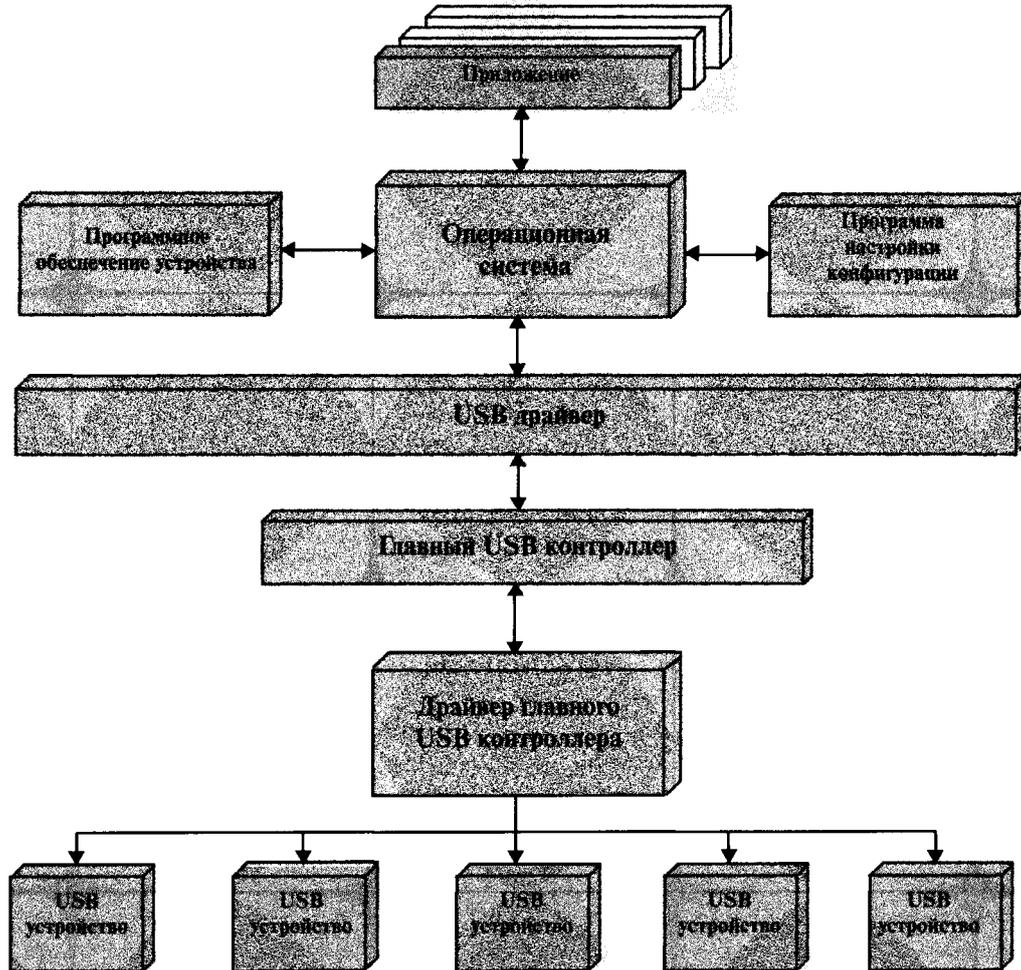


Рис. 3.44. Схема взаимодействия прикладного программного обеспечения

Пользовательский уровень операционной системы включает:

- команды;
- программные драйверы;
- конфигурацию хаба;
- распределение пропускной способности.

Программа для устройства должна включать:

- команды;
- драйверы устройства;
- конфигурацию устройства.

Специфическую информацию о пользовательском уровне можно найти в спецификациях универсальной последовательной шины, представленных на веб-странице форума разработчиков USB устройств <http://www.usb.org>.

Заключение

Разработанная как интерфейс для подключения периферии ПК, универсальная последовательная шина USB может быть приспособлена для систем сбора данных. Теперь, когда промышленность разрабатывает все более и более интеллектуальные системы управления и сбора данных (DAQ), USB шина легко к ним приспосабливается. Устройства **могут** быть как медленно-, так и быстродействующими, но они просто и удобно подключаются к ПК. В продаже существует множество устройств, число которых в будущем может только расти. Особенно заинтересованными в этом являются инженерные работники, поскольку им не придется тратить много времени и сил на создание и внедрение систем сбора данных. При наличии в USB устройствах функции Plug and Play пользователь больше не должен тратить часы или даже дни на конфигурацию системы сбора данных, хотя сэкономленное время часто проявляется в дополнительной стоимости устройств.

Как было сообщено группой учредителей, состоящей из компаний Compaq, Hewlett-Packard, Intel, Lucent, Microsoft, NEC и Philips, предельной скоростью шины USB 2.0 является 480 Мбит/с. Сообщение о максимальной скорости совпадает с предварительным выпуском для разработчиков спецификации USB 2.0.

Благодарность

Приведенные выше разделы содержат информацию из следующих источников информации.

- Спецификация универсальной последовательной шины – веб-страница форума разработчиков USB устройств <http://www.usb.org>
- Архитектура универсальной последовательной шины – Дон Андерсон (Don Anderson) из MindShare Inc.

- Спецификации USB продуктов Intel 84930 и 84931 на периферийные USB контроллеры:
[http://www.intel.com/design/usb/prodbref/29776501 .htm](http://www.intel.com/design/usb/prodbref/29776501.htm)
- Другие веб-сайты, представляющие интерес:
<http://www.lucent.com/micro/suite/usb.html>
<http://www-us.semiconductors.philips.com/usb/>

Лекция 4

Обнаружение ошибок

Ошибки при передаче данных происходят, если значение какого-либо бита будет изменено с 1 на 0 или наоборот. В этой главе рассматриваются причины возникновения ошибок и имеющиеся способы обнаружения и исправления ошибок.

Цели

Завершив изучение этой главы, вы сможете:

- описать причины появления ошибок;
- перечислить и объяснить факторы, влияющие на распространение сигналов;
- перечислить и объяснить способы исправления ошибок с использованием обратной связи;
- объяснить прямое исправление ошибок.

4.1. Происхождение ошибок

Ошибки возникают в результате проявления одного или нескольких явлений:

- статические события;
- тепловые шумы;
- кратковременные события.

Статическое событие вызывается предсказуемым процессом, например, высокочастотными изменениями, изменением смещения или радиопомехами. Обычно они могут быть минимизированы путем инженерно-конструкторской проработки.

Тепловые шумы вызываются естественными флуктуациями параметров физической передающей среды.

Кратковременные события обычно трудно предсказуемы, поскольку они вызваны различными природными явлениями, такими как электрические помехи (например, молния), прерываниями связи или перекрестными помехами. Ошибки, являющиеся результатом кратковременных событий, устранить удается не всегда.

4.2. Факторы, влияющие на распространение сигнала

Сигнал, передаваемый через любую передающую среду, может быть подвержен:

- ослаблению;
- ограничению полосы;
- искажению, вызванному задержкой;
- воздействию помех.

Ослабление

Ослаблением сигнала называется уменьшение его амплитуды, которое происходит при распространении сигнала через передающую среду.

Прежде чем устанавливать один или несколько усилителей или повторителей, которые будут восстанавливать исходный уровень сигнала, необходимо установить предел для максимально допустимой длины кабеля. Высокочастотные компоненты сигнала ослабляются сильнее. Чтобы компенсировать уровень ослабления в определенной полосе частот, можно использовать такие устройства, как эквалайзеры.

Ограничение ширины полосы

Важно понять, что чем больше ширина полосы передающей среды, тем ближе принимаемый сигнал будет к переданному сигналу.

Для определения максимальной скорости передачи данных в отсутствие шумов по передающей линии используется закон Хартли (Hartley):

$$\text{Максимальная скорость передачи (бит/с)} = 2 B \log_2 M,$$

где: B – ширина полосы в герцах; M – количество уровней на элемент сигнала.

Пример.

Модем, использующий фазовую квадратурно-амплитудную модуляцию (QAM), четыре уровня на элемент сигнала и ширину полосы 3000 Гц (обычная телефонная сеть), имеет максимальную скорость передачи:

$$\text{Максимальная скорость передачи} = 12000 \text{ бит/с}$$

Искажения, вызванные задержкой

При передаче цифрового сигнала различные частотные компоненты поступают на приемник с разной задержкой относительно друг друга, поэтому принимаемый сигнал искажается из-за различной задержки его компонент. Когда задержки становятся достаточно большими и частотные компоненты разных отдельных битов начинают воздействовать друг на друга, имеют место межсимвольные помехи. По мере увеличения скорости передачи искажения, вызываемые задержкой, могут привести к увеличению некорректности интерпретации принимаемого сигнала.

Помехи

Важным параметром, связанным с передающей средой, является отношение сигнал/шум (S/N). Уровни сигнала и шума часто отличаются по величине на много порядков, поэтому принято выражать отношение сигнал/шум в децибелах:

$$\text{Отношение сигнал/шум} = 10 \lg (S/N) \text{ дБ,}$$

где: S – мощность сигнала, Вт; N – мощность шумов, Вт.

Пример.

Отношение сигнал/шум, равное 1 000 000, соответствует 60 дБ.

Чтобы вычислить максимальную теоретическую скорость передачи для данной среды, необходимо использовать закон Шеннона – Хартли (Shannon-Hartley), который утверждает:

$$\text{Максимальная скорость передачи данных } v_{\max} = B \log_2(1 + S/N) \text{ бит/с,}$$

где B – ширина полосы в Гц.

Пример.

Для отношения сигнал/шум, равного 100, и ширины полосы 3000 Гц может быть получена максимальная теоретическая скорость передачи данных:

$$\text{Максимальная скорость передачи данных } v_{\max} = 3000 \log_2(1 + 100) = 19963 \text{ бит/с}$$

4.3. Способы обнаружения и исправления ошибок

Для обработки ошибок, возникающих в сообщениях, существуют два подхода:

- исправление ошибок с использованием обратной связи;
- прямое исправление ошибок.

Исправление ошибок с использованием обратной связи

При исправлении ошибок с помощью обратной связи приемник может только обнаружить наличие ошибки в сообщении, посланном передатчиком. Обнаруженная ошибка не может быть исправлена, но ее присутствие выявлено. Это позволяет приемнику затребовать повторную передачу сообщения, что определяется соответствующим протоколом. Большинство промышленных систем использует именно этот подход.

Тремя наиболее важными способами обнаружения ошибок с использованием обратной связи являются:

- избыточный код символа: контроль по четности;
- избыточный код блока: продольный контроль по четности, арифметическая контрольная сумма;
- контроль с помощью циклического избыточного кода (CRC).

Контроль символа с использованием избыточного кода (четность)

Прежде чем передать символ, передатчик использует некий согласованный механизм проверки на нечетность или четность и вычисляет необходимый бит четности, который добавляется к символу.

Пример.

Если была выбрана проверка на нечетность, то код ASCII 0100001 становится 10100001, чтобы обеспечить в этом байте нечетное количество единиц.

При использовании проверки на четность указанный выше символ будет представлен в виде 00100001. На принимающей стороне вычисляется четность 7 битов данных и сравнивается с полученным битом четности. Если четности (нечетности) не соответствуют, значит, при передаче произошла ошибка.

Однако: Если изменились два бита символа 0100001, что дало символ 00111001, то схема проверки на четность не сообщит о наличии ошибки хотя, фактически произошла значительная ошибка.

Проверка на четность обеспечивает лишь минимальное средство обнаружения ошибки, вылавливая только около 60% ошибок, происходящих в быстродействующих системах.

Популярность проверки на четность была обусловлена следующим:

- дешевизна и простота электронной реализации;
- быстрота проверки точности данных;
- простота вычислений, которые инженер при отладке системы может производить в уме.

Хотя проверка на четность имеет значительные недостатки, она все еще используется в некритичных приложениях, таких как передача данных на принтер или связь между соседними компонентами в системе, когда уровень электрических помех невелик. Проверка на четность подходит для тех случаев, когда длительность импульсных

помех не превышает время представления одного бита, то есть можно ожидать искажения только одного бита. Это означает, что подобная схема обнаружения ошибок эффективна для медленных систем. В настоящее время при организации связи между компьютерами и системами управления обнаружение ошибок четности используется достаточно редко. Чаще, особенно для критичных приложений, используются более сложные алгоритмы, такие как избыточность блока, продольный контроль за ошибками и контроль с помощью циклического избыточного кода (CRC).

Контроль блока с использованием избыточных кодов

Контроль по четности для отдельных символов можно дополнить контролем по четности блока символов. Используются два способа контроля блока, характеристика которых приводится ниже.

Продольный контроль с помощью избыточных кодов (поперечная и постолбцовая четность)

В поперечном контроле по избыточности (VRC), основном способе контроля блока, символы сообщения рассматриваются в виде двумерного массива. Бит четности добавляется к каждому символу. Спустя заданное количество символов, передается символ контроля блока (BCC), представляющий контроль по четности для столбцов. Хотя VRC, который также называют постолбцовой четностью, лучше контроля за ошибками по четности, но этот контроль все равно не позволяет определить четное количество ошибок в строках. Он приемлем для сообщений длительностью до 15 символов.

Передано	Получено		
Сообщение	Старший разряд Младший разряд PB	Двухбитовая ошибка в одной строке	Двухбитовая ошибка в двух строках
A	1000001 0	1000001 0	1000001 0
B	1000010 0	1000100 0	1000100 0
Z	1000010 1	1000100 1	1000100 1
Контрольная сумма	1111001 1	1111001 1	1111001 1
Контрольная сумма блока, вычисленная приемником		1111111 1 (ошибка обнаружена)	1111001 1 (ошибка не обнаружена)
<p>Примечания. Принимается проверка на четность для столбцов (BCC). Игнорирование четности символа (строки). Жирным шрифтом выделены ошибки в принятых символах. PB означает бит проверки на четность.</p>			

Таблица 4.1. Поперечный/продольный контроль с использованием избыточных кодов четности

Арифметическая контрольная сумма

Расширением способа VLRC является проверка арифметической контрольной суммы, которая является простой суммой всех символов блока. Арифметическая контрольная сумма обеспечивает лучшие возможности обнаружения ошибок, чем VLRC. Арифметическая контрольная сумма может быть одним байтом (для сообщений до 25 символов) или двумя байтами (для сообщений длиной до 50 символов).

Передано		Получено			
Сообщение	Старший	Младший	Двухбитовая ошибка в одной строке	Двухбитовая ошибка в двух строках	Однобитовая ошибка в двух столбцах
	разряд	разряд			
A	1000001		1000001	1000001	1000000
B	1000010		1000 100	1000 100	10000 11
Z	1111010		1111010	1111 100	1111010
Контрольная сумма	111101		1111101	1111101	1111101
Контрольная сумма блока, вычисленная приемником			1111111 (ошибка обнаружена)	0000001 (ошибка обнаружена)	1111101 (ошибка не обнаружена)
Примечания. Принимается проверка на четность для столбцов (BCC). Игнорирование четности символа (строки). Жирным шрифтом выделены ошибки в принятых символах. Бит четности для удобства не показан.					

Таблица 4.2. Контроль блока с использованием избыточных кодов: арифметическая контрольная сумма

Контроль с помощью циклического избыточного кода (CRC)

Для длинных сообщений необходимо использовать альтернативный подход. Например, кадр Ethernet содержит в сообщении до 1500 байтов или 12000 битов. Распространенным и очень эффективным механизмом проверки сообщения на наличие ошибки является контроль с помощью циклического избыточного кода. CRC основан на использовании понятий из области математики, называемой теорией алгебры, и является довольно простым в реализации. Используя 16-битовое контрольное значение, CRC обещает определение ошибок, предсказываемое таблицей 4.3¹.

Ошибки в одном бите	100%
Ошибки в двух битах	100%
Нечетное количество ошибок	100%
Пакет ошибок короче 16 бит	100%
Пакет ошибок точно равен 16 битам	99,9969%
Все другие пакетные ошибки	99,9984%

Таблица 4.3. Обнаружение ошибок с использованием CRC

Механизм контроля с помощью циклического избыточного кода очевидно, очень эффективен в обнаружении ошибок, в особенности «пакетных ошибок», когда внешние помехи временно подавляют сигнал и портят целую строку битов. CRC контроль эффективен для сообщений любой длины.

Полиномиальная запись

Прежде чем продолжить обсуждение механизма контроля с помощью циклического избыточного кода, необходимо несколько слов сказать о выражении CRC в полиномиальном виде. Двоичным делителем, который является ключом к успешной реализации CRC, является: 10001000000100001.

Это можно записать как:

$$1 \cdot X^{16} + 0 \cdot X^{15} + 0 \cdot X^{14} + 0 \cdot X^{13} + 1 \cdot X^{12} + \dots + 1 \cdot X^5 + \dots + 1 \cdot X^0,$$

что при упрощении дает:

$$X^{16} + X^{12} + X^5 + 1.$$

Полиномиальное выражение предпочтительно для описания различных механизмов контроля ошибок с помощью циклического избыточного кода из-за удобства такой записи.

Используются два распространенных 16-разрядных CRC полинома:

- CRC-CCITT
- CRC-16

CRC-CCITT

« ... Информационные биты после логического умножения соответствуют коэффициентам полинома сообщения, имеющего члены от X_{n-1} ! (п - суммарное количество битов блока или последовательности) до X^{16} . Этот полином делится по модулю 2 на порождающий полином $X^5 + X^4 + X^3 + 1$. Контрольные биты соответствуют коэффициентам членов от X^5 до X^0 полинома, получившегося при завершении деления».¹

CRC-CCITT использовался IBM в первом контроллере привода дискеты (модель 3770) и быстро стал стандартом для микрокомпьютерных дисковых контроллеров. Этот полином используется также в распространенных протоколах IBM HDLC/SDLC (высокоуровневый протокол управления каналом/синхронное управление передачей данных) и в XMODEM – CRC протоколе передачи данных.

CRC-16

CRC-16 является другим широко распространенным полиномом, особенно в промышленных протоколах:

$$X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$$

CRC-16 не так эффективен в обнаружении ошибок, как CRC-CCITT, но его популярность обусловлена его длинной историей в синхронном двоичном коммуникационном протоколе IBM (BISYNC).

Исходные		Получено	
Сообщение	Старший разряд Младший разряд РВ	Двухбитовая ошибка в одной строке	Двухбитовая ошибка в двух строках
	1000001 0	1000001 0	1000001 0
	1000010 0	1000 100 0	1000 100 0
	1000010 1	1000100 1	1000 100 1
Контрольная сумма	1111001 1	1111001 1	1111001 1
Контрольная сумма блока, вычисленная приемником		1111111 1 (ошибка обнаружена)	1111001 1 (ошибка не обнаружена)
<p>Примечания. Принимается проверка на четность для столбцов (BCC). Игнорирование четности символа (строки). Жирным шрифтом выделены ошибки в принятых символах. РВ означает бит проверки на четность.</p>			

Таблица 4.4. Таблица истинности для операции Исключающее ИЛИ (XOR) или сложение и вычитание по модулю

Метод обнаружения ошибок CRC-16 использует арифметику по модулю 2, где сложение и вычитание дают один и тот же результат. Выход эквивалентен логической операции Исключающее ИЛИ (XOR), как представлено в табл. 4.4.

Используя это алгоритм в качестве основы, можно получить следующее уравнение:

$$(\text{Сообщение} \times 2^{16}) / \text{Делитель} = \text{Частное} + \text{Остаток} \quad (4.1)$$

где:

Сообщение - поток битов, например, последовательность ASCII кодов H E L P с проверкой на четность;

2^{16} - при умножении эффективно добавляет 16 нулей с правой стороны сообщения;

Делитель – число, на которое производится деление получившегося числа

$(\text{Сообщение} \times 2^{16})$ и является порождающим полиномом;

Частное – результат деления;

Остаток – значение, оставшееся в результате деления, которое и является контрольной суммой CRC. Из уравнения 4.1 получаем:

$$[(\text{Сообщение} \times 2^{16}) + \text{Остаток}] / \text{Делитель} = \text{Частное} \quad (4.2)$$

Это алгоритм, выполняемый в передатчике с использованием уравнения 4.1:

- взять сообщение, которое состоит из потока битов
[01001000][11000101][11001100][010100];
- **добавить 16 нулей с правой стороны сообщения**
[01001000] [11000101] [11001100] [010100] [00000000] [00000000];
- разделить по модулю 2 на следующее число, делитель (или порождающий полином), например, 1100000000000101 (CRC-16), а результирующий остаток будет называться контрольной суммой CRC;
- добавить остаток в виде 16-разрядного числа к потоку исходного сообщения (т.е. заменить 16 нулей 16-разрядным остатком) и передать это на приемник.

Приемник, используя уравнение 4.1, производит следующие операции:

- берет полное сообщение плюс биты контрольной суммы CRC и делит на то же самое число, которое использовал передатчик;
- если ошибок нет, то результирующий остаток будет состоять из нулей (согласно уравнению 4.2);
- если ошибки имеются, то остаток не будет равен нулю.

CRC механизм не является идеальным для обнаружения ошибок. Интуитивно понятно, что контрольная сумма CRC (состоящая из 16 разрядов) может принимать только одно из 2^{16} (65536) отдельных значений. Контрольная сумма CRC, будучи «отпечатком пальца» с сообщения, имеет только 1 из 65536 видов. Логически понятно, что возможно иметь несколько разных наборов битов в сообщении, которое больше

16 битов и которое может произвести тот же самый «отпечаток». Однако вероятность того, что оригинальные данные и испорченные данные дадут один и тот же «отпечаток» пренебрежимо мала.

Рассмотренные схемы обнаружения ошибок позволяют приемнику только обнаружить, что данные были испорчены. Они не предоставляют средства для исправления ошибочного символа или кадра. Эта коррекция обычно производится приемником, информирующим передатчик, что была обнаружена ошибка, и запросом другой копии переданного сообщения. Этот комбинированный цикл обнаружение ошибки/коррекция называется контролем за ошибками.

Прямое исправление ошибок

Прямое исправление ошибок заключается в том, что приемник не только может обнаружить присутствие ошибок в сообщении, но также реконструировать сообщение в такую форму, которая считается корректной. Оно может использоваться в тех случаях, когда возможны большие задержки при запросе вторичной передачи сообщения, когда приемник обнаружит присутствие ошибки. Прямое исправление ошибок обычно используется в таких ситуациях, как, например, космические зонды NASA, работающие в космосе на очень далеких расстояниях, когда время распространения сообщения очень велико, что исключает повторную передачу сообщения.

Коды Хэмминга и хемминговское расстояние

В конце 1940-х годов Ричард Хэмминг (Richard Hamming) и Марсел Голей (Marcel Golay) проводили самые первые работы в области **обнаружения** ошибок и **кодов**, исправляющих ошибки. Они показали, как создавать коды, которые гарантированно могут исправлять некоторое количество ошибок, путем изящных, экономичных и иногда оптимальных средств.

Кодирование данных просто подразумевает добавление избыточных битов, чтобы создать кодовое слово. Дополнительная информация, содержащаяся в кодовом слове, позволяет приемнику воссоздать оригинальные данные в том случае, если при передаче данных один или несколько битов были испорчены.

Эффективным методом прямого исправления ошибок является использование кодов Хэмминга. Эти коды обнаруживают и исправляют несколько битов в закодированных данных. Ключевым понятием в этих кодах является понятие **хемминговское расстояние**. Для двоичного кода это просто количество битов, в которых различаются два кодовых слова. Например, хемминговское расстояние между 0000 и 1001 является 2.

Хороший выбор кода означает, что кодовые слова будут достаточно разнесены (в смысле хемминговского расстояния), чтобы позволить декодировать исходный сигнал даже в том случае, если часть закодированного сообщения будет принята некорректно.

Приведенный ниже пример иллюстрирует применение кода Хэмминга.

Код с хемминговским расстоянием 1 может представлять восемь цифро-буквенных символов в двоичном виде:

000	A
001	B
010	C
011	D
100	E
101	F
110	G
111	H

Если в приведенном выше коде будет изменение в одном бите, вызванное, например, электрическими помехами, то приемник прочтет другой символ, и нет никакого способа определения наличия ошибки в символе. Таким образом, если хемминговское расстояние равно 1, то код не имеет возможности обнаружить ошибку.

Если тот же самый трехбитовый код используется для представления четырех символов, а оставшиеся комбинации использоваться не будут и, следовательно, будут избыточными, то можно придумать следующую схему кодирования:

000	A
011	B
110	C
101	D

Этот код имеет хемминговское расстояние 2, поскольку ошибочными должны быть по крайней мере два бита, прежде чем приемник считает ошибочный символ.

Можно показать, что хемминговское расстояние 3 требует трех дополнительных битов, если имеются четыре информационных бита. Это называется *кодом Хэмминга* (7, 4). Для 4-битового информационного кода 7-битовое кодовое слово создается следующим образом:

$$C_1 C_2 I_3 C_4 I_5 I_6 I_7,$$

где:

$I_3 I_5 I_6 I_7$ – информация, или полезные биты;

$C_1 C_2 C_4$ – избыточные биты, вычисляемые следующим образом:

$$-C_1 = I_3 \text{ XOR } I_5 \text{ XOR } I_7$$

$$-C_2 = I_3 \text{ XOR } I_6 \text{ XOR } I_7$$

$$-C_4 = I_5 \text{ XOR } I_6 \text{ XOR } I_7$$

Например:

Если информационные биты – 1101

($I_3 = 1$; $I_5 = 1$; $I_6 = 0$; $I_7 = 1$), то кодовым словом Хэмминга (7, 4) является:

$$-C_1 = 1 \text{ XOR } 1 \text{ XOR } 1 = 1$$

$$-C_2 = 1 \text{ XOR } 0 \text{ XOR } 1 = 0$$

$$-C_4 = 1 \text{ XOR } 0 \text{ XOR } 1 = 0$$

Кодовое слово имеет вид 1010101.

Если в одном бите будет ошибка, и было принято кодовое слово 1010111, то избыточные биты будут вычислены следующим образом:

$$- C_1 = 1 \text{ XOR } 1 \text{ XOR } 1 = 1$$

(соответствует 1 из принятого кодового слова)

$$- C_2 = 1 \text{ XOR } 1 \text{ XOR } 1 = 1$$

(не соответствует 0 из принятого кодового слова)

$$- C_4 = 1 \text{ XOR } 1 \text{ XOR } 1 = 1$$

(не соответствует 0 из принятого кодового слова)

C_2 и C_4 указывают на один неправильный бит, который может быть либо 1_6 либо 1_7 (поскольку это подходит к обоим). Однако C_1 соответствует проверочному подсчету, следовательно, неправильным должен быть бит 1_6 .

Таким образом, кодовым словом будет 1010101.

4.4. Другие механизмы обнаружения ошибок

Очевидно, имеются и другие механизмы обнаружения ошибок, появляющихся между двумя устройствами обмена данных, которые обеспечивают эффективную и точную передачу сообщения. Для успешной передачи данных от одной точки к другой недостаточно обнаружения и контроля за ошибками. Требуется такая общая структура протокола, которая обеспечит корректную передачу информации и адекватную обработку возникающих ошибок. Тема протоколов будет обсуждаться в главе 8.

Лекция 5

Основы построения кабельных сетей

Для того чтобы кабели связи использовать максимально эффективно, тип и размер кабелей должны выбираться в зависимости от конкретного применения.

Цели

Завершив изучение, вы сможете:

- перечислить основные типы кабелей;
- описать общие свойства кабелей на основе медных проводов;
- описать свойства и принципы использования двухпроводных открытых линий;
- описать свойства и принципы использования витых пар;
- описать свойства и принципы использования коаксиальных кабелей;
- описать свойства, использование и принцип действия, обращение, а также ограничения, присущие оптоволоконным кабелям.

5.1. Обзор

В системах передачи данных больше всего распространены следующие кабели:

- витая пара;
- коаксиальный кабель;
- оптоволоконно.

И они отличаются:

- механическими и электрическими характеристиками;
- удобством установки;
- стоимостью.

При определении типа и характеристик используемой кабельной системы необходимо также рассмотреть ее восприимчивость к помехам и скорости передачи данных отдельных компонентов системы. Специфическую информацию о помехах различных компонентов системы обычно можно получить у производителей или поставщиков.

5.2. Кабели на основе медных проводов

Двухпроводные открытые линии, витые пары и коаксиальные кабели - все производятся на основе медных проводников и штампованной пластмассовой изоляции. Такая конструкция сочетает в себе хорошие электрические характеристики с механической гибкостью, удобством установки и дешевизной. Технология оптоволоконных кабелей совсем другая и будет рассмотрена в этой главе позже. Алюминиевые проводники для коммуникационных кабелей используются редко, поскольку они имеют большее сопротивление и ряд других физических ограничений, например недостаточную гибкость.

Сопротивление медного кабеля зависит от поперечного сечения проводника, измеряемого обычно в квадратных миллиметрах, и длины кабеля. Чем толще проводник, тем меньше его сопротивление, тем меньше на нем падение напряжения и тем больший ток он может пропускать без особого нагрева.

Размер провода отражает требования к передаваемому току, а номинальное напряжение, на которое рассчитан провод, должно равняться или превышать ожидаемое реальное напряжение. Физические напряжения, прикладываемые к кабелю во время установки или работы, также должны учитываться, чтобы не превысить напряжение, на которое рассчитан кабель. Увеличение прочности кабеля возможно путем использования многожильного провода, находящегося в одной оболочке. Падение напряжения, выражаемое формулой $U_{\text{пад}} = I R$, обусловлено следующими факторами:

- током в линии, который зависит от входного сопротивления приемника и выходного сопротивления передатчика;
- сопротивлением проводника, которое зависит от его сечения и длины.

Для обеспечения постоянного напряжения и низкочастотных сигналов основной заботой должно быть только сопротивление проводника. Падение напряжения на кабеле влияет на величину напряжения сигнала на принимающей стороне. В присутствии помех падение напряжения влияет на отношение сигнал/шум и на качество принимаемого сигнала.

По мере увеличения частоты (или скорости передачи данных) становятся важными и другие характеристики кабеля, такие как емкость и последовательная индуктивность. На емкость и индуктивность влияют следующие факторы:

- конструкция кабеля;
- количество и толщина используемых экранов;

- количество проводников в кабеле;
- используемый изоляционный материал.

Сопротивление, индуктивность и емкость распределены вдоль длины кабеля и на высоких частотах их совокупность представляет фильтр низких частот. Эквивалентная электрическая схема кабеля представлена на рис. 5.1, на котором все эти параметры показаны распределенными вдоль всей длины кабеля.

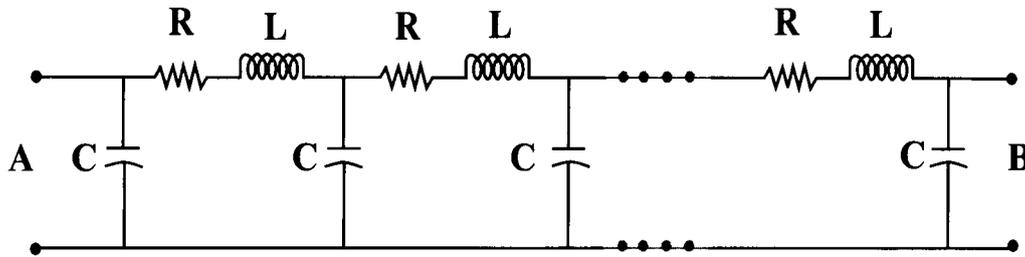


Рис. 5.1. Основные параметры кабеля для передачи данных

Чтобы оптимизировать процесс передачи данных, тип и размер кабеля должны выбираться в соответствии с конкретным применением. Следующая информация применима к большинству приложений:

Низкие скорости передачи данных:

Низкочастотные кабели (например, витая пара).

Высокие скорости передачи данных:

Высокочастотные кабели (например, коаксиальные кабели, оптоволокно или высококачественная витая пара).

Помехозащищенные кабели:

Экранированные медные или оптоволоконные кабели.

Примечание. В настоящее время появились некоторые новые типы витых пар, которые имеют очень хорошие высокочастотные показатели.

Еще один важный показатель, который необходимо учесть, это тип внешней изоляции и защиты. Кабель, например, может иметь следующие типы изоляции:

- тонкая алюминиевая лента, наматываемая вокруг кабеля под пластиковой изоляцией. Она обеспечивает барьер для проникающей влаги и помех (влага будет проникать сквозь ластик очень долго);
- стальная защитная оболочка для таких мест, где требуется защита от избыточного тепла, огня, механического повреждения и помех;
- заполнение нефтью пространства между парами проводов, обеспечивающее хорошую защиту от сырости;
- внешнее нейлоновое покрытие, обеспечивающее скользкую оболочку, облегчающую установку кабеля в каналах связи, а также защиту от грызунов;

- кабели для ниш подвесных потолков, изготавливаемые из нетоксичных изоляционных материалов и предназначенные для установки в вентиляруемых зонах, чтобы при возгорании не выделялись токсичные пары.

5.3. Витые пары

Витая пара является наиболее экономичным решением для канала связи и обеспечивает скорости передачи до 180 Мбит/с на отрезках до 100 метров. Более длинные расстояния возможны только при меньших скоростях. Витая пара может быть как экранированной (STP), так и неэкранированной (UTP).

Для сети Ethernet со скоростью 100 Мбит/с широко используется витая пара (категории 5), длина которой может быть более 100 м. Сеть Ethernet сейчас часто выполняется с помощью медных кабелей.

Витая пара изготавливается из двух одинаковых изолированных проводников, которые скручены вместе по всей длине и имеют определенное количество витков на метр (обычно сорок). Провода скручиваются для того, чтобы уменьшить влияние электромагнитной и электростатической индукции. Вокруг проводов часто имеется экран (а иногда и два), который помогает уменьшить электростатические (емкостные) наводки. В качестве общей механической защиты поверх всего кабеля имеется оболочка из поливинилхлорида. Сечение проводника сказывается на потери напряжения, поэтому на длинных расстояниях рекомендуется использовать более толстый проводник. Емкость витой пары довольно низкая – от 40 до 160 пФ/м, что позволяет получить довольно большую ширину полосы и скорость нарастания напряжения.

Для полнодуплексных цифровых систем, использующих симметричную передачу, в одном кабеле должны быть две экранированные витые пары, причем должны быть экранированы как пары по отдельности, так и общий экран. Весь кабель должен иметь защитную оболочку из поливинилхлорида.

В 1970 – 80-х годах наблюдался значительный рост применения витой пары для передачи данных. Это увеличение побудило EIA разработать набор правил и стандартов для выбора и установки UTP кабелей в коммуникационных системах, работающих со скоростями до 100 Мбит/с.

Стандарт EIA-568 подразделяет UTP кабели на пять прикладных категорий, которые перечислены ниже:

- UTP категории 1 – медленнодействующие каналы и аналоговый голосовой сигнал
- UTP категории 2 – ISDN каналы
- UTP категории 2 – быстродействующие каналы и локальные сети (10 Мбит/с)
- UTP категории 2 - длинные локальные сети
- UTP категории 2 - быстродействующие локальные сети (100 Мбит/с)

Ввод наземной линии связи в здание или укрывающее сооружение для оборудования производится с помощью главного (MDF) или промежуточного распределительного щита (IDF).

При подведении каналов связи к модемам, телеметрическим устройствам или компьютерному оборудованию часто используют многоконтактные разъемы (например,

9-, 15-, 25-, 37- и 50-контактные). Эти разъемы обычно классифицируются следующим образом:

- по типу, марке или параметрам разъема;
- по количеству используемых контактов или соединений;
- по типу контактов (штырьки или гнезда);
- по способу установки (розетка или штекер).

Например, обычный разъем DB-25 SM определяет разъем D-типа, 25-контактная розетка со штырьками.

Имеются четыре разных типа разъемов, используемых такими производителями компьютеров, как IBM, Hewlett Packard, Wang, Apple и т.п., и различными производителями принтеров, радиооборудования, модемов, измерительных приборов и исполнительных механизмов. Ниже приводится перечень наиболее распространенных разъемов:

- DB-9, DB-15, DB-25, DB-37, DB-50 ;
- 24-контактный Amphenol;
- 36-контактный Centronics;
- 50-контактный Telco;
- 50-контактный Berg;
- 4-проводной RJ-11;
- 6-проводной RJ-12;
- **8-проводной RJ-45;**
- DEC MMJ;
- M/34(ITU V.35);
- M/50.

Имеется также большой ряд разъемов DIN-типа (Германия, Швейцария), IEC-типа (Франция, Европа), BS-типа (Великобритания), а также множество других типов разъемов для аудио, видео и компьютеров. Для всех разъемов главным требованием является совместимость с используемым оборудованием. Необходимые типы разъемов обычно рекомендуются производителями оборудования.

Разъемы DB-9, DB-25 и DB-37, используемые с такими стандартными интерфейсами EIA, как RS-232, RS-422 и RS-485, получили очень широкое распространение в системах передачи данных. Интерфейсные стандарты для многоточечных последовательных каналов типа RS-422 и RS-485 не определяют конкретных типов разъемов. Производители, продающие оборудование, соответствующее этим стандартам, могут использовать любой тип разъема, но наибольшее распространение получили DB-9, DB-25 (назначение контактов в соответствии с EIA-530), DB-37 (назначение контактов в соответствии с EIA-449), а иногда и винтовые контакты. Другим разъемом, наиболее часто используемым для скоростных каналов связи, является 34-контактный разъем ITU V.35.

5.4. Коаксиальные кабели

Коаксиальные кабели используются почти без исключений для всех антенных подключений от высокочастотного диапазона (HF), до диапазона СВЧ (SHF) порядка 2 ГГц, где уже начинается использование волноводов.

Импеданс кабеля зависит от отношения диаметров окружающего экрана и внутреннего проводника. Хотя волновое сопротивление телевизионного кабеля составляет 75 Ом, большинство коммуникационных кабелей имеет волновое сопротивление 50 Ом, поэтому при выборе кабеля нужно проявить аккуратность.

Размер коаксиального кабеля определяется двумя факторами – передаваемой мощностью и используемой частотой.

Если передатчик имеет выходную мощность порядка 500 Вт, то максимальное напряжение на 50-омном кабеле может быть 223 В, а ток - 3,3 А. Если диэлектрическая изоляция окажется недостаточной, то кабель будет пробит, а если внутренний проводник будет мал, то в кабеле будут слишком большие резистивные потери.

Высокочастотная энергия имеет тенденцию распространяться по поверхности проводника, а не по его центру, поэтому внутренний проводник небольшого диаметра очевидно, будет иметь небольшую площадь поверхности и, следовательно, большое сопротивление. Отсюда следует, что по мере увеличения частоты должен увеличиваться и диаметр внутреннего проводника, но волновое сопротивление кабеля частично определяется емкостью между внутренним проводником и экраном. Следовательно, чтобы сохранить необходимое волновое сопротивление, важно поддерживать определенное соотношение диаметра внутреннего проводника и расстояния между проводниками, т.е. диэлектрика, и именно они являются критическими элементами конструкции.

Для нетолстых коаксиальных кабелей с диаметром до 10 мм в качестве внешнего проводника используют медный плетеный экран, поскольку он эффективен и недорог в производстве. Более крупные коаксиальные кабели имеют диаметр до 200 мм. Поскольку кабели при прокладке приходится изгибать, а любой изгиб может сильно повлиять на свойства кабеля, были разработаны новые типы экранирующих проводников.

Первым внешним проводником была алюминиевая трубка, но с ней оказалось очень неудобно работать, в результате чего она была заменена медной трубкой в виде гофра. Этот гофр обеспечивал постоянство диаметра в любой точке длины кабеля. Таким образом, среднее расстояние между внутренним проводником и внешним было постоянным, поэтому волновое сопротивление оставалось постоянным, даже если кабель слегка изгибался под небольшим радиусом, причем без каких-либо механических повреждений.

Производители кабелей опубликовывают точные данные, касающиеся характеристик выпускаемых ими кабелей. Может показаться, что выбор кабеля практически определяется выбором самого дешевого кабеля, который сможет передать необходимую мощность. Однако в большинстве случаев при выборе канала связи это условие является наименее важным, а главным фактором будет ослабление кабеля.

5.5. Оптоволоконный кабель

Оптоволоконные кабели обычно используются для передачи цифровых сигналов. Возможности оптоволоконных кабелей удовлетворяют любым возникающим требованиям при организации передачи данных, обеспечивая скорости передачи в гигабитах в секунду (Гбит/с). В настоящее время уже существует ряд систем, работающих со скоростями около 10 Гбит/с.

Оптоволоконные кабели обычно дешевле коаксиальных кабелей, особенно если сравнивать информационную емкость на единицу стоимости. Однако передающее и приемное оборудование, а также сложность способов концевое согласования и соединения этих кабелей делает оптоволоконные кабели самой дорогой средой для передачи информации. По сравнению с 1980-ми годами стоимость кабелей уменьшилась вдвое и ее можно не учитывать при экономических расчетах. Необходимо также отметить, что за последние 10 лет оптоволоконные технологии стали более доступными, и эта тенденция сохраняется.

Оптоволоконные кабели обладают следующими достоинствами:

- огромная полоса пропускания (возможность передавать большое количество информации);
- небольшое ослабление сигнала (лучшие характеристики, относящиеся к скорости и расстоянию);
- безопасность сигнала;
- небольшая частота появления ошибок;
- невосприимчивость к помехам (электромагнитным и высокочастотным);
- конструктивные удобства (легкий вес, небольшие размеры);
- полная гальваническая развязка между концами (отсутствие **проводящих** путей);
- надежное использование в опасных местах;
- отсутствие перекрестных помех.

Принцип действия

Оптическое волокно образует для света волновод, в котором свет распространяется по сердцевине волокна.

Связь по оптоволоконным кабелям работает на том принципе, что свет распространяется через разную среду с разной скоростью (точно так же, как и радиоволны). Когда свет переходит из одной среды с одной плотностью в другую среду с другой плотностью, то он изменяет направление. Это явление известно как рефракция.

Эффективность передачи света средой можно выразить с помощью отношения скоростей (скорость света в вакууме составляет $3 \cdot 10^8$ м/с, т.е. это скорость света в свободном пространстве). Это отношение называется коэффициентом преломления и вычисляется следующим образом:

В типичной оптоволоконной среде свет распространяется приблизительно со скоростью $2 \cdot 10^8$ м/с, отсюда коэффициент преломления:

$$\text{Коэффициент преломления } n = \frac{\text{скорость света в вакууме}}{\text{скорость света в среде}} .$$

$$n_1 = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10^8}, n_1 = 1,5$$

Говорят, что оптическая среда имеет коэффициент преломления, равный 1,5. Волоконная оптика подчиняется закону Снелла (Snell), который утверждает, что отношение синуса угла падения (Q_i) к синусу угла преломления (Q_r) равно отношению скоростей света в двух соответствующих средах (C_1/C_2). Это отношение равно константе (K), которая равна отношению коэффициентов преломления среды 2 к среде 1 (n_2/n_1):

$$\frac{\sin Q_i}{\sin Q_r} = \frac{C_1}{C_2} = K = \frac{n_2}{n_1}.$$

Оптоволоконные кабели производятся с сердцевиной из чистого оптического стекла, окруженной стеклянной оболочкой. В сердцевину и оболочку вносятся примеси таким образом, чтобы их коэффициенты преломления немного отличались. На рис. 5.2 и 5.3 показана конструкция оптического волокна. Такая конструкция позволяет сердцевине передавать световые импульсы от передатчика к приемнику.

Поскольку коэффициенты преломления сердцевины и оболочки различаются, то свет, входящий в сердцевину под необходимым углом, будет распространяться по всей длине волокна без потерь в оболочке. Свет должен войти в волокно в пределах угла восприятия. Если свет вводить под углом, **большим угла восприятия, он не будет** отражаться от оболочки и быстро затухнет.

Оптическое волокно действует как проводник (волновод) для импульсов света, генерируемых источником. В качестве источника света обычно используется лазерный диод или светодиод, излучающие длины волн 0,85, 1,3 или 1,55 микрон.

Сверху оптическое волокно покрыто защитной оболочкой, обеспечивающей защиту от окружающей среды и удобную идентификацию.

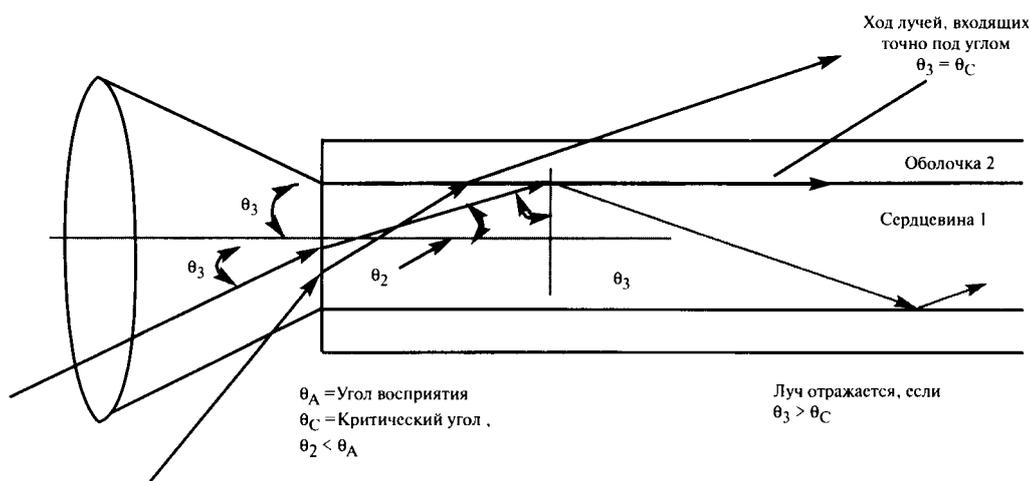


Рис. 5.2. Принцип действия оптического волокна

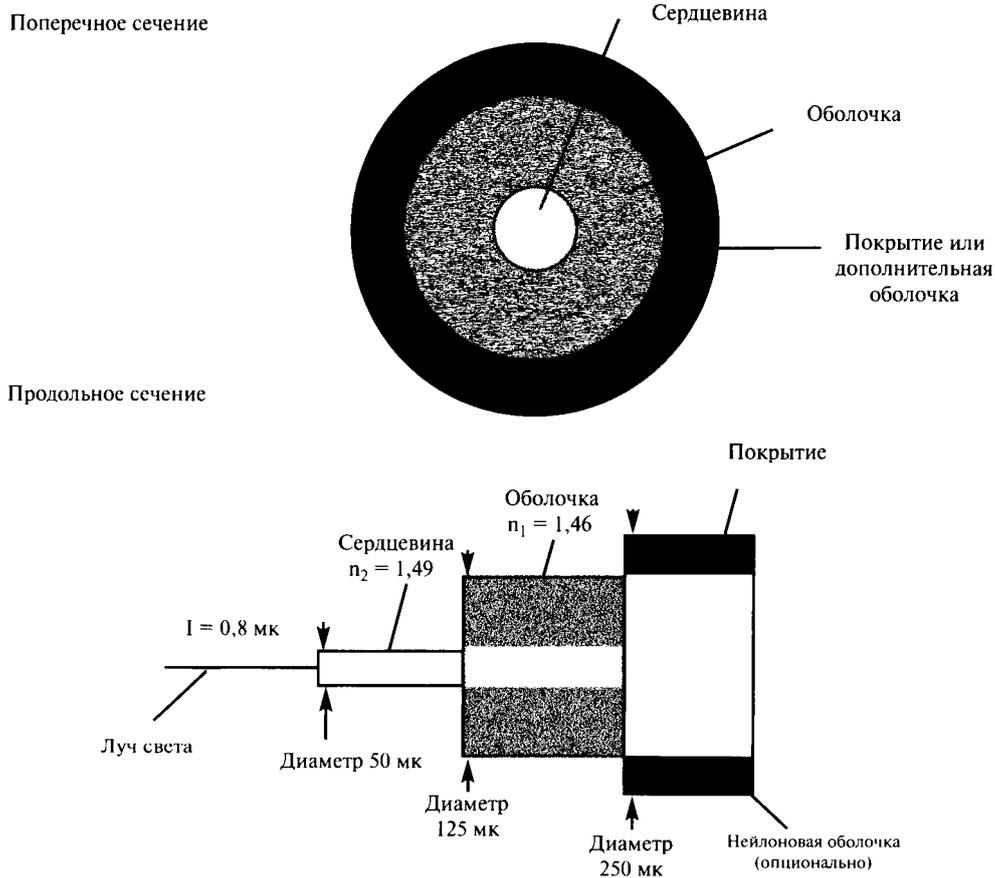


Рис. 5.3. Типовые размеры для оптического волокна (многомодовое волокно/ступенчатый профиль показате-

Режимы распространения света

Типы волокна обычно идентифицируются по количеству путей, называемым *модами*, по которым свет распространяется внутри сердцевины. Имеются два основных режима распространения света через оптоволокно, которые приводят к двум типам волокна – многомодовое и одномодовое (единственная мода).

Многомодовые волокна легче и дешевле производить, чем одномодовые. Обычно многомодовые сердцевины в 50 раз толще, чем длина волны распространяющегося по ним света. С таким типом волокна обычно используется светодиодный излучатель света, поскольку его можно согласовывать с меньшей точностью, чем лазерный диод.

С помощью широкой апертуры и светодиодного передатчика многомодовое волокно будет передавать свет к приемнику по нескольким путям (модам), как показано на рис. 5.4.

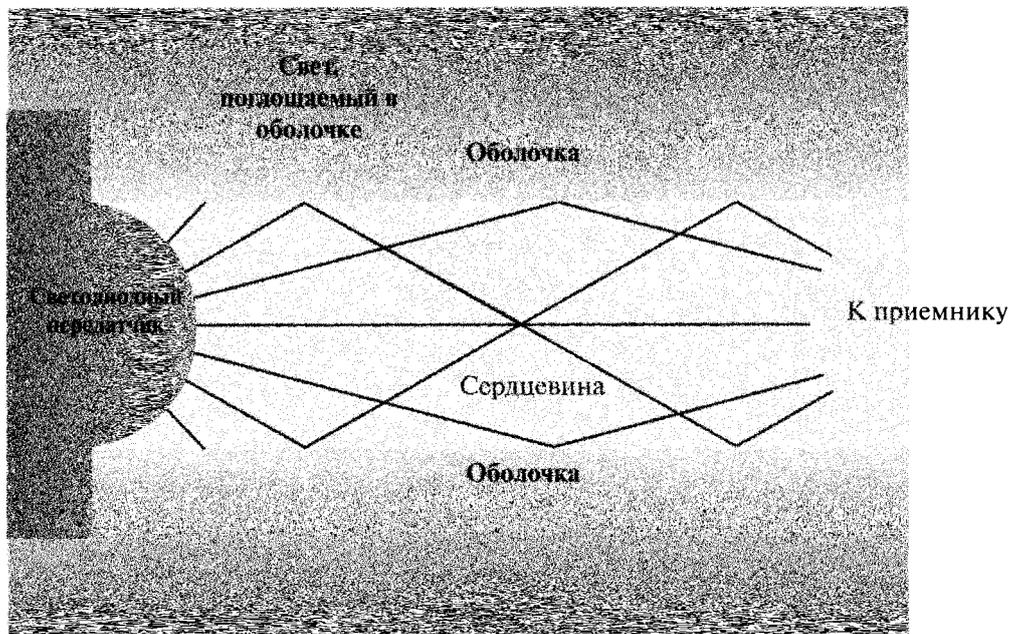


Рис. 5.4. Светодиодный источник света, сопряженный с многомодовым волокном (ступенчатый профиль показателя преломления)

Когда свет отражается от боковой поверхности сердцевинки волокна, то он распространяется до другого конца по нескольким путям. Свет по этим путям приходит с разной фазой и разной задержкой, что приводит к уширению первоначального импульса. В результате этого исходные импульсы с крутыми фронтами, посылаемые с одного конца, к моменту прихода на другой конец становятся искаженными.

Проблема ухудшается с увеличением скорости передачи. Многомодовые волокна, следовательно, имеют ограниченную скорость передачи (полосу), поскольку приемник может различить импульсные сигналы только при низких скоростях передачи. Этот эффект называется *дисперсией мод* и приводит к межсимвольным помехам. Многомодовые волокна вполне подходят для невысоких скоростей передачи и небольших расстояний и для них можно получить скорости передачи до 300 Мбит/с.

Важным параметром для многомодовых волокон является коэффициент преломления волокна, создаваемый добавками в сердцевину. Кабель может иметь градиентный профиль коэффициента преломления (дорого, но большая производительность) или ступенчатый профиль (не так дорого) (рис. 5.5). Тип показателя преломления влияет на то, как свет отражается или преломляется на стенках волокна. Сердцевинки с гра-

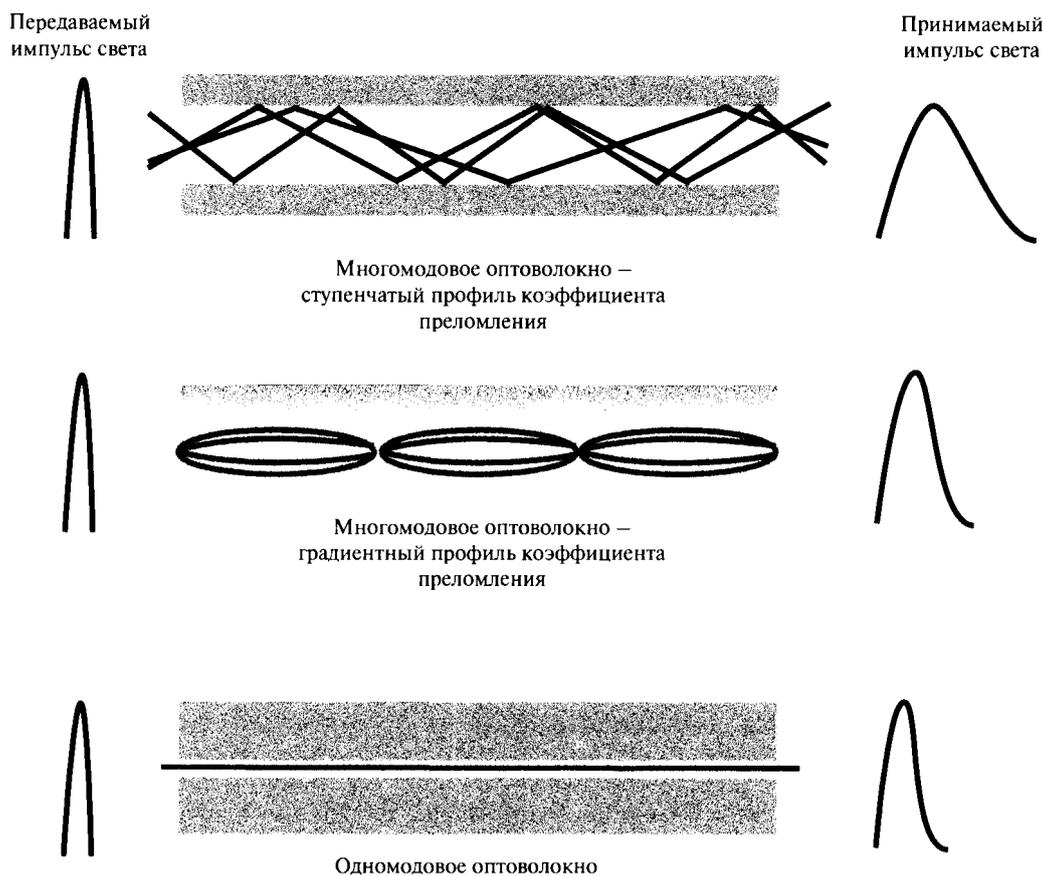


Рис. 5.5. Оптические волокна и их характеристики

диентным профилем коэффициента преломления фокусируют моды, когда они прибывают на приемник и, следовательно, улучшают максимальную скорость передачи по волокну.

Диаметр сердцевины многомодовых волокон обычно бывает от 50 до 100 мк. Наиболее часто используются волокна с диаметрами сердцевины 50 и 62,5 мк.

Одномодовые волокна менее дорогие, но их труднее сопрягать. Они обеспечивают только один путь или «моду» для света, проходящего по волокну, и минимальные отражения. В качестве источников света одномодовые волокна обычно используют лазеры.

Одномодовые волокна имеют меньше проблем с дисперсией или перекрытием импульсов и обеспечивают очень высокие скорости передачи на длинные расстояния. Сердцевина этих волокон гораздо тоньше, чем у многомодовых волокон, и составляет около 5-10 мк. Диаметр оболочки составляет 125 мк, как и у многомодовых волокон.

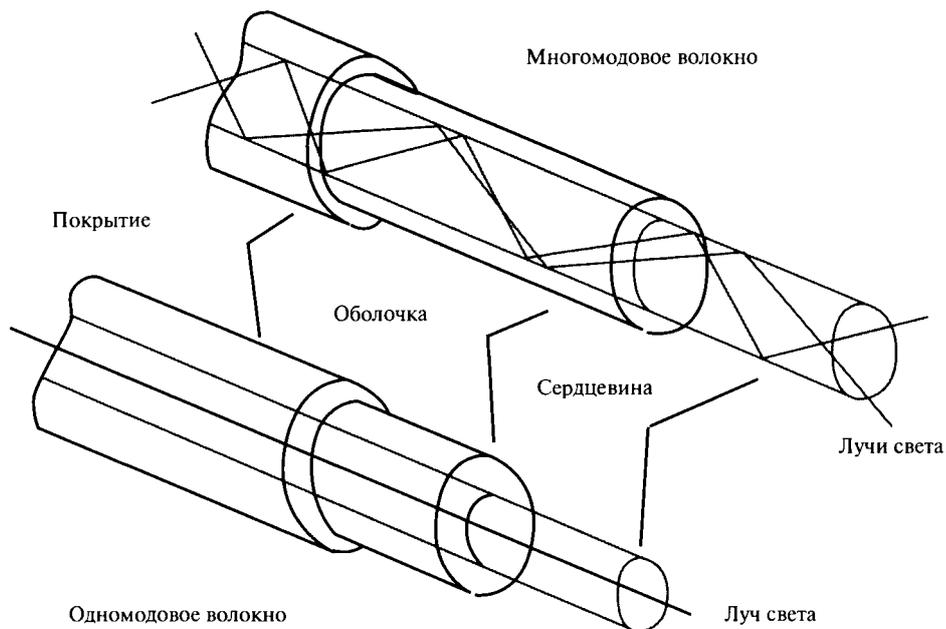


Рис. 5.6. Одномодовое и многомодовое оптические волокна

Источники света должны быть мощными и направлены точно в волокно, чтобы устранить любые несогласования (поэтому используются лазерные диоды). Тонкие одномодовые волокна трудно сращивать и согласовывать на концах, что приводит к дорогой прокладке оптоволокон.

Типичным применением одномодового кабеля является телефонный канал большой пропускной способности, для которого объем трафика требует большой полосы пропускания.

Параметры кабелей

Классификация оптических волокон основана на их диаметре. Волокно 50/150 имеет диаметр сердцевины 50 мкм и диаметр оболочки 150 мкм. Наиболее распространенными размерами многомодовых волокон являются 50/125, которые главным образом в Европе, и 62,5/125, используемые в Австралии и США.

Дополнительное внешнее покрытие обеспечивает защиту волокна от износа и ударов. Внешние покрытия могут иметь диаметр от 250 до 900 мкм, и они часто бывают также включены в спецификацию кабеля, например 50/150/250.

Для обеспечения дополнительной механической защиты волокно часто размещается внутри свободной, но жесткой оболочки, которая добавляет кабелю толщину и вес. Чаще всего применяются кабели из нескольких отдельных волокон. Самая верхняя оболочка и защитное покрытие кабеля зависят от применения и от среды использо-

вания кабеля. Элемент, увеличивающий прочность, обычно помещается в центре кабеля, чтобы увеличить его прочность на растяжение. Это позволяет протаскивать кабель через кабельные каналы или подвешивать его на столбах, не повреждая волокна. Эластичные кабели изготавливаются из стали или кевлара, причем последний распространён больше. На производстве или в горной промышленности оптоволоконно часто вкладывают внутрь обычных кабелей, предназначенных для других целей, например в силовые кабели крупного специализированного шахтного оборудования.

Опыт показал, что оптические волокна разрываются не чаще двух-трех раз за 25 лет. В целом составная стоимость дополнительных оптоволоконных кабелей является не очень высокой по сравнению с общими издержками (включая установку и заделку концов). Таким образом, часто стоит проложить дополнительное оптоволоконно для возможного будущего использования.

Соединение кабелей

При появлении оптических волокон их соединение и заделка концов были главной проблемой. По существу, эти проблемы уменьшились, но подключения все еще требуют очень большой аккуратности, чтобы избежать на стыках потерь, которые будут влиять на общую производительность коммуникационной системы.

Существуют три главных способа сращивания оптического волокна:

Механический.

Волокна состыковываются с помощью механических приспособлений.

Химический.

Два волокна помещаются в цилиндрическую емкость с эпоксидным клеем, затем вся конструкция помещается в печь, чтобы клей полимеризовался.

Сплавление.

Два волокна сплавляются друг с другом путем нагрева.

Чтобы преодолеть сложности, возникающие при концевой заделке, оптоволоконные кабели поставляются отрезками стандартной длины по 10 м, 100 м или 1000 м со срезанными и обработанными концами, на которых установлены специальные наконечники, облегчающие установку кабеля в соответствующие гнезда. Такие наконечники позволяют быстро подключать и отключать оптические кабели. Механическая конструкция разъема обеспечивает кабелю очень точное совмещение, что позволяет достигать очень небольших потерь. Аналогичные разъемы можно применять для наращивания линии, используя специальные двусторонние переходные разъемы.

Хотя потери при прохождении сигнала через такой разъем могут быть больше, чем потери при сплавлении кабелей, зато это производится очень быстро и не требует специальных инструментов и квалификации. К сожалению, механические повреждения или незапланированные разрывы оптоволоконно требуют специальных инструментов и подготовки, чтобы устранить разрыв и произвести сращивание. Один из способов преодоления такой проблемы – это наличие необходимых отрезков кабеля с уже заделанными концами, которые можно легко и быстро подключить вместо поврежденной секции. Технологии концевой заделки оптоволоконных кабелей постоянно улучшаются и эта задача постоянно упрощается.

Ограничения кабелей

Отрицательными факторами, ограничивающими использование оптоволоконных кабелей, являются:

- относительно высокая стоимость оборудования источника и приемника сигналов;
- трудность переключения или изготовления отводов от оптоволоконных кабелей, поэтому такие кабели больше всего подходят для соединения одной точки с другой;
- технологии сращивания и концевой заделки волокна (механические и химические) трудны и требуют точной физической юстировки. Требуется также специальное оборудование и подготовленные специалисты;
- оборудование для тестирования оптоволоконных кабелей другое и гораздо более дорогое, чем то, которое используется для обычной работы с электрическими сигналами;
- оптоволоконные системы используются почти исключительно для передачи двоичных цифровых сигналов и не подходят для передачи аналоговых сигналов на дальние расстояния.

Лекция 6

Электрические шумы и помехи

При выборе и прокладке кабелей для передачи данных важным является вопрос источников электрических помех и способности кабеля противостоять им. Рассматриваются различные виды помех и способы их уменьшения. Кроме того, приводится краткое описание методов подавления помех и фильтрации шумов, воздействующих на систему передачи сигнала.

Цели

Завершив изучение, вы сможете:

- определить понятие помех и отношение сигнал/шум;
- описать частотный спектр трех групп помех;
- привести примеры источников электрических помех;
- объяснить четыре типа электрической связи, приводящей к помехам:
 - импедансная связь
 - электростатическая связь
 - магнитная/индуктивная связь
 - электромагнитное излучение
- объяснить способы экранирования и определить степень экранирования, включая прокладку кабелей в специальных каналах и разнесение кабелей;
- описать требования к заземлению и соединению корпусов устройств;
- описать способы уменьшения помех;
- описать использование фильтров для специфических источников шумов.

6.1. Определение помех

Помехи, или шумы, можно определить как паразитные электрические сигналы, которые искажают исходный (полезный) сигнал. Во многих случаях помехи носят непредсказуемый импульсный характер и вызываются, например, молниями. В других случаях они могут быть обусловлены предсказуемым фоном 50 и 60 Гц от цепей питания, проходящих вблизи коммуникационного кабеля. Эта непредсказуемость делает проектирование систем передачи данных весьма непростым делом.

Помехи могут генерироваться как внутри самой системы (внутренние помехи), так и иметь внешний источник (внешние помехи).

Примеры источников помех:

- внутренние помехи;
- тепловые шумы (вызываемые движением электронов по электрическим цепям);
- несовершенство конструктивной разработки;
- внешние помехи;
- естественные причины (электростатические помехи и ; электромагнитные бури);
- электромагнитные помехи (EMI) – от токов, протекающих в кабелях;
- радиочастотные помехи (RFI) – от радиосистем, передающих сигналы;
- перекрестные помехи (от других кабелей, разнесенных на небольшие расстояния).

Общепринятые способы уменьшения помех заключаются в следующем:

- экранирование сигнальных проводов;
- увеличение расстояния между источником помех и сигналом;
- качественное заземление экрана и использование свитых сигнальных проводов.

Помехи необходимо учитывать только в том случае, если они накладываются на передаваемый сигнал, несущий информацию. В предыдущих главах было показано, что электронные схемы приемников, предназначенных для цифровых коммуникаций, используют широкий диапазон напряжений, представляющих двоичный бит «1» или «0». Чтобы при передаче данных произошла ошибка, напряжение помех должно быть достаточно большим, способным вывести сигнал вне заданных пределов.

Отношение напряжения сигнала к напряжению помех определяет величину сигнала по отношению к помехам. Это отношение называется *отношением сигнал/шум* (SNR) и является важным в оценке качества работы коммуникационной системы. При передаче данных напряжение сигнала является относительно постоянным и определяется напряжением источника сигнала (передатчика), а также падением напряжения на линии, вызванным сопротивлением кабеля (его сечением и длиной). Таким образом, отношение сигнал/шум является мерой количества помех в канале связи.

Обычно отношение сигнал/шум выражается в децибелах (дБ) и равно логарифму отношения напряжения сигнала (S) к напряжению шума (N):

$$SNR = 10 \log S/N \text{ (дБ)}.$$

Отношение сигнал/шум, равное 20 дБ, считается низким (плохим), а 60 дБ – высоким (хорошим). Чем выше отношение сигнал/шум, тем легче обеспечить приемлемую работу при использовании более простых схем и дешевых кабелей.

При передаче данных более подходящим показателем производительности канала связи является частота ошибок по битам (BER). Она является мерой количества успешно принятых битов по сравнению с количеством ошибочных битов. Частота, равная 10^{-6} , означает, что один бит на миллион будет ошибочным, и это считается плохим показателем для систем передачи блоков данных с очень высокими скоростями передачи. $BER = 10^{-6}$ (одна ошибка на миллион миллионов) считается очень хорошим показателем. Для промышленных систем с низкими требованиями к скорости передачи может быть вполне приемлемым $BER = 10^{-4}$.

Между SNR и BER имеется определенная связь. По мере увеличения SNR частота появления ошибок быстро падает, как показано на рисунке 6.1. Большинство коммуникационных систем начинают обеспечивать разумные частоты BER когда отношение сигнал/шум больше 20 дБ.

6.2. Частотный анализ помех

Еще одним способом оценки влияния помех является анализ частотного спектра. Помехи можно разделить на три группы:

- широкополосные шумы;
- импульсные помехи;
- шумы в определенном частотном диапазоне.

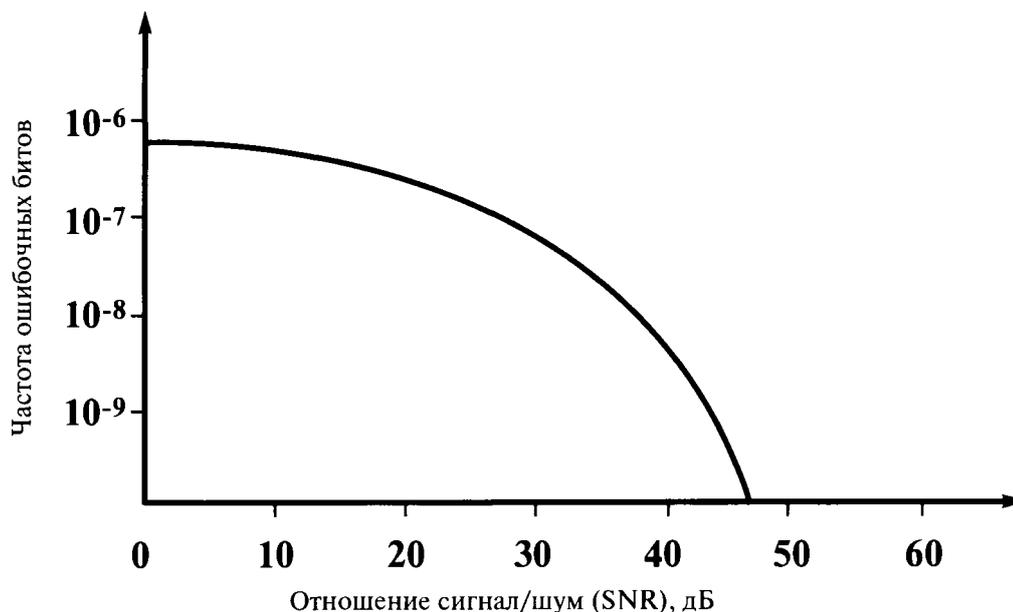


Рис. 6.1. Взаимосвязь между частотой появления ошибочных битов и отношением сигнал/шум

Эти три группы условно показаны на упрощенных частотных и обычных временных графиках. Используя данный подход, можно оценить изменение сигнала, а также его амплитуду в зависимости от времени.

Широкополосные шумы представляют собой большое количество частотных компонент с разными амплитудами. Они представлены на временном графике (рис. 6.2), и частотном графике, (рис. 6.3).

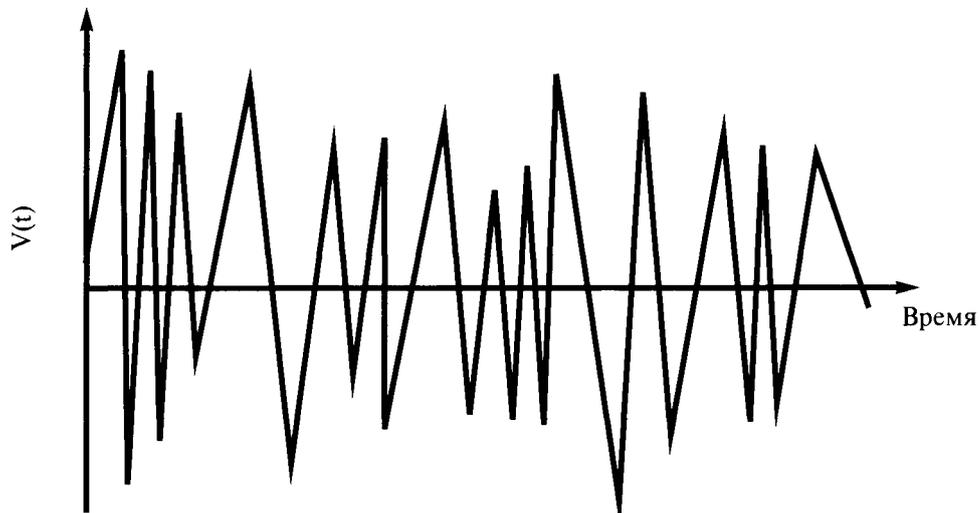


Рис. 6.2. Временной график широкополосного шума

На частотном графике энергетические компоненты широкополосного шума занимают широкий диапазон частот (частотный спектр).

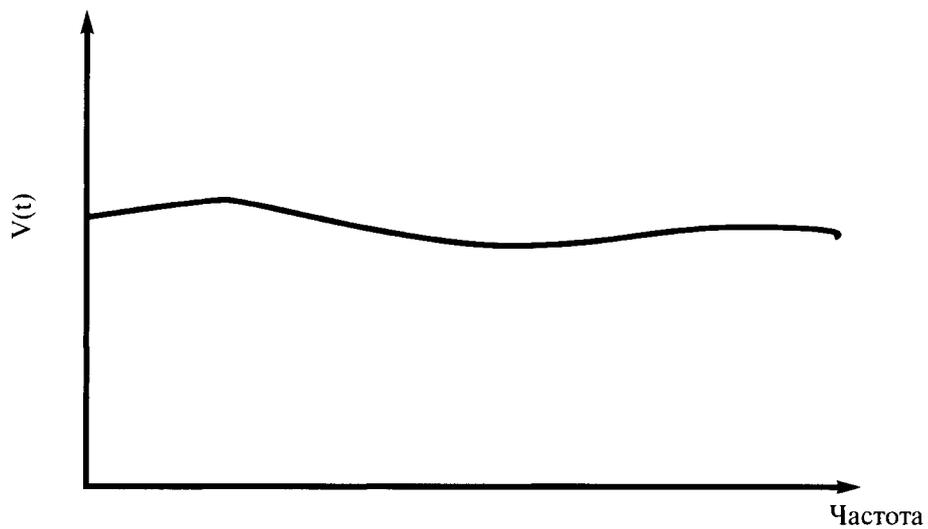


Рис. 6.3. Частотный график широкополосного шума

Широкополосные шумы часто приводят к случайной потере или искажению бита данных. Это происходит тогда, когда амплитуда шумов становится достаточно большой, чтобы заставить систему принять неправильное решение относительно того, какая цифровая информация или какой символ был принят. Чтобы приемник мог определить, когда произошла ошибка, важно использовать специальные способы кодирования, например, введение проверки на четность или символа проверки блока (ВСС).

Импульсные помехи являются импульсами напряжения, которые могут иметь длительность до 20 мс (рис. 6.4).

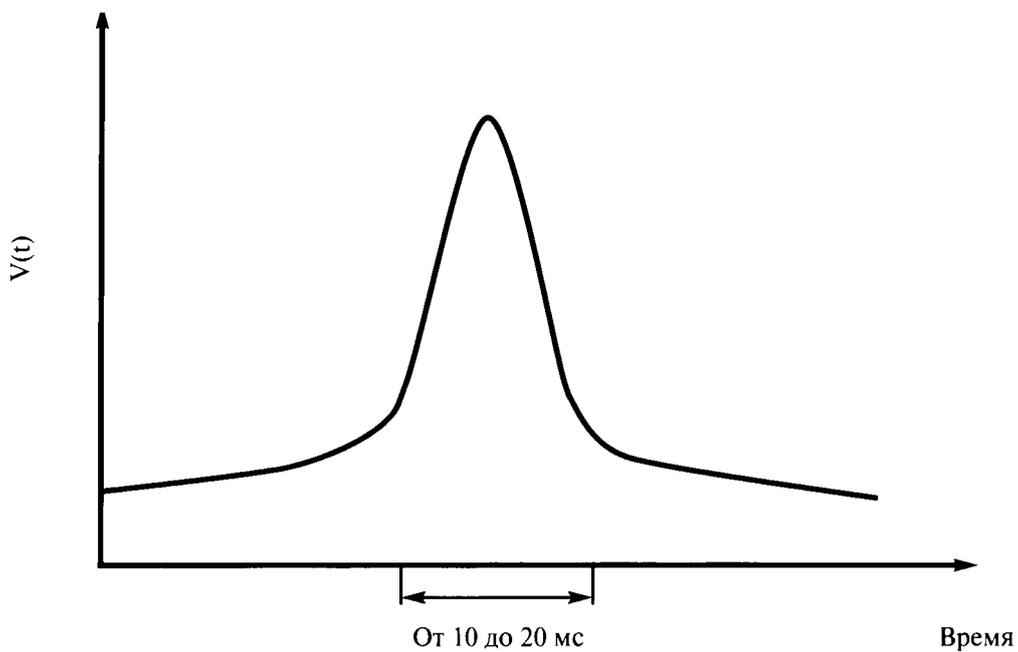


Рис. 6.4. Временной график импульсной помехи

Частотный график также иллюстрирует этот тип шумов. Он имеет вид широкой полосы с уменьшающейся амплитудой на высоких частотах (рис. 6.5).

Импульсные помехи вызываются кратковременными возмущениями работы элект-

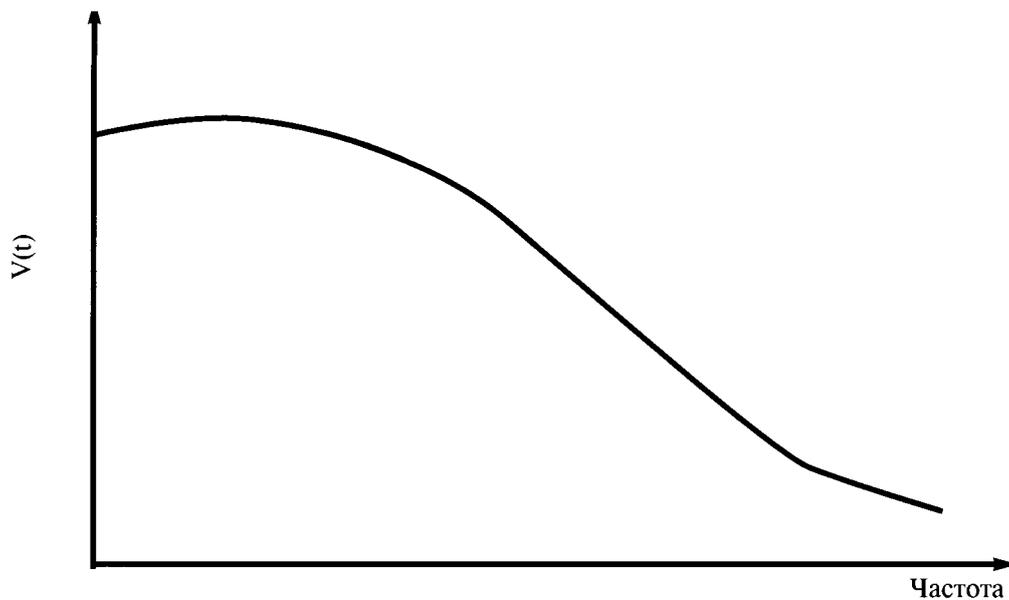


Рис. 6.5. Частотный график импульсной помехи

рических устройств, например, пуском электродвигателя, или элементами коммутации на телефонном узле. Импульсные помехи искажают полезный сигнал и портят, тем самым, цепочку битов данных. В результате этого может быть потеряна синхронизация или может быть испорчен кадр символа. Подобная природа помех обычно приводит к искажению сообщений, которые потом трудно дешифровать. Для обнаружения таких искажений может понадобиться контроль с помощью циклического избыточного кода (CRC).

Импульсные помехи, хотя и вносят больше искажений, чем широкополосные шумы, обычно происходят реже. Временной и частотный графики для импульсных помех зависят от реальной формы импульса. Форма импульса, например, может быть квадратной, трапецеидальной, треугольной или синусоидальной.

В целом чем уже и круче импульс, тем больше энергии приходится на высокие частоты.

Помехи с определенной частотой характеризуются постоянством частоты, но их величина может зависеть от расстояния, на котором коммуникационная система находится от источника шумов, амплитуды шумового сигнала, а также от способа экранирования (рис. 6.6).

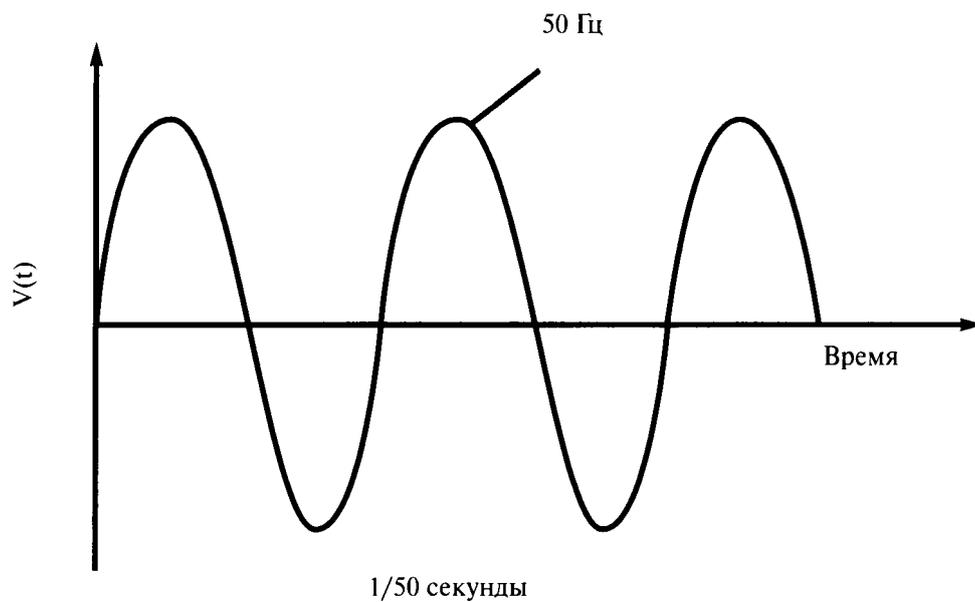


Рис. 6.6. Временной график помех с постоянной частотой

Данная группа помех **типична** для **всех систем питания**. Помехи этой группы могут быть уменьшены разнесением системы передачи данных и источника питания. Поскольку этот тип помех имеет предсказуемый частотный спектр, защиту от них можно заложить на этапе конструирования системы.

Часто для уменьшения подобного типа помех используются фильтры (рис. 6.7)

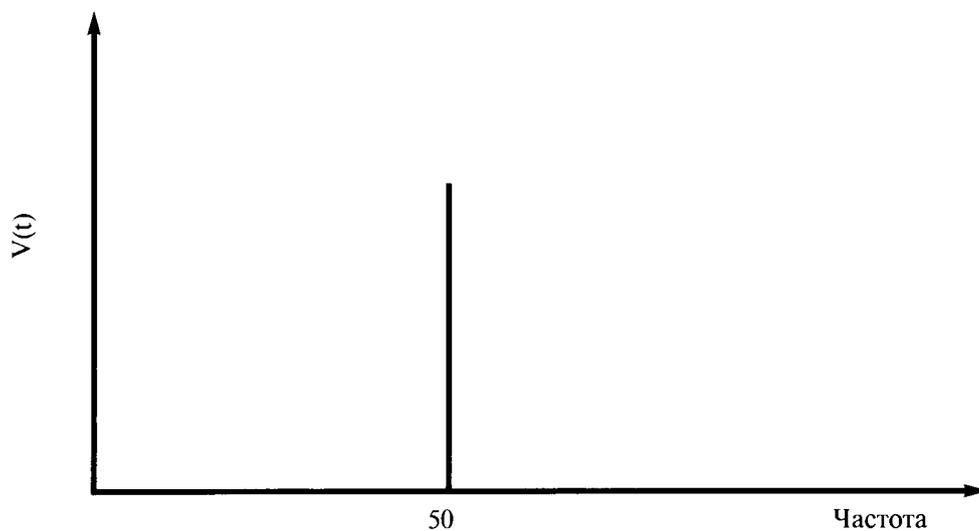


Рис. 6.7. Частотный график помех с постоянной частотой

6.3. Источники электрических помех

Типичными источниками помех являются устройства, которые генерируют быстрые изменения (импульсы) напряжения или тока. Такими источниками являются:

- большие электродвигатели в момент включения и выключения;
- флуоресцентные осветительные лампы;
- удары молнии;
- высоковольтные импульсы напряжения, вызываемые неисправностями электрического оборудования (пробои);
- сварочное оборудование.

По общему мнению, существование электрических помех обусловлено совокупностью трех факторов:

- наличием источника электрических помех;
- механизмом взаимодействия источника помех с сигнальной цепью;
- восприимчивостью к помехам сигнальной цепи.

6.4. Электрическое воздействие помех

Существуют четыре типа воздействия электрических помех на чувствительные цепи передачи данных:

- импедансная связь (иногда называемая резистивной связью);
- электростатическая связь;
- магнитная, или индуктивная, связь;
- радиочастотное излучение (сочетание электростатической и магнитной связи).

Каждый из этих типов помех будет обсуждаться более подробно в следующих разделах. Хотя порядок обсуждения указывает на частоту появления проблем, но реальные помехи зависят от конкретного случая.

Импедансная связь (обычная резистивная связь)

В тех ситуациях, когда две или больше электрических цепей разделяют общие проводники, может возникать связь между различными цепями, которая будет плохо сказываться на подключенные цепи. В основном это означает, что ток сигнала одной цепи проходит по общему проводнику и приводит к возникновению на этом общем проводнике напряжения ошибки, которое влияет на другие сигналы. Напряжение ошибки обусловлено емкостью, индуктивностью и сопротивлением обратного провода (рис. 6.8).

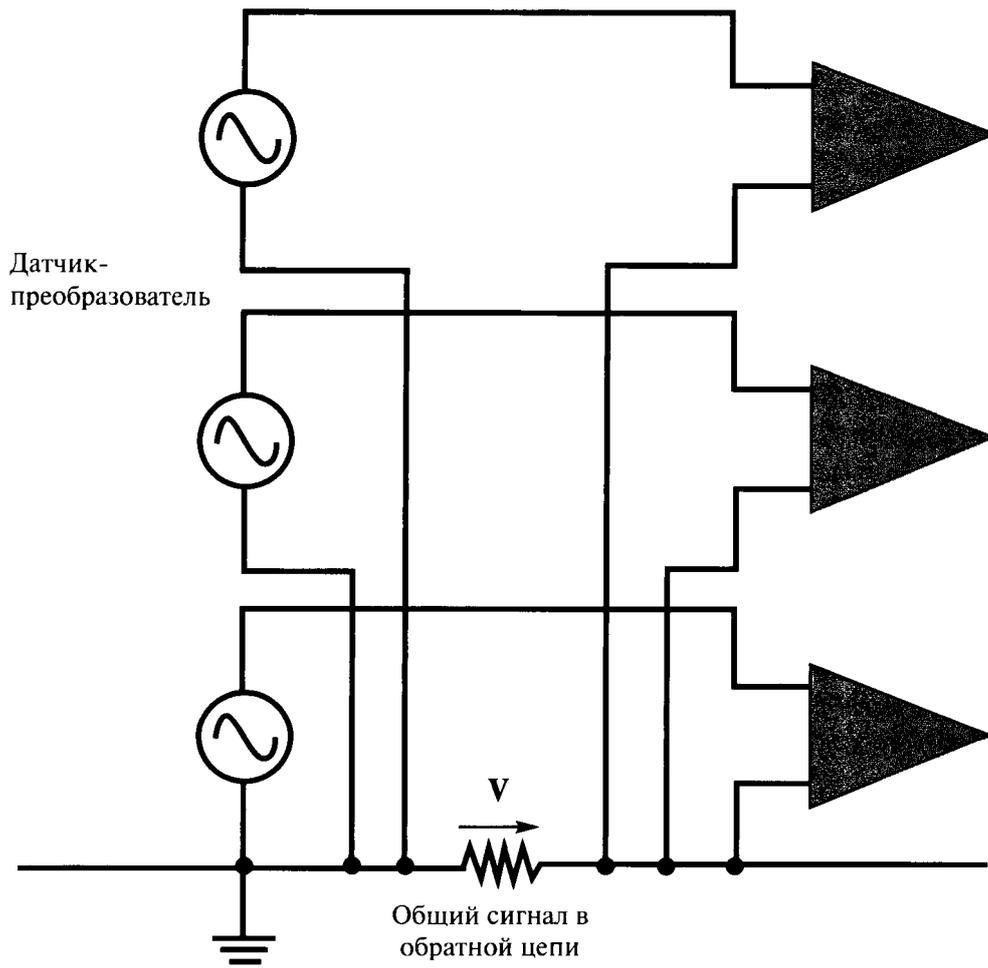


Рис. 6.8. Импедансная связь

Очевидно, что самым простым способом устранения влияния импедансной связи является минимизация импеданса обратного провода. Наилучшим решением будет использование симметричной цепи с разными обратными проводами для каждого отдельного сигнала (рис. 6.9).

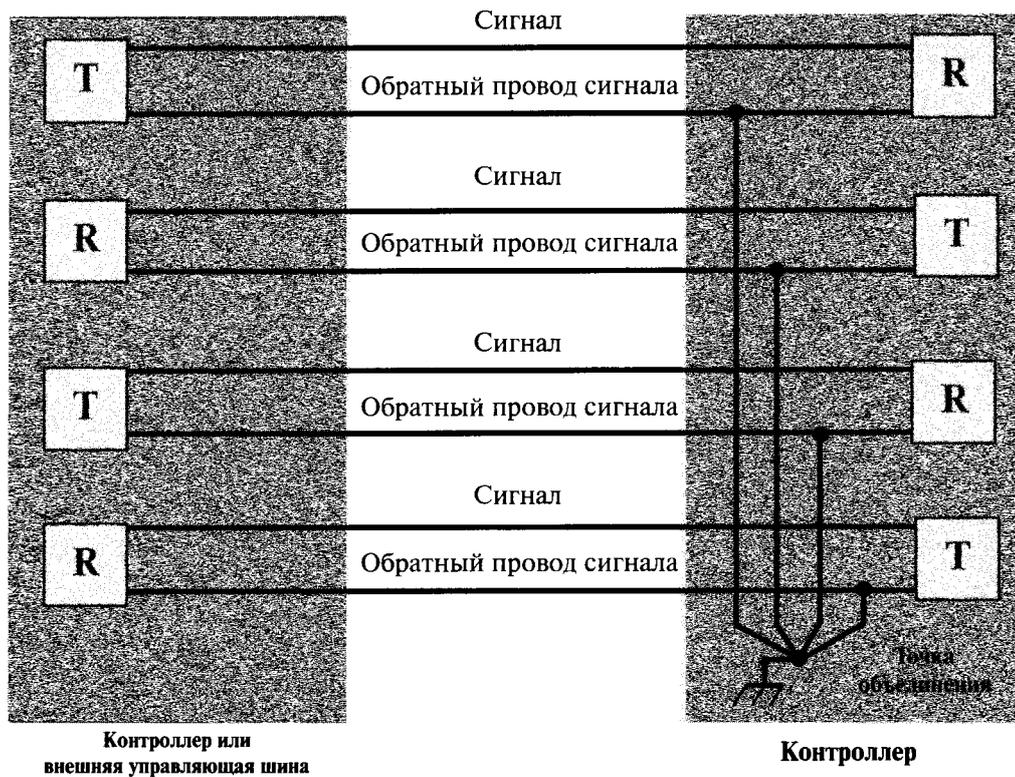


Рис. 6.9. Импедансная связь, которая устраняется использованием симметричных схем

T – передатчик
R – приемник

Электростатическая или емкостная связь

Уровень помех при такой связи пропорционален емкости между источником помех и сигнальными проводами. Интенсивность помехи зависит от скорости изменения напряжения помехи и от емкости между цепью помехи и сигнальной цепью.

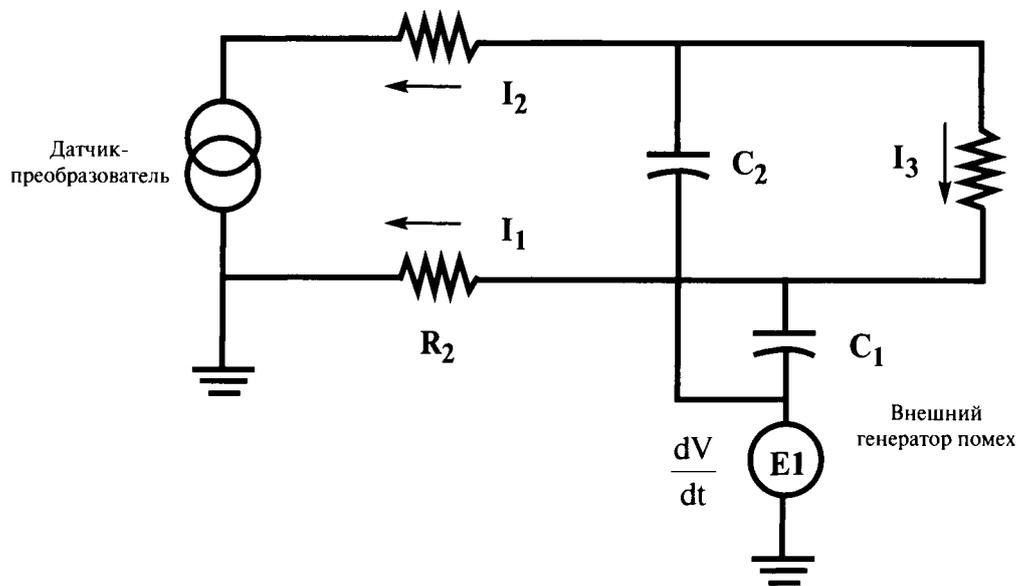


Рис. 6.10. Электростатическая связь

Напряжение помех наводится на провода, передающие сигнал, через два конденсатора C_1 и C_2 , причем оно создается на сопротивлении цепи (рис. 6.10). Величина напряжения помех (или ошибки) в сигнальных проводах обратно пропорциональна:

- расстоянию от источника шумов до сигнальных проводов;
- длине (и, следовательно, импедансу) сигнальных проводов, на которые наводятся помехи;
- амплитуде (величине) напряжения помех;
- частоте напряжения шумов.

Существуют четыре способа уменьшения уровня помех, вызываемых электростатической связью:

- экранирование сигнальных проводов;
- отделение от источника помех;
- уменьшение амплитуды напряжения помех (и, по возможности, частоты);
- скручивание сигнальных проводов.

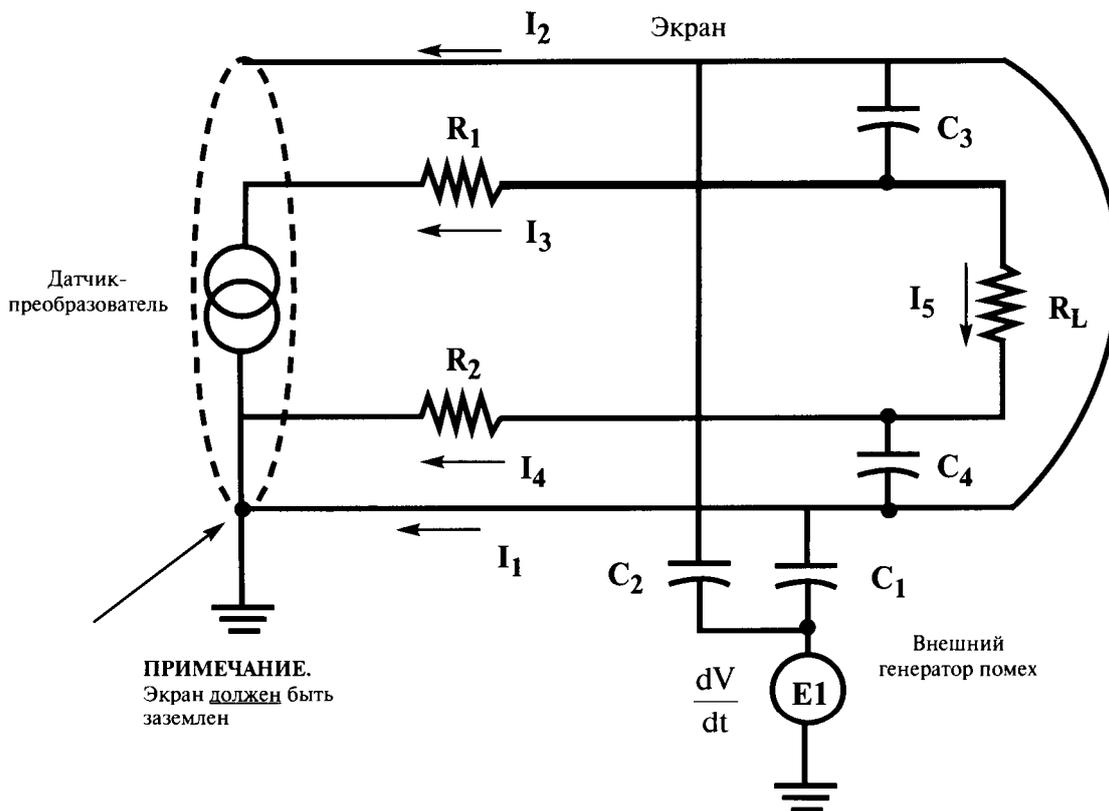


Рис. 6.11. Экран, минимизирующий электростатическую связь

На рис. 6.11 показана ситуация, которая происходит, когда вокруг сигнальных проводов помещается электростатический экран. Ток, генерируемый помехами, скорее потечет через путь с пониженным импедансом экрана, чем по сигнальным проводам. Если один из сигнальных проводов и экран связаны на одном конце с землей, которая обеспечивает одинаковость потенциала экрана и сигнального провода, то между сигнальными проводами и экраном потечет уменьшенный ток сигнала. **Примечание.** Экран должен быть выполнен из материала с низким сопротивлением, например алюминия или меди. Для свободно сплетенного медного экрана (85% охвата площади) коэффициент экранирования равен приблизительно 100 или 20 дБ, т.е. C_3 и C_4 имеют емкость порядка $1/100$ от C_x или C_2 . Для многослойного экрана с низким сопротивлением коэффициент экранирования может составлять 35 дБ, или ослабление в 3000 раз (см. рис. 6.11).

Скручивание сигнальных проводов обеспечивает некоторое улучшение наведенных помех, если значения емкостей C_1 и C_2 близки; это условие приводит к тому, что напряжения помех, наводимые на сигнальные провода, имеют тенденцию гасить друг друга.

Примечание. Если экран предусмотрен производителем кабеля, то это обеспечивает равенство емкостей между экраном и проводами (что позволяет устранить появление помех).

Магнитная или индуктивная связь

Связь такого типа зависит от скорости изменения тока помехи и взаимной индукции между источником помех и сигнальными проводами. Уровень помех, вызываемых магнитной связью, обратно пропорционален расстоянию от источника помех до сигнальных проводов и зависит от:

- амплитуды тока помехи;
- частоты тока помехи;
- площади, охватываемой сигнальными проводами (через которую проходит магнитный поток тока помехи);
- обратно пропорционален расстоянию от источника помех до сигнальных проводов.

Влияние магнитной связи показано на рис. 6.12.

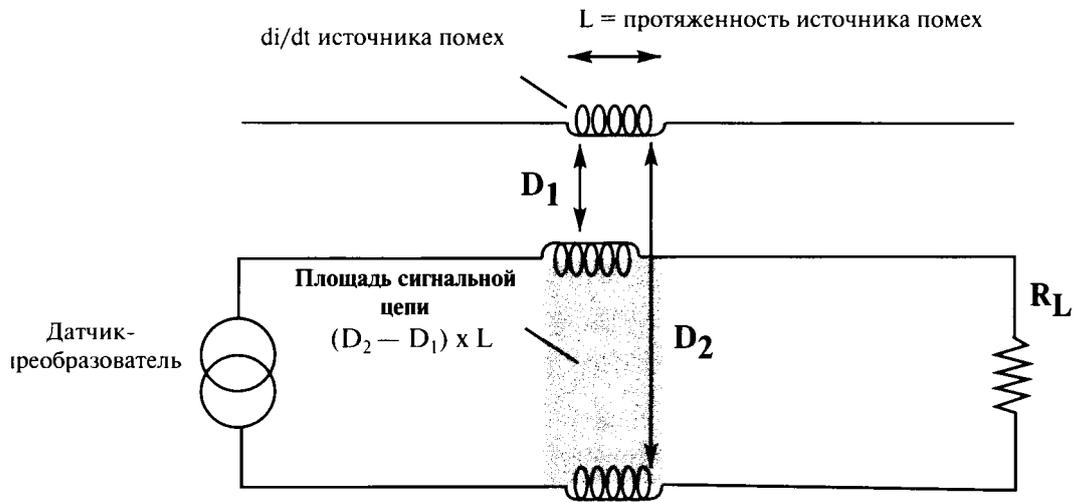


Рис. 6.12. Магнитная связь

Самым простым способом уменьшения уровня помех, вызываемых магнитной связью, является скручивание сигнальных проводов. Это приводит к меньшим наводкам вследствие уменьшения площади каждой петли, что означает уменьшение магнитного потока, проходящего через петлю и, следовательно, уменьшение индуцированного напряжения. Кроме того, напряжение помех, которое индуцируется в каждой петле,

имеет тенденцию компенсировать напряжение помех от следующей соседней петли. Таким образом, четное количество петель будет иметь тенденцию взаимной компенсации напряжения помех отдельными петлями. Предполагается, что напряжение помех индуцируется с равными амплитудами в каждом сигнальном проводе вследствие того, что скручивание проводов обеспечивает одинаковое расстояние до источника помехи (рис. 6.13).

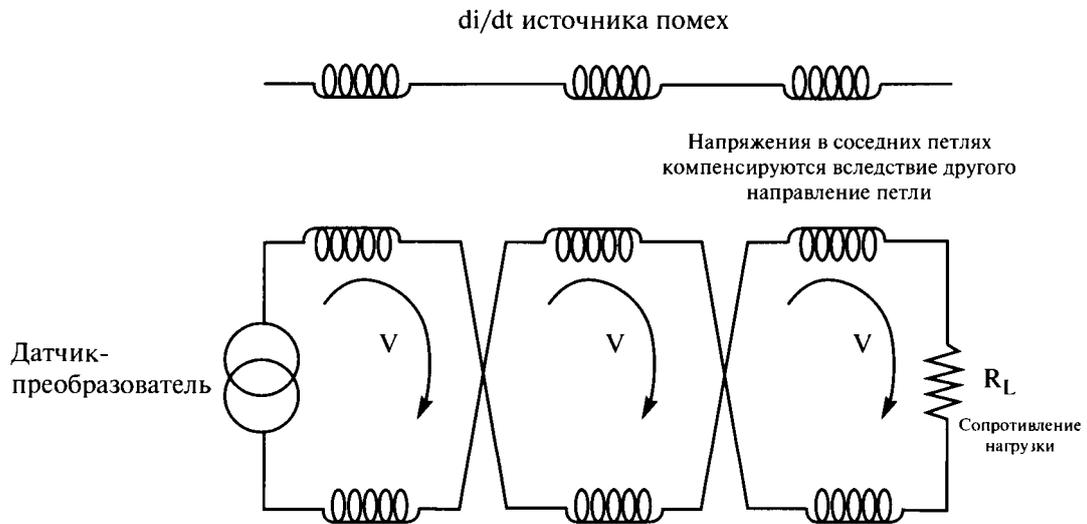


Рис. 6.13. Уменьшение магнитной связи путем скручивания проводов

Другим способом является использование магнитного экрана вокруг сигнальных проводов. Магнитный поток, генерируемый токами помехи, индуцирует в магнитном экране небольшие вихревые токи. Затем эти вихревые токи создают противоположный магнитный поток Φ_1 по отношению к исходному потоку Φ_2 . Это означает, что полезную цепь достигает меньший поток $(\Phi_1 - \Phi_2)$ (рис. 6.14).

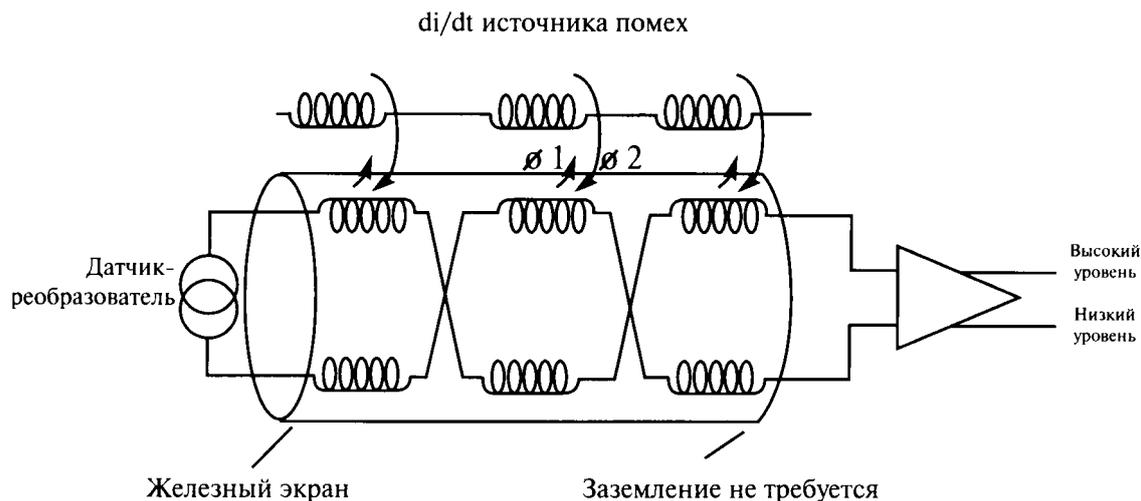


Рис. 6.14. Уменьшение магнитной связи путем использования магнитного экрана

Примечание. Магнитный экран не требует заземления. Он работает просто потому, что он есть. Лучшее экранирование обеспечивает сталь с большей магнитной восприимчивостью. Однако канал из оцинкованного железа также является неплохим экраном.

Радиочастотное излучение

Напряжение помех, индуцированное наличием электростатической и индуктивной связи (обсуждено выше), проявляется в виде эффекта поля в ближней зоне – чем является электромагнитное излучение вблизи источника помех. Этот тип помех часто трудно устранить и он требует аккуратного заземления соседних электрических цепей. Соединение с землей часто является единственным эффективным средством для цепей, находящихся в непосредственной близости к электромагнитному излучению. Влиянием электромагнитного излучения можно пренебречь, если напряженность поля не превышает 1 В/м. Это можно вычислить по формуле:

$$\text{Напряженность поля (В/м)} = \frac{0,173\sqrt{\text{Мощность (кВт)}}}{\text{Расстояние(км)}}$$

Чаще всего используются два следующих способа уменьшения электромагнитного излучения:

- соответствующее экранирование (железо);
- установка конденсаторов, обеспечивающих сток напряжения помех на землю.

Любой не полностью экранированный проводник будет работать для радиосигнала как приемная антенна и, следовательно, необходимо обеспечить хорошее экранирование любого открытого провода.

6.5. Экранирование

Важно, чтобы электростатический экран был заземлен только в одной точке. Несколько точек заземления создадут паразитные земляные контуры. Экран должен быть изолирован, чтобы избежать непреднамеренных контактов с землей в нескольких точках, что приведет к появлению паразитных контуров. Экран не должен оставаться неподключенным, поскольку это увеличит емкостную связь и сделает экран бесполезным.

Два полезных способа гальванической развязки одной цепи от другой с помощью оптоэлектронной пары показаны на рис. 6.15, а трансформаторная связь показана на рис. 6.16.

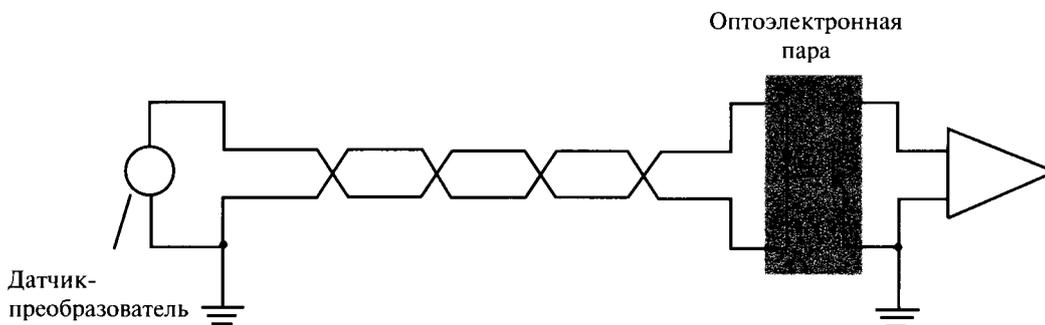


Рис. 6.15. Оптическая развязка двух цепей

Хотя оптическая развязка изолирует одну цепь от другой, это не предотвращает появления помех или шумов, передаваемых из одной цепи в другую.

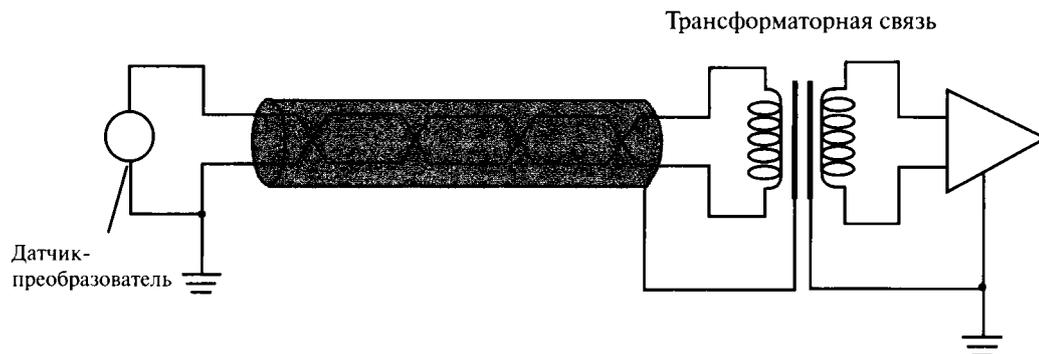


Рис. 6.16. Трансформаторная развязка

Если в одной цепи скорость передачи очень большая, то трансформаторная связь может быть предпочтительней по сравнению с оптической развязкой. Между светодиодным излучателем и базой транзистора имеется некоторая емкостная связь, которая в оптоэлектронной паре может обеспечить передачу помехи из одной цепи в другую. При трансформаторной связи этого не наблюдается.

6.6. Коэффициенты экранировки

Использование какого-либо материала с **низким сопротивлением, закрывающего** сигнальные проводники, считается хорошей экранировкой, уменьшающей электростатическую связь. При сравнении экранированных проводов с совершенно неэкранированными коэффициент ослабления помех может быть от 100:1 для медного плетеного экрана (**85%** закрытой поверхности) до 6000:1 для алюминированной лавсановой пленки с внутренним проводом.

Скручивание проводов с целью уменьшения индуктивной связи уменьшает помехи (по сравнению с невитыми) от 14:1 (шаг скрутки 10 см) до 141:1 (шаг скрутки **2,5** см). Для сравнения можно указать, что прокладка параллельных (невитых проводов) в стальной трубе дает коэффициент ослабления помех **22:1**.

Для очень чувствительных цепей с высокими уровнями магнитной и электростатической связи рекомендуется использовать коаксиальные кабели. Кроме того, хорошие результаты может дать кабель с двойной экранировкой.

Примечание. При использовании двойного экрана внешний экран должны быть заземлен в нескольких точках, чтобы минимизировать радиочастотные помехи. Для уменьшения радиочастотных наводок расстояние между точками заземления должно составлять не менее $1/8$ длины волны помехи.

6.7. Кабельные каналы или коробка

Кабельные каналы удобны для уменьшения уровня электростатических и магнитных полей. Ниже приводятся цифры для магнитных полей с частотой 60 Гц и для электрических полей с частотой 100 кГц:

- 5-сантиметровый алюминиевый кабельный канал с толщиной стенок 0,39 см
 - магнитные поля 1,5:1
 - электрические поля 8000:1
- 5-сантиметровый кабельный канал из оцинкованного железа с толщиной стенок 0,39 см
 - магнитные поля 40:1
 - электрические поля 2000:1

6.8. Разнесение кабелей

Для тех ситуаций, когда имеется большое количество кабелей с разными уровнями напряжения и токов, был разработан стандарт IEEE 518-1982, представляющий полезный набор таблиц рекомендуемого удаления для различных типов кабелей. Для кабелей существуют четыре классификационных уровня восприимчивости. Под восприимчивостью в данном контексте понимается то, насколько хорошо сигнальная цепь может отделять паразитную помеху от полезного сигнала. Из этого следует, что физический стандарт на передачу данных, такой как RS-232, имеет высокую восприимчивость, а 100-вольтовые 200-амперные кабели переменного тока имеют низкую восприимчивость.

Ниже приводится краткое описание четырех уровней восприимчивости, представленных стандартом IEEE 518-1982:

- Уровень 1 – высокий.
К этому уровню относятся аналоговые сигналы ниже 50 В и цифровые сигналы с амплитудами меньше 15 В. Сюда входят цифровые логические шины и телефонные линии, а также коммуникационные кабели для передачи данных.
- Уровень 2 – средний.
Эта категория включает аналоговые сигналы с напряжениями больше 50 В и коммутационные цепи.
- Уровень 3 – низкий.
К этому уровню относятся коммутационные сигналы и аналоговые сигналы с напряжениями больше 50 В. Сюда же относятся токи менее 20 А.
- Уровень 4 - силовой.
Сюда относятся напряжения в диапазоне от 1 до 100 В и токи в диапазоне от 20 до 800 А. Это справедливо как для переменного, так и для постоянного тока.

Для вычисления расстояния между кабелями с различными уровнями восприимчивости стандартом IEEE 518 предусмотрены также три различные ситуации.

При рассмотрении особого случая, когда один кабель имеет высокую восприимчивость, а другой - разную восприимчивость, требуемое разделение должно определяться следующим образом:

- Оба кабеля находятся в отдельном лотке:
 - от уровня 1 до уровня 2 – 30 мм
 - от уровня 1 до уровня 3 - 160 мм
 - от уровня 1 до уровня 4 – 670 мм.
- Один кабель находится в лотке, а другой в кабельном канале:
 - от уровня 1 до уровня 2 – 30 мм
 - от уровня 1 до уровня 3 – 110 мм
 - от уровня 1 до уровня 4 - 460 мм.
- Оба кабеля находятся в отдельных кабельных каналах:
 - от уровня 1 до уровня 2 - 30 мм
 - от уровня 1 до уровня 3 – 80 мм
 - от уровня 1 до уровня 4 - 310 мм.

Эти цифры являются приблизительными, поскольку оригинальный стандарт приводится в дюймах.

Несколько слов необходимо сказать о конструкции лотков и кабельных каналов. Предполагается, что лотки изготовлены из металла, имеют неразрывное соединение и надежно заземлены по всей длине. Лотки должны быть полностью закрыты, чтобы не оставались незэкранированные места.

6.9. Требования к соединению с корпусом и заземлению

Это очень спорный вопрос и его подробное обсуждение выходит за рамки теории; единственно возможным способом уменьшения разногласий может быть только практика. Ситуация еще больше усложняется тем, что в разных странах используют разные законы, которые хотя активно и не противоречат основным нормам других стран, но имеют тенденцию рекомендовать различные способы реализации хороших систем заземления.

Типовая конструкция должна быть основана на двух отдельных электрически изолированных системах заземления:

- земля для оборудования;
- земля для измерительных приборов (и систем коммуникации).

Целью этих систем заземления является следующее:

- минимизация электрических помех в системе;
- уменьшение влияния нарушения заземления или образования паразитных контуров в системе измерительных приборов;
- минимизация опасных напряжений, которые могут возникать на оборудовании в случае электрических неполадок.

Земля (или заземление) определяется как общая опорная точка для всех сигналов оборудования, имеющая нулевой потенциал. Для частот ниже 10 МГц принцип заземления с единственной точкой является оптимальным решением. При выборе эффективной системы заземления необходимо рассмотреть два ключевых момента:

- минимизация влияния импедансной связи между различными цепями (например, когда три различных тока протекают через общий импеданс);
- предотвращение земляных паразитных контуров (например, при случайном соединении с землей двух концов экрана кабеля).

Имеются три типа систем заземления, которые показаны на рис. 6.17. Хотя последовательное соединение отдельных точек для заземления отдельных групп сигналов, возможно, распространено больше, но параллельное соединение является предпочтительным.

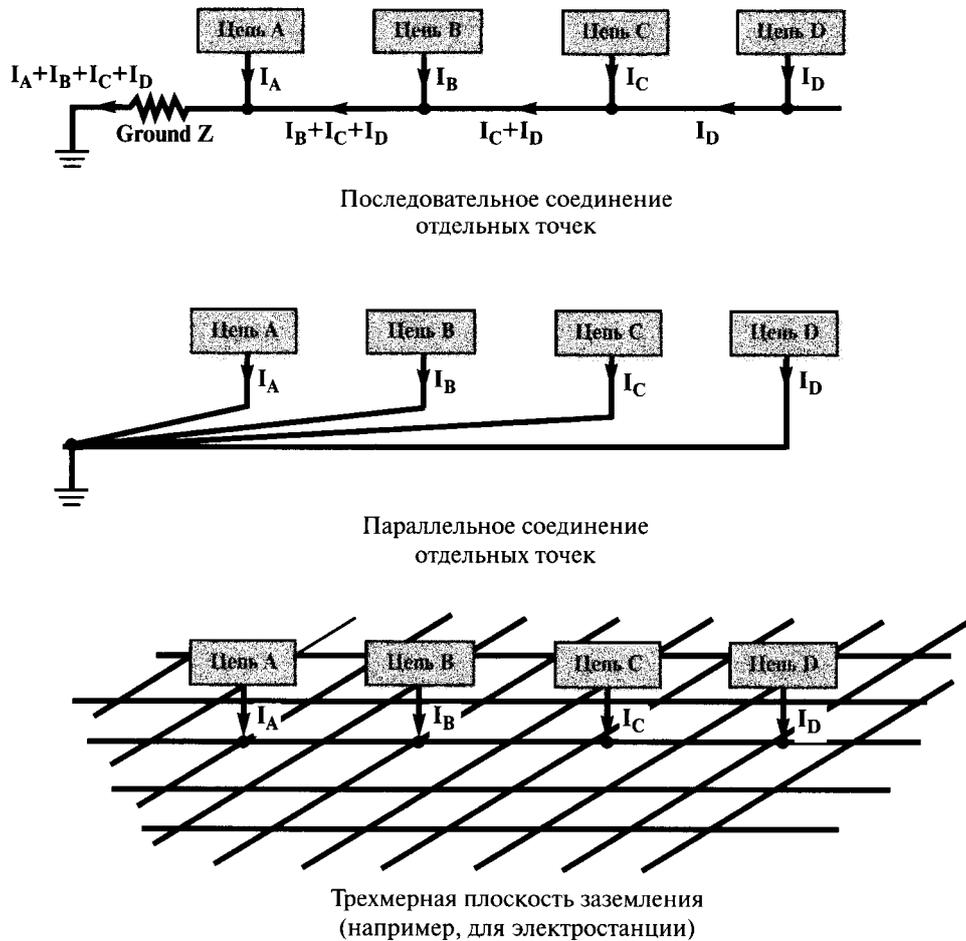


Рис. 6.17. Различные конфигурации заземления

Это справедливо для следующих случаев:

- заземление безопасности (силовое заземление);
- заземление низкоуровневых сигналов (для измерительных приборов);
- заземление высокоуровневых сигналов (управление двигателями);
- заземление зданий.

6.10. Способы подавления помех

К проблеме подавления помех часто следует подходить с другой стороны и рассмотреть сам источник помех, чтобы попытаться уменьшить уровень наводок, которые он создает. Для этого требуется знание электрического устройства, которое создает помехи, что может помочь в уменьшении вызываемых им помех. Два основных подхода к этой проблеме показаны на рис. 6.18.

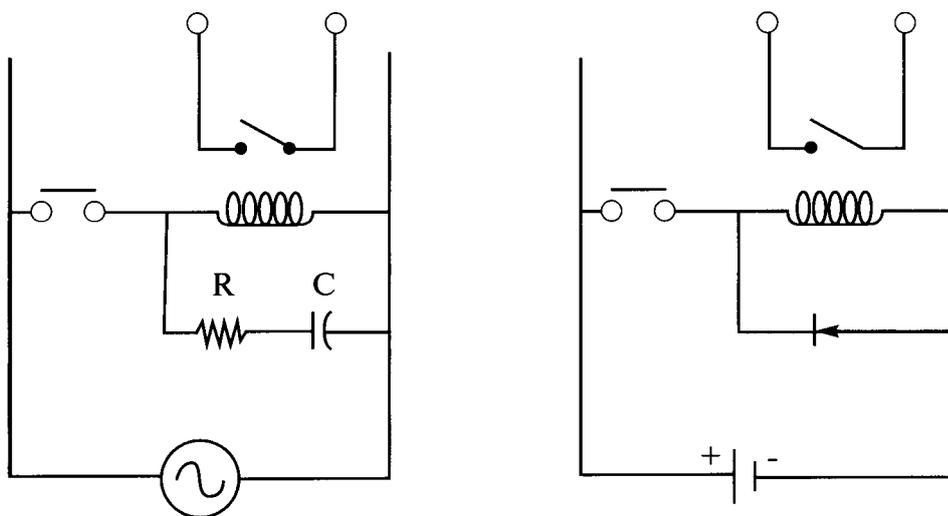


Рис. 6.18. Включение RC-цепи параллельно катушке

Индуктивность при выключении напряжения будет создавать на контактах обратную электродвижущую силу. RC-цепь, подключенная параллельно катушке, поглотит часть этой ЭМФ и тем самым уменьшит подгорание контактов (см. рис. 6.18).

Напряжение может быть ограничено путем комбинации устройств (это зависит от того, какой ток протекает по цепи – переменный или постоянный).

При использовании данных способов необходимо помнить о том, что время реакции может быть сильно увеличено, например время спада тока через катушку может быть увеличено в 10 раз. Поэтому к подобным приемам необходимо подходить с осторожностью в тех случаях, когда для цепей переключения требуется быстрая реакция (не говоря об очевидном вредном влиянии замедленной реакции системы на безопасность).

Еще необходимо рассмотреть два следующих вопроса:

Кремниевые управляемые выпрямители (SCR) и симисторы

Эти устройства создают значительные помехи вследствие коммутирования больших токов. Одним из возможных решений является установка последовательно с переключающим устройством катушки необходимого размера.

Защита от молнии

Защиту от молнии можно осуществить с помощью ограничителей напряжения (должным образом выбранных на соответствующие уровни напряжений и токов), подключенных параллельно силовым цепям.

1. Фильтрация

Фильтры необходимо устанавливать максимально близко от источника помех. Ниже приводится таблица, в которой даны несколько типов источников помех и возможные фильтры для их уменьшения.

Типичные источники помех	Возможные способы фильтрации	Комментарии
Изменения переменного напряжения Кратковременные провалы в сетевом напряжении Пропуск половины периода в сетевом напряжении	Хороший феррорезонансный стабилизатор	Обычный феррорезонансный стабилизатор может не работать
Кратковременные провалы	Накопительный конденсатор	Для особо ответственных случаев необходимо использовать активные фильтры питания в линии постоянного тока
Случайные пики напряжения или релаксационные процессы	Нелинейные фильтры	Ограничители напряжения
Высокочастотные компоненты	Фильтрующие конденсаторы, подключаемые параллельно линии	Фильтр низких частот. Особое внимание должно быть уделено правильному выбору конденсатора для необходимой частоты
Затухающие колебания фильтров	Использование Т-фильтров	Помогают избавиться от переходных процессов или гармоник высокого уровня
Помехи 60 Гц или 50 Гц	Двойные Т-образные режекторные RC цепочки	Иногда достаточно фильтра низких частот
Синфазные напряжения	Ограничивающие фильтры (развязывающие трансформаторы или фильтры синфазного напряжения)	Предпочтительна оптическая развязка, поскольку она устраняет паразитные земляные контуры
Повышенный уровень шумов	Методы автоматической или взаимной корреляции помех	Вычитает спектр сигнала из близко перекрывающего спектра

Таблица 6.1. Типичные источники помех и возможные способы фильтрации

Лекция 7

Модемы и мультиплексоры

Цели

Завершив изучение, вы сможете:

- объяснить режимы работы модема;
- описать роль каналов обмена информацией;
- описать три способа управления потоком;
- объяснить причины искажения сигналов;
- описать различные способы модуляции сигнала:
 - амплитудная модуляция (ASK)
 - частотная модуляция (FSK)
 - фазовая модуляция (PSK)
 - квадратурная амплитудная модуляция (QAM);
 - модуляция с решетчатым кодированием (TCM).
- перечислить и описать компоненты модема;
- описать свойства различных типов модемов:
 - непрограммируемые модемы
 - программируемые модемы, включая их состояния и команды
- описать радиомодемы:
 - термины
 - режимы
 - особенности
 - модемы с распределенным спектром

- описать протоколы обнаружения ошибок;
- описать способы сжатия данных;
- перечислить и описать стандарты модемов CCITT и Bell;
- объяснить способы устранения неполадок;
- описать выбор модема;
- описать три концепции мультиплексирования;
- описать терминальные мультиплексоры;
- описать статистические мультиплексоры.

7.1. Введение

Каналы связи, будь то телефонная линия, наземная линия связи или радио, не могут напрямую передавать цифровую информацию абсолютно без искажения сигнала.

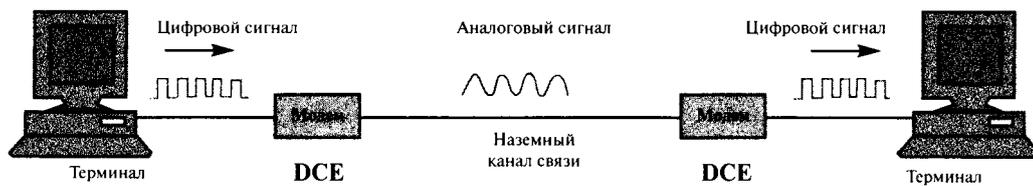


Рис. 7.1. Модем – компонент типичной системы передачи данных

Это обусловлено ограничением ширины полосы, присущим любому из методов подключения. Для преобразования цифровых сигналов, генерируемых передающим компьютером, в аналоговый вид, подходящий для передачи на длинные расстояния, необходимо устройство преобразования, называемое *модемом* (модулятор/



Рис. 7.2. Проблема ограничения полосы пропускания

демодулятор). Демодулятор в модеме принимает аналоговую информацию и преобразует ее обратно в исходную цифровую информацию. Рисунок 7.1 показывает место установки модема в иерархии коммуникационных устройств.

Ширина полосы телефонной сети ограничена емкостью и индуктивностью кабеля. Ширина полосы определяется разностью между самой верхней и самой нижней допустимыми частотами и для телефонной сети обычно составляет от 300 до 3400 Гц (рис. 7.2).

Пример того, как цифровой сигнал может выглядеть на дальнем конце кабеля без его преобразования в аналоговый сигнал, показан на рис. 7.3.

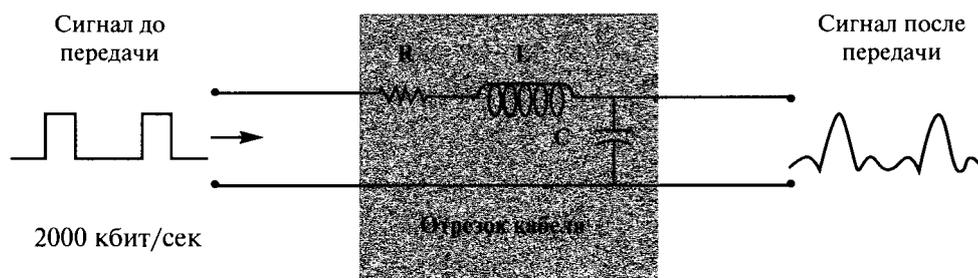


Рис. 7.3. Передача цифрового сигнала по кабелю

7.2. Режимы работы

Модемы могут работать в двух режимах: полудуплексном и полнодуплексном.

Полнодуплексная система более эффективна, чем полудуплексная, поскольку данные могут передаваться в обе стороны одновременно. Полнодуплексная система требует коммуникационной емкости по крайней мере вдвое большей, чем полудуплексная система, в которой данные могут передаваться в оба направления, но только по очереди (глава 2).

7.3. Синхронная и асинхронная передача

Модемы используют один из двух способов передачи данных: асинхронный и синхронный.

Асинхронная передача данных

При асинхронной передаче каждый символ кодируется с использованием стартового бита, помещаемого в начале потока битов символа, а также бита четности и стопового бита в конце символа. Стартовый бит позволяет приемнику синхронизировать-

ся с передатчиком, чтобы приемник начал считывать каждый посылаемый символ. После того как символ будет принят, канал связи возвращается к состоянию паузы, а приемник ожидает следующего стартового бита, который указывает на поступление следующего символа (рис. 7.4).

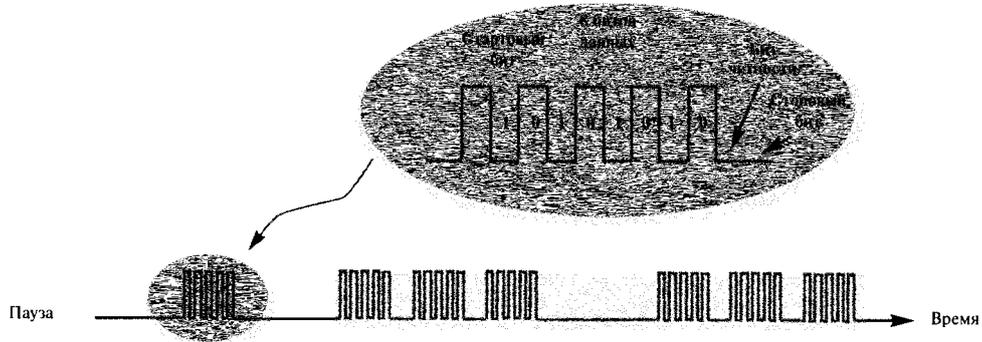


Рис. 7.4. Асинхронная передача нескольких символов

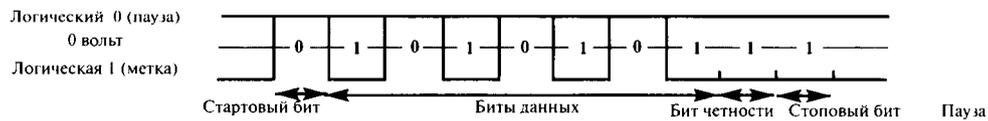


Рис. 7.5. Формат типичного асинхронного сообщения

Синхронная передача данных

Синхронная передача данных основана на том, что все символы передаются в виде непрерывного потока. Первые несколько битов сообщения содержат данные, позволяющие приемнику синхронизироваться с поступающим потоком информации. Затем синхронизация поддерживается с помощью тактового сигнала. Приемник следует за поступающим потоком данных и поддерживает близкую синхронизацию между тактовыми импульсами передатчика и приемника. Синхронная передача обеспечива-

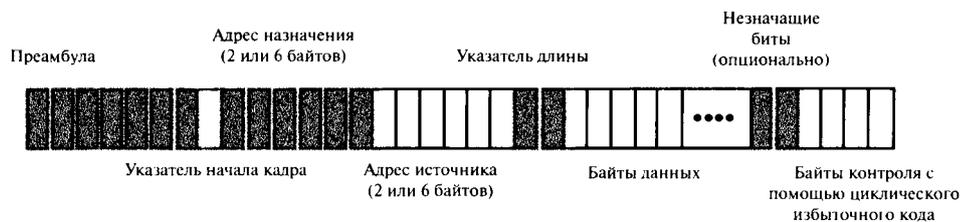


Рис. 7.6. Кадр синхронного коммуникационного протокола

ет гораздо большие скорости передачи, но она не часто используется из-за большей технической сложности коммуникационного оборудования.

Главным различием между асинхронной и синхронной передачей информации с помощью модемов является необходимость в синхронизирующих сигналах.

Синхронный модем стандарта RS-232 выдает на контакте 15 разъема DB-25 прямоугольный сигнал. Контакт 15 называется контактом тактового сигнала или более формально – выходом синхронизирующего сигнала DCE передатчика. Частота прямоугольного сигнала соответствует скорости передачи модема. Подключенный персональный компьютер (DTE устройство) синхронизирует свою передачу данных по контакту 2, подключенному к модему.

7.4. Цепи взаимобмена

Цепи взаимобмена, которые могут быть использованы для управления операцией обмена информации между подключенным коммуникационным оборудованием, включают:

- детектор качества сигнала;
- переключатель скорости передачи данных.

Детектор качества сигнала (CG, контакт 21)

Если из-за плохого качества сигнала имеется высокая вероятность появления ошибки в данных, принимаемых модемом, то эта линия переводится в состояние ВЫКЛЮЧЕНО.

Переключатель скорости передачи данных (CH/CI, контакт 23)

Если детектор качества сигнала информирует, что качество сигнала приемлемо, т.е. он установлен в положение ВЫКЛЮЧЕНО, то терминал может переключить контакт 23 в положение ВКЛЮЧЕНО, чтобы выбрать более высокую скорость передачи, или в положение ВЫКЛЮЧЕНО, чтобы установить более низкую скорость передачи при неприемлемом качестве сигнала. Эта линия называется CH-линией. Если же модем выбирает скорость передачи и сам подает терминалу сигнал на контакт 23 (ВКЛЮЧЕНО или ВЫКЛЮЧЕНО), то эта линия называется CI-линией.

7.5. Управление потоком

Способы управления потоком широко используются для обеспечения того, чтобы не было переполнения данных устройством, принимающим поток символов, которое временно не может обрабатывать или сохранять данные. Принимающее устройство нуждается в возможности сигнализировать передатчику о временном прекращении передачи символов по линии. Управление потоком данных между ПК и модемом может быть достигнуто с помощью либо аппаратного, либо программного квитирования.

Существуют три механизма управления потоком:

- Выдача программным образом сигналов XON/XOFF

- Выдача программным образом сигналов ENQ/ACK
- Аппаратная выдача сигналов TRS/CTS.

Если модем определяет, что поступает слишком много данных, то он передает к подключенному терминалу символ XOFF, чтобы информировать его о необходимости прекращения передачи символов. Это обычно происходит, когда буфер памяти модема заполнен приблизительно на 66%. Задержка терминалом передачи символов позволяет модему обработать данные, находящиеся в буфере. После того как данные будут обработаны и буфер в памяти опорожнится (приблизительно до 33%), модем передает терминалу символ XON, и передача данных к модему возобновляется. XON и XOFF являются двумя определенными ASCII символами (DC1 и DC3 соответственно).

Сигнализация с помощью символов XON/XOFF работает хорошо только в том случае, если в обычном потоке данных не содержатся эти символы. Они могут привести к проблемам, поэтому должны быть удалены из стандартного потока передаваемой информации и зарезервированы только для целей управления.

ENQ/ACK

Терминал передает к модему управляющий символ ENQ, когда он собирается передать ограниченный блок данных. Если модем готов принимать символы, то он передает символ ACK, который позволяет терминалу начать передачу блока данных. Для следующих блоков данных процесс повторяется.

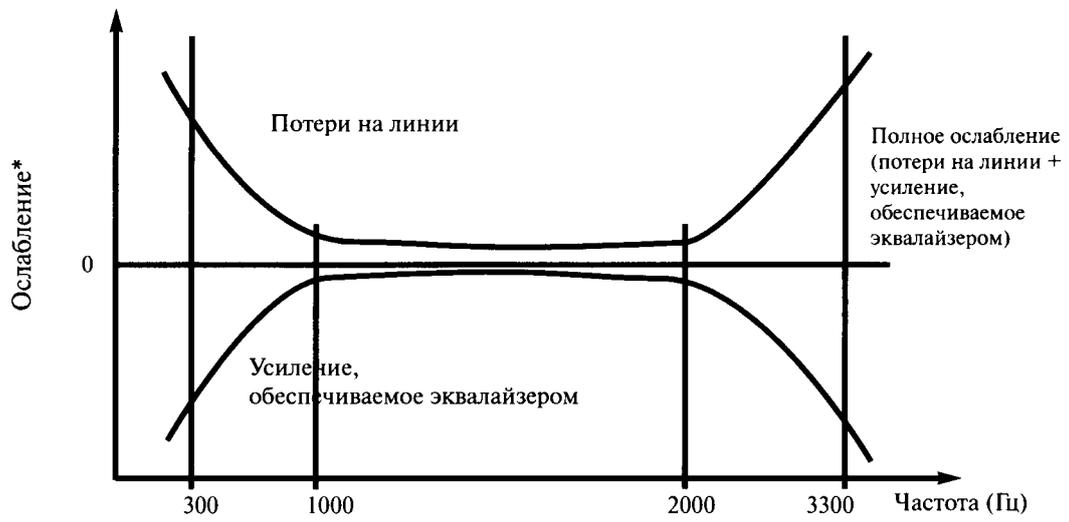
Использование сигналов TRS/CTS

Этот аппаратный способ управления потоком данных является упрощенным вариантом обсужденной процедуры полного аппаратного квитирования. Если терминал хочет передавать данные модему, то он активизирует линию RTS (готовность передачи) и ждет, когда модем активизирует линию CTS (готовность к приему). Если модем не может больше обрабатывать символы, то он выключает (деактивирует) управляющую линию CTS. Тогда терминальное устройство прекращает передачу данных до тех пор, пока снова не будет активизирована линия CTS.

7.6. Искажение сигнала

Имеются две важные причины искажения сигнала во время передачи (как обсуждалось в главе 4): искажения, вызываемые ослаблением, и искажения, вызываемые задержкой огибающей.

Обе формы искажения иллюстрируются рис. 7.7



*Следует отметить, что по оси у представлены наибольшие потери

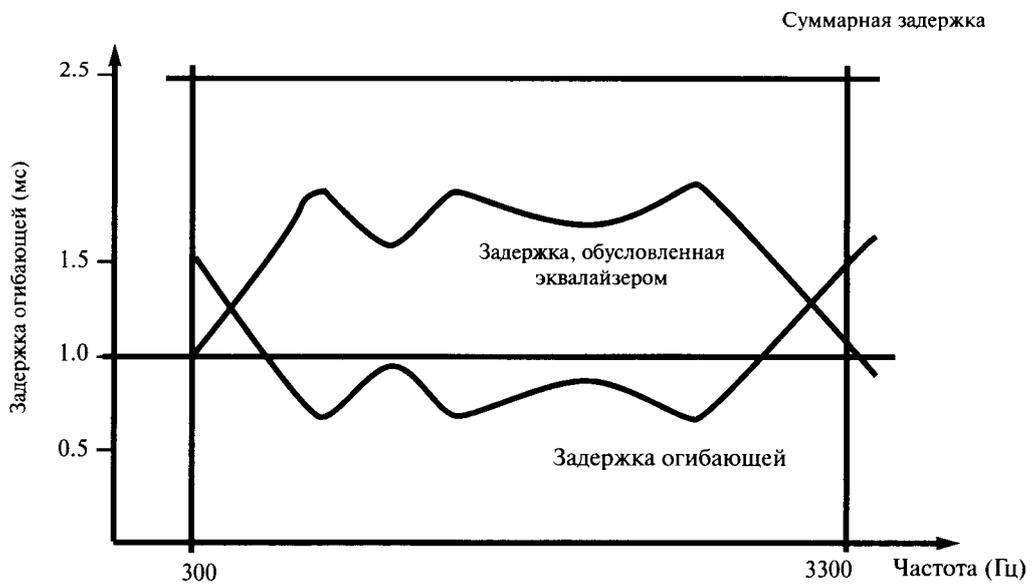


Рис. 7.7. Искажения, вызванные ослаблением и задержкой сигнала

Искажения, вызываемые ослаблением

Искажения, вызываемые ослаблением, указывают на то, что теоретический гладкий график передаваемой мощности в зависимости от частоты на практике не существует. Более высокие частоты имеют тенденцию к большему ослаблению и поэтому на краях рабочего диапазона, или полосы пропускания, ослабление становится нелинейным. Следовательно, эквалайзер вносит компенсацию с равным, но противоположным эффектом, приводя к постоянной суммарной потере во всей полосе пропускания.

Искажения, вызываемые задержкой огибающей

Искажения, вызванные задержкой огибающей, отражают реальную передачу сигналов по линии при нелинейных фазовых искажениях, т.е. при распространении сигнала по каналу связи фаза отдельных компонентов имеет тенденцию изменяться. Фазовая задержка вычисляется путем деления фазы на частоту сигнала в любой точке линии. Наклон графика фазы в зависимости от частоты называется задержкой огибающей. Искажения, вызванные задержкой огибающей, приводят к проблемам, когда две различные частоты (соответствующие биту «1» или «0») начинают взаимодействовать друг с другом на принимающем модеме, что приводит к потенциальной ошибке, называемой «межсимвольное взаимодействие».

7.7. Способы модуляции

Модуляция изменяет **характеристики несущего сигнала, который может быть** представлен синусоидальной волной:

$$F(t) = A \sin (2\pi f t - \Phi_i),$$

где: $F(t)$ - мгновенное значение сигнала в момент времени t ; A - максимальная амплитуда; f - частота; Φ_i - фазовый угол.

Существует несколько способов модуляции:

- амплитудная модуляция (ASK);
- частотная модуляция (FSK);
- фазовая модуляция (PSK);
- квадратурная амплитудная модуляция (QAM).

Амплитудная модуляция (ASK)

Амплитуда несущей сигнала изменяется в соответствии с двоичным потоком поступающих данных. ASK иногда все еще используется при низких скоростях передачи данных, однако при таком способе модуляции имеется трудность в различении сигнала и помехи, поскольку помеха в каналах связи проявляется в виде изменения амплитуды сигнала (рис. 7.8).

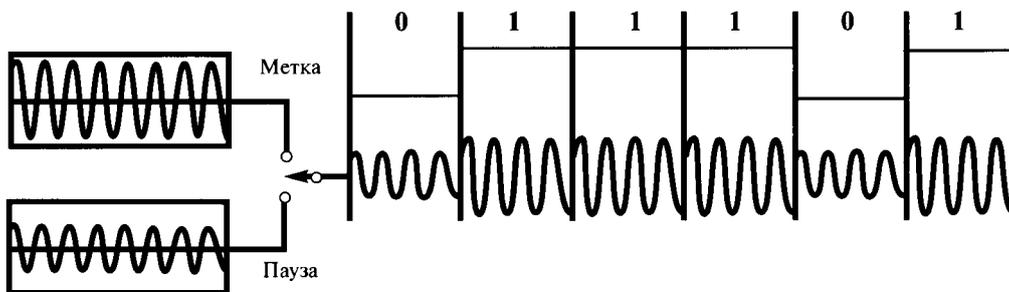


Рис. 7.8. Действие амплитудной модуляции

Частотная модуляция (FSK)

При частотной модуляции логическими 0 и 1 сопоставляются различные частоты. FSK, главным образом, используется модемами, работающими со скоростями передачи данных до 300 бит/с при полнодуплексных режимах и 1200 бит/с при полудуплексных режимах.

В табл. 7.1 приведены совместимые стандарты Bell 103/113 и ITU V.21, Гц.

Стандарт	Исходное сообщение (метка)	Исходное сообщение (пауза)	Ответ (метка)	Ответ (пауза)
CCITT V.21	1270	1070	2225	2025
Bell 103	980	1180	1650	1850

Таблица 7.1. Используемые частоты в модемах CCITT V.21 и Bell System 101/113, Гц

Модемы Bell 103/113 настраиваются либо на исходное сообщение, либо на ответ. Обычно терминалы подключены к модемам исходного сообщения, а главные компьютеры подключены к отвечающим модемам. Несложно организовать связь, когда модемы исходного сообщения подключены к отвечающим модемам, но

одинаково настроенные модемы, например два исходящих модема, подключенные вместе не смогут общаться друг с другом, потому что они настроены на разные частоты.

Поскольку используются две разных полосы частот, в которых работают модемы, то эти модемы допускают полнодуплексную работу. Следует обратить внимание на тот факт, что они попадают в допустимую полосу коммуникационного канала.

Фазовая модуляция (PSK)

Фазовая модуляция – это процесс, при котором изменяется фаза несущей. Существует два типа фазовой модуляции: квадратурная фазовая модуляция (QPSK) и дифференциальная фазовая модуляция (PSK)

Квадратурная фазовая модуляция (QPSK)

В QPSK для кодирования используются четыре фазовых угла:

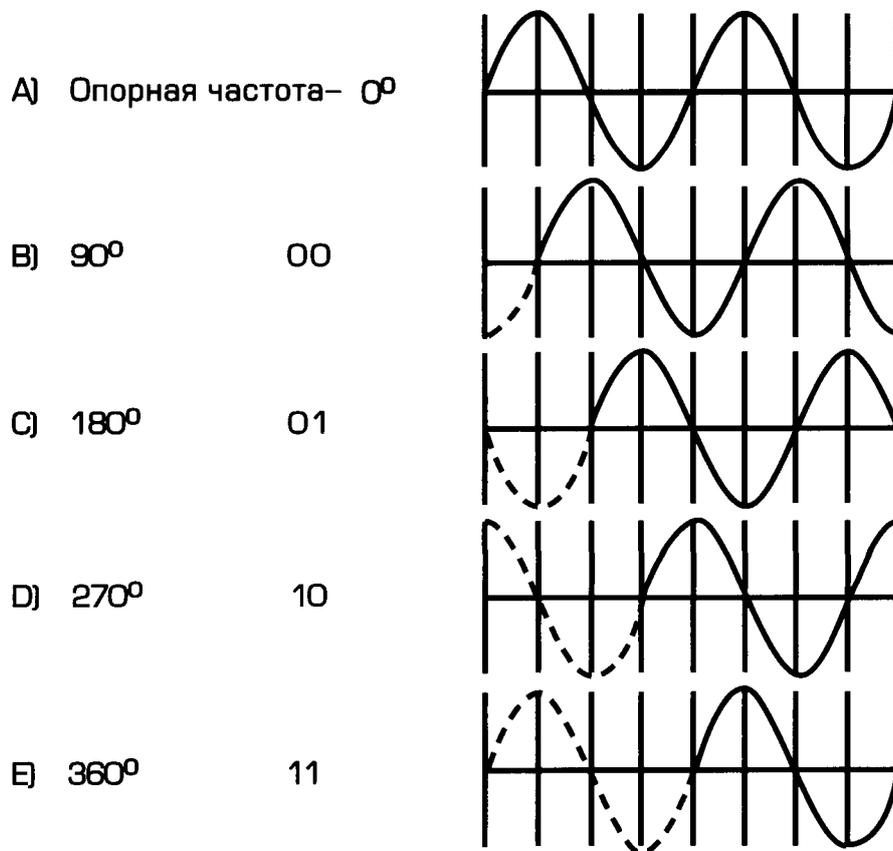


Рис. 7.9. Квадратурная фазовая модуляция

0°, 90°, 180° и 270° .

В любой момент времени возможны четыре фазовых угла, что позволяет основному модулю данных быть 2-битной парой, или дибитом. Недостатком этого подхода является необходимость опорного сигнала, как это показано на рис. 7.9.

Дифференциальная фазовая модуляция

Предпочтительнее использовать дифференциальную фазовую модуляцию, при которой фазовый угол для каждого периода вычисляется по отношению к предыдущему циклу, как показано на рис. 7.10.

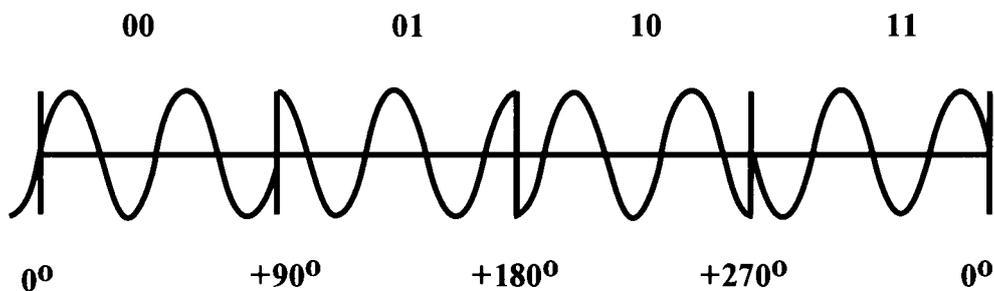


Рис. 7.10. Дифференциальная фазовая модуляция

При использовании для каждого фазового сдвига двух битов скорость модуляции 600 бод обеспечивает скорость передачи данных 1200 бит/с.

Типичное соответствие дибитов (двухбитовых кодов) для каждого изменения фазы показано в табл. 7.2.

Дибит	Фазовый сдвиг, градусы
00	0°
01	90°
10	180°
11	270°

Таблица 7.2. Соответствие дибитов разным фазовым сдвигам

Квадратурная амплитудная модуляция (QAM)

Чтобы получить QAM, можно скомбинировать два параметра синусоидального сигнала – амплитуду и фазу. QAM позволяет использовать 4 бита, чтобы кодировать каждое изменение амплитуды и фазы, поэтому сигнал 2400 бод обеспечит скорость передачи данных 9600 бит/с. Первая реализация QAM предусматривала 12 значений фазового угла и три значения амплитуды.

QAM использует также два несущих сигнала. Для передачи потока последовательных данных кодирующее устройство использует 4 бита, что приводит к появлению косинусоидальной несущей (синфазной, IP) и синусоидальной волн, которые служат в качестве квадратурной компоненты (QC) модулируемого сигнала. Затем передаваемый сигнал изменяется по амплитуде и фазе, приводя к показанному выше набору точек.

Решетчатое кодирование

QAM модемы подвержены воздействию помех, следовательно, была введена новая технология, называемая **решетчатым кодированием**. Решетчатое кодирование обеспечивает скорости от 9600 до 14400 бит/с по обычной телефонной сети и 14400 бит/с и выше по хорошим выделенным линиям. Чтобы минимизировать количество ошибок, возникающих при воздействии помех, кодирующее устройство добавляет к каждому символьному интервалу бит избыточного кода.

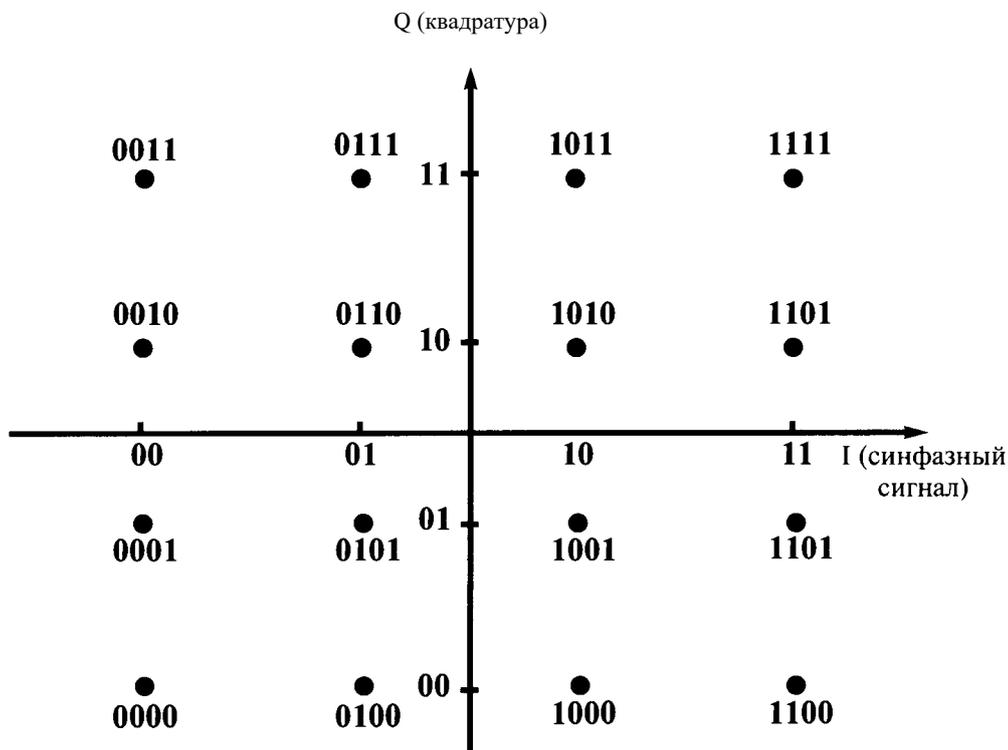


Рис. 7.11. Квадратурная амплитудная модуляция CCITT V.22bis

Действительными являются только некоторые последовательности. Если на линии имеются помехи, которые приводят к тому, что принятые последовательности отличаются от переданных, приемник будет выбирать действительную сигнальную точку, ближайшую к наблюдаемому сигналу без необходимости повторной передачи поврежденных данных.

Обычный QAM модем, который может потребовать повторную передачу от 1 до 10 блоков данных, может быть заменен модемом с решетчатым кодированием, в котором может оказаться лишь один испорченный блок данных из 10000 блоков.

7.8. Компоненты модема

Компоненты, из которых состоит модем, показаны на рис. 7.12.

Все компоненты модема можно разделить на две части: передатчик модема и приемник модема

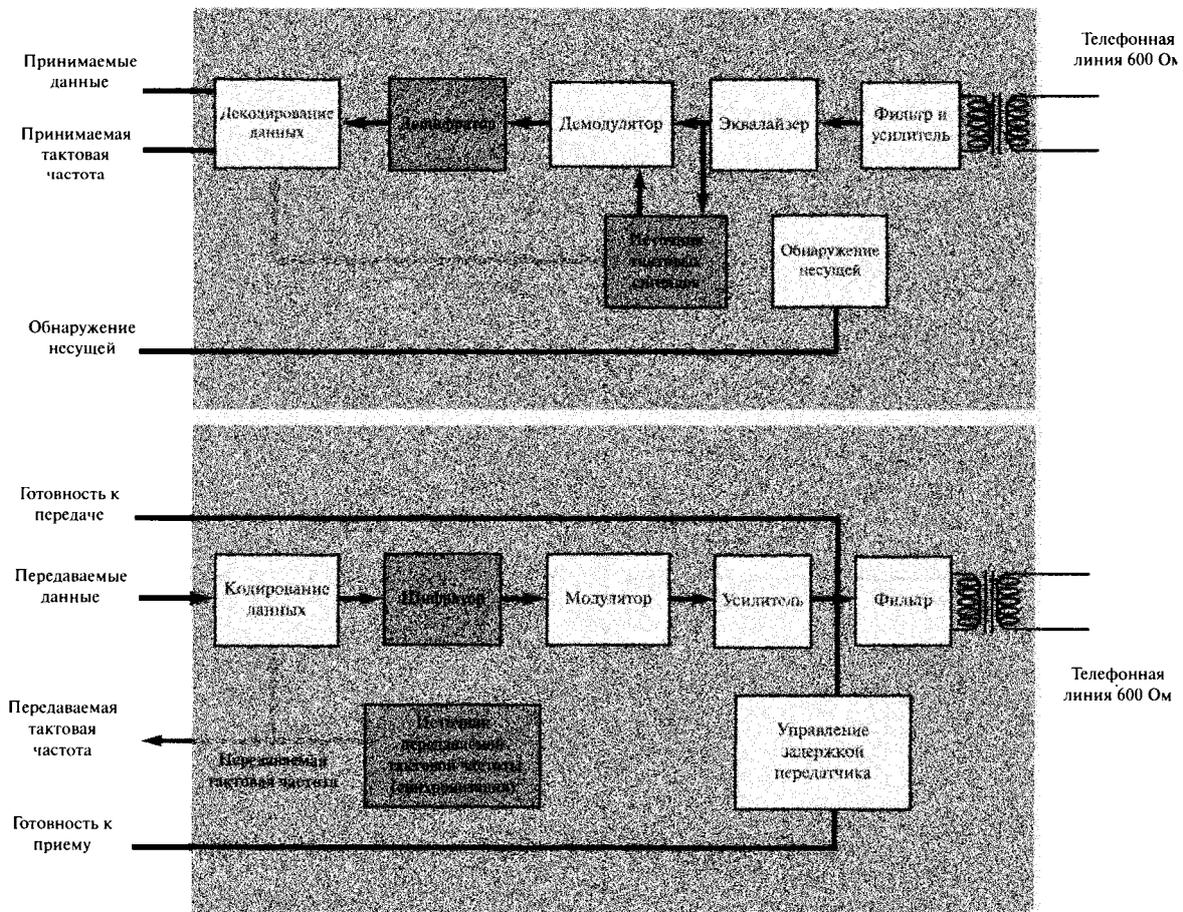


Рис. 7.12. Основные компоненты модема

Передатчик модема

Передатчик модема состоит из следующих узлов:

- устройство кодирования данных;
- шифратор;
- модулятор;
- усилитель.

Устройство кодирования данных

Устройство кодирования данных принимает последовательный поток битов и использует многоуровневое кодирование, при котором каждое изменение сигнала представляет несколько битов данных. В зависимости от используемого способа модуляции скорость в битах может быть вдвое, вчетверо и даже в большее число раз выше, чем скорость в бодах.

Шифратор

Шифратор используется только при синхронной передаче. Он модифицирует поток данных таким образом, чтобы не было длинных последовательностей 0 и 1. Длинные последовательности 0 и 1 трудно использовать в синхронных схемах из-за проблем, которые возникают при извлечении информации.

Модулятор

Поток битов преобразуется в подходящую аналоговую **форму** с помощью выбранного способа модуляции. Когда с принимающим модемом устанавливается начальный контакт, на линии появляется несущая.

Усилитель

Усилитель увеличивает уровень сигнала до приемлемого значения, подходящего для телефонной линии, и производит согласование с волновым сопротивлением линии.

Приемник модема

Приемник модема состоит из следующих узлов:

- фильтр и усилитель;
- эквалайзер;
- демодулятор;
- дешифратор;

- устройство декодирования данных.

Фильтр и усилитель

Из сигнала производится удаление помех и усиление результирующего сигнала.

Эквалайзер

Эквалайзер уменьшает влияние ослабления на различные частотные компоненты переданного сигнала. Предопределенный модулированный сигнал, называемый настроечным сигналом, посылается по линии передающим модемом. Принимающий модем знает идеальные характеристики настроечного сигнала, поэтому эквалайзер подстраивает свои параметры таким образом, чтобы скорректировать ослабление и задержки сигнала.

Демодулятор

Демодулятор извлекает поток битов из аналогового сигнала.

Дешифратор

Дешифратор используется только при синхронной работе. Дешифратор восстанавливает исходный вид данных, после того, как они были закодированы шифратором, который преобразовывал длинные последовательности 1 и 0.

Устройство декодирования данных

Устройство декодирования данных воспроизводит окончательный поток битов в формате RS-232.

7.9. Типы модемов

В настоящее время существуют два типа проводных модемов:

- непрограммируемые, или неинтеллектуальные, модемы;
- программируемые модемы (стандартные модемы).

Непрограммируемые модемы

Использование непрограммируемых, или неинтеллектуальных, модемов зависит от компьютера, к которому они подключаются и который инструктирует модем о том, как выполнять большинство задач, таких как ответ на телефонный вызов.

Программируемые модемы

Программируемые модемы имеют встроенный микропроцессор, позволяющий выполнять такие функции, как автоматический набор номера и выбор подходящего типа модуляции.

Как определено стандартом RS-232, любое взаимодействие между традиционным непрограммируемым модемом и компьютерным оборудованием происходит путем обмена сигналами по проводам. Например, если контакт 20 (DTR) не активизирован, то модем отключен. Однако программируемый модем взаимодействует с периферий-

ным оборудованием путем обмена ASCII символами. Программируемый модем справляется и с такими сложными задачами, как автоматический ответ на телефонный вызов и способен ответить на конкретный звонок. Стандартом de facto стали Hayes-модемы.

Hayes-модем использует минимальное количество функций RS-232, необходимых для полдуплексного управления. Подключения RS-232 производятся через разъем DB-25S (гнезда).

Интеллектуальный модем имеет три состояния:

- Состояние подключения к линии (онлайнный режим).
- Командное состояние.
- Неактивное состояние.

Состояние подключения к линии

Состояние подключения к линии имеет место всякий раз, когда интеллектуальный модем имеет связь с другим модемом. В этом состоянии он ведет себя, как обычный модем, передавая все входные сигналы RS-232 непосредственно к передатчику.

Командное состояние

Считается, что интеллектуальный модем, не будучи подключенным к линии, находится в командном состоянии, и все данные интерфейса RS-232 обрабатываются как потенциальные команды. Обычно при включении модем находится в командном состоянии.

Неактивное состояние

Неактивным состоянием является такое состояние, когда контакт DTR не активирован, и модем не подтверждает команды, не участвует в наборе номера и не проявляется никаким другим образом.

Интеллектуальные модемы обычно не используют DIP переключатели для выбора опций, поскольку все опции и команды реализуются программным образом. В командном состоянии интеллектуальный модем контролирует байты, поступающие с порта RS-232, и отслеживает конкретные последовательности символов, называемые идентификаторами командных последовательностей. После того как интеллектуальный модем выполнит команды, содержащиеся в его буфере команд, он реагирует выдачей своих собственных ASCII символов.

Имеются два общих класса команд: команды режима и команды числового регистра

Команды режима

Существуют четыре базовых набора команд режима:

- Группа интерфейса пользователя.
- Первичная группа ответ/набор номера.
- Группа ответ/набор номера.
- Прочие команды.

Группа команд интерфейса пользователя изменяет способ взаимодействия программируемого модема с пользователем и активизирует команды, которые изменяют, например, настройку уровня громкости динамика.

Первичная группа команд ответ/набор номера управляет процессом набора с помощью таких команд, как ответ, набор и отбой.

Группа команд ответ/набор номера влияет на характеристики первичных команд набора, например задание паузы.

Группа прочих команд работает с такими функциями, как управление собственной несущей и сброс модема.

Команды числового регистра

Вторым классом является числовой класс, который устанавливает 13 регистров состояния (от S0 до S12). Другие современные модемы используют большее количество регистров. Имеются также три отображаемых регистра (S13, S14 и S15). Они позволяют программисту запрашивать состояние внутренних переменных интеллектуального модема, командные флаги и текущий формат данных.

Регистры состояния

Для установки и чтения регистров состояния интеллектуальные модемы используют ATS команды. Типичный набор S-регистров интеллектуального модема представлен ниже.

S0	Количество звонков перед ответом	Определяет количество звонков перед ответом
S1	Счетчик поступающих звонков	Используется с регистром S0 для подсчета поступающих звонков
S2	Код символа ESCAPE	Используется для переключения к онлайн-командному состоянию и для окончания тестовых последовательностей; не может быть заменен ни на какой другой ASCII символ
S3	Символ возврата каретки (CR)	Содержит значение символа возврата каретки
S4	Символ перевода строки (LF)	Содержит значение символа перевода строки, используемого в командном режиме
S5	Символ BACKSPACE	Содержит значение символа BACKSPACE, используемого в

		командном режиме. Некоторые системы могут требовать использования других значений, например кода DEL (7F)
S6	Время ожидания гудка	Устанавливает время, которое будет использоваться для ожидания гудка при инициации вызова
S7	Время одной попытки при наборе	Устанавливает время ожидания модемом несущей после затребования соединения. Если в течение этого периода несущая не принимается, модем производит отбой и переходит в командный режим
S8	Продолжительность паузы	Устанавливает время задержки, используемое для паузы при наборе во время инициализации вызова
S9	Время определения несущей	Устанавливает время определения несущей, после которого производится переключение сигнала из ВЫКЛЮЧЕНО во ВКЛЮЧЕНО
S10	Время определения несущей	Устанавливает максимальное время восстановления несущей, прежде чем модем отключится от линии. Если S10 = 0, то модем будет удерживать линию бесконечно долго
S11	Не используется	
S12	Пауза для передачи ESCAPE последовательности	Пауза, необходимая перед ESCAPE последовательностью и после нее
S13	Не используется	
S14	Не используется	

S15	Регистр состояния	<p>Сохраняет состояние сигналов модема. Этот регистр используется при настройке модема и сетевыми администраторами для удаленной проверки модема. Используется только для чтения.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Бит</th> <th>Состояние</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>RTS</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>CTS</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DSR</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DCD</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>DTH</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>OH</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>TEST</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>RLSD (несущая)</td> </tr> </tbody> </table>	Бит	Состояние	0	RTS	1	CTS	2	DSR	3	DCD	4	DTH	5	OH	6	TEST	7	RLSD (несущая)
Бит	Состояние																			
0	RTS																			
1	CTS																			
2	DSR																			
3	DCD																			
4	DTH																			
5	OH																			
6	TEST																			
7	RLSD (несущая)																			
S16	Не используется																			
S17	Время ожидания данных	Если модем не передает и не получает данные в течение времени, установленного в регистре S17, то модем отключается от линии и возвращается в командный режим. Установка S17 в «0» отключает эту функцию																		
S18	Продолжительность диагностики модема	Устанавливает время, в течение которого будет включена диагностика. При установке 0 диагностика будет продолжаться до тех пор, пока оператор не выдаст команду окончания																		
S19	Счетчик ошибочных битов при диагностике	Сохраняет количество ошибочных битов при выполнении местной и удаленной диагностики. Максимальное возвращаемое количество составляет 255, даже если количество ошибок будет превышать это число																		
S20	Счетчик переданных битов при тестировании	Сохраняет суммарное количество переданных битов (Ч10000) при																		

		выполнении местного и удаленного тестирования. Раздел о диагностике показывает, как использовать регистры S19 и S20 для вычисления частоты ошибок по битам (BER)
S21 – S24	Не используется	
S25	Задержка сигнала DTR	Устанавливает время ожидания модема, прежде чем он отключится после потери DTR (см. AT&D2)
S26	Не используется	
S27	Количество успешных соединений	Записывает количество успешных соединений после сброса регистра S27. Вместе с регистрами S28 и S29 эта информация используется сетевым администратором для статистики. Максимальное возвращаемое количество составляет 255, даже если реальное количество превышает это число
S28	Количество неудачных попыток соединений	Записывает количество неудачных попыток подключений после сброса регистра S28. Максимальное возвращаемое количество составляет 255, даже если реальное количество превышает это число
S29	Количество неудачных попыток доступа	Записывает количество неудачных подключений вследствие недействительности регистрации, произошедших после сброса регистра S29. Максимальное возвращаемое количество составляет 255, даже если реальное количество превышает это число

S30 – S31	Не используется	
S32	Значение отклика АТЮ	Содержит идентификационный код модели модема. Этот регистр определяет ответ, возвращаемый на команду запроса (АТI)
S33	ESCAPE последовательность дистанционной конфигурации	Используется администраторами сети и обслуживающими специалистами для удаленного конфигурирования модема. Модем отслеживает принимаемые данные на предмет наличия ESCAPE последовательности (+++) и паузы, необходимой для передачи ESCAPE последовательности (S12). При их обнаружении предоставляется доступ для удаленного конфигурирования. Если S33 больше 127, то удаленное конфигурирование выключается.
S34	Не используется	
S35	Время задержки повторной регистрации	Регистр S35 устанавливает время после отбоя, спустя которое возможен повторный звонок; это время больше времени задержки для некоторых телефонных соединений

7.10. Радиомодемы

Радиомодемы используются для замены проводных линий в удаленных местах или в качестве обратной связи для проводных или оптоволоконных линий. Радиомодемы предназначены для простой связи компьютеров и PLC по радиоканалу без необходимости особой модернизации (рис. 7.13).

Современные радиомодемы работают в диапазоне от 400 до 900 МГц. Для распространения волн в этом диапазоне и обеспечения надежной связи необходима прямая видимость между передающей и приемной антеннами. Радиомодемы могут работать и в сети, но для доступа к сети и обнаружения ошибок требуются специальные управляющие программы (протоколы). Часто главная станция, допускающая перенастройку во время работы, связывается с несколькими радиостанциями. Протокол для этих применений может использовать простой способ запроса/ответа.

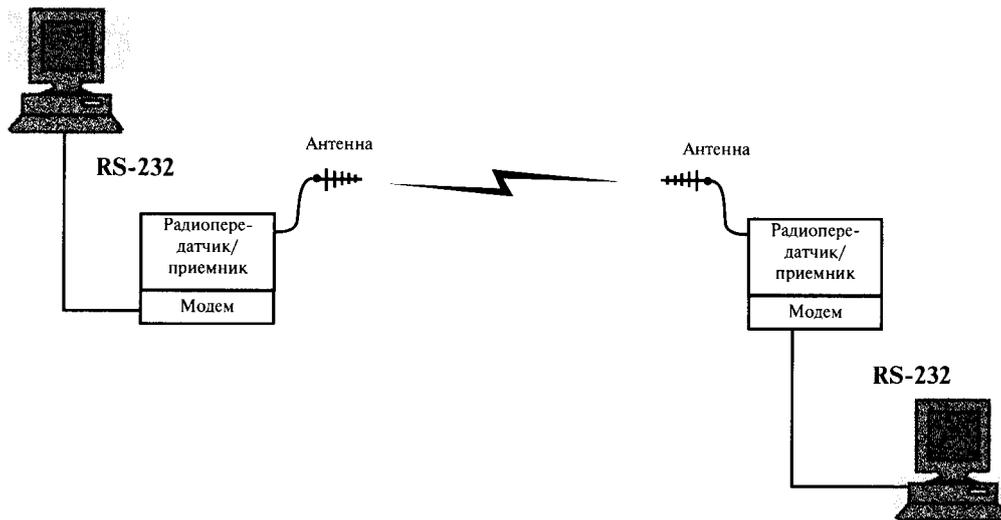


Рис. 7.13. Конфигурация радиомодема

Более сложные коммуникационные сети с равноправными узлами требуют протокола, основанного на множественном доступе с контролем несущей и обнаружением конфликтов (CSMA/DA). В качестве варианта стандартного подхода можно использовать один радиомодем в качестве сторожевого устройства, периодически опрашивающего все радиомодемы сети и проверяющего их работоспособность. Радиомодем можно также использовать в качестве релейной станции для связи с другими системами, которые находятся вне диапазона действия главной станции.

Радиомодемы обычно используют интерфейс RS-232, но возможны RS-422, RS-485 и оптоволокно. Обычная скорость передачи составляет 9600 бит/с. Для модемов необходим буфер, который обычно имеет емкость около 32 кБ. Аппаратное и программное управление потоком обычно обеспечивает встроенная в модем программа, обеспечивающая отсутствие потерь данных между радиомодемом и подключенным терминалом.

В качестве способа модуляции чаще всего используется двухуровневая прямая фазовая модуляция (от 1200 до 4800 бит/с) или трехуровневая прямая фазовая модуляция (9600 бит/с).

Типичная схема радиомодема приводится на рис. 7.14.

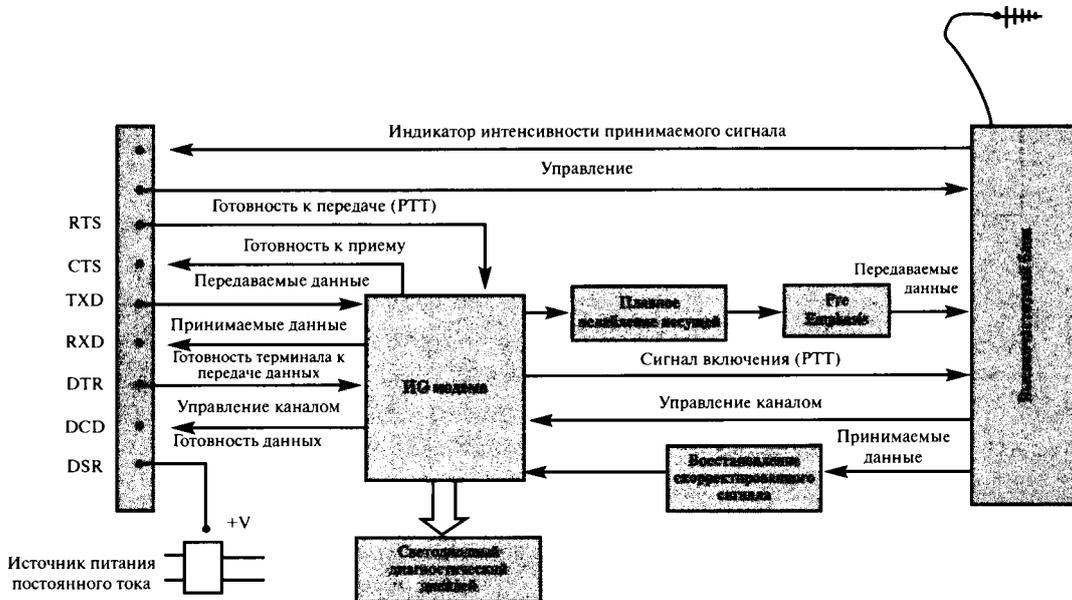


Рис. 7.14. Блок-схема типичного радиомодема (Pre Emphasis – Предварительная коррекция)

Для радиомодемов используются следующие обозначения:

РТТ	Сигнал включения
РССИ	Индикатор интенсивности принимаемого сигнала – указывает величину принимаемого сигнала с помощью пропорционально изменяющегося постоянного напряжения
Шумо-подавление	Минимизация принимаемых шумовых сигналов на выходе дискриминатора
Пороговое подавление сигнала	Включает приемный аудиоканал, когда величина сигнала высокочастотной несущей имеет достаточно высокий уровень
Управление каналом	Указывает на то, что канал открыт
Плавное ослабление несущей	Позволяет высокочастотной передаче длиться несколько больше после окончания передачи данных, что позволяет избежать импульсов помех, которые возникают при отключении

чении несущей, при этом схема шумоподавления одновременно отключает канал

RTS,
CTS,
DCD,

тактовая частота,
передаваемые данные,
принимаемые данные

Эта терминология относится к интерфейсу RS-232

Система синхронизации радиомодема показана на рисунке 7.15

Передача данных начинается с того, что на стороне удаленного терминала становится активной линия RTS. Затем радиомодем активизирует линию CTS, чтобы указать на возможность передачи. В конце передачи сигнал PTT удерживается активным, чтобы обеспечить возможность принимающей стороне обнаружить остальные полезные данные, прежде чем будет выключена высокочастотная несущая.

Режимы работы радиомодемов

Радиомодемы могут работать в двух режимах: от точки к точке и от точки к нескольким точкам.

Передача от точки к точке может производиться в непрерывном радиочастотном режиме, который имеет минимальную задержку включения при передаче данных, и в чередующемся режиме, при котором достигается экономия энергии. Задержка между импульсами RTS и CTS для непрерывной и выключаемой несущей обычно составляет около 10 и 20 мс соответственно.

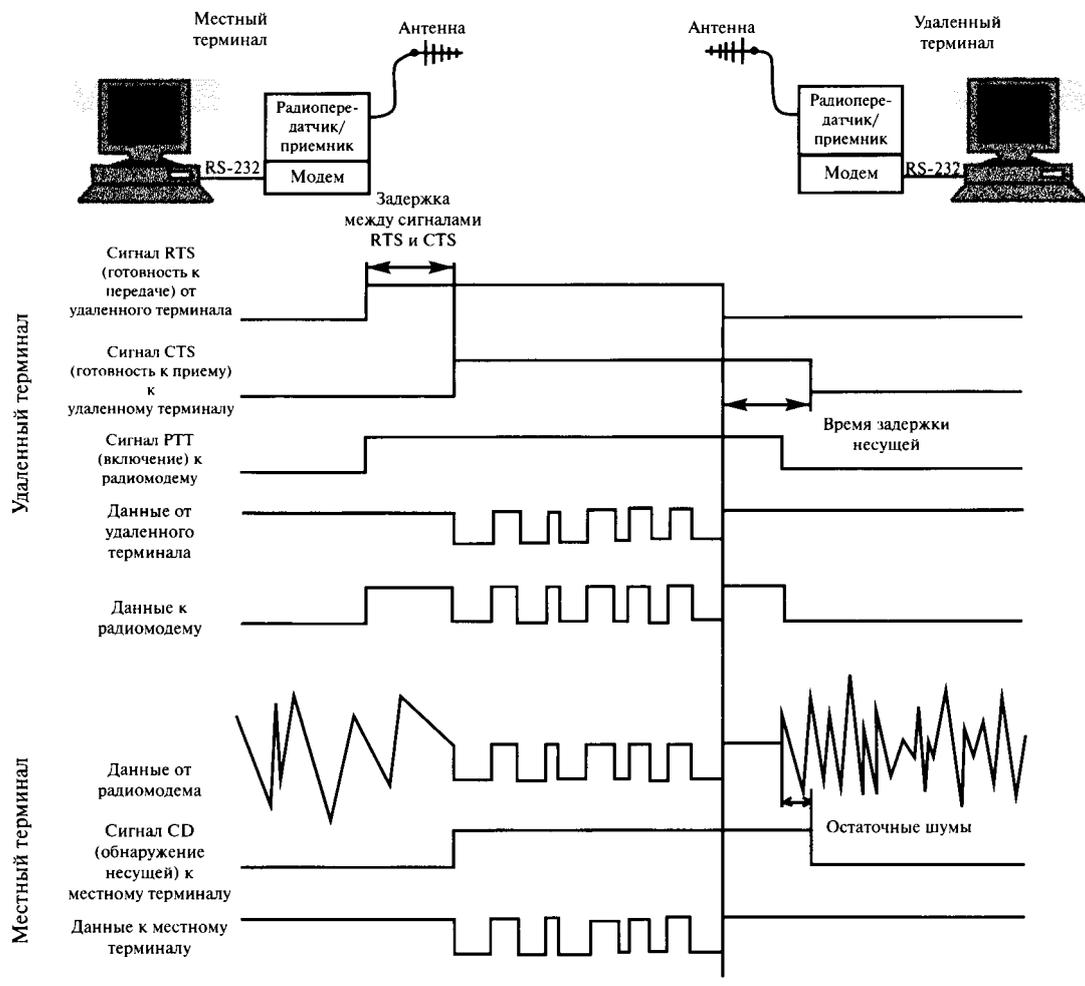


Рис. 7.15. Система синхронизации радиомодема

Режим передачи от точки к нескольким точкам обычно используется только для работы главного радиомодема с одним из остальных модемов.

В многоточечной системе, когда канал передачи данных содержит повторитель, должна производиться регенерация данных, чтобы устранить искажение сигнала и его дрожание. Для голосовых систем, где небольшие ошибки приемлемы, регенерация сигнала не требуется.

Регенерация производится путем прохождения радиосигнала через модем, который преобразует высокочастотный аналоговый сигнал обратно в цифровую форму и затем направляет этот выходной поток двоичных данных на другой передающий модем, ко-

торый повторяет передачу высокочастотного аналогового сигнала, отправляя его в другое место (рис. 7.16).

Параметры радиомодема

Радиомодем обычно требует настройки следующих параметров:

- Частота радиоканала передачи/приема.
При передаче от точки к точке, работающей в режиме двойной частоты/разделения каналов, оба радиомодема работают на противоположных частотах.
- Формат и скорость передачи главного радиомодема.
Скорость передачи данных, размер символа, тип четности и количество стоповых битов для интерфейса RS-232.
- Скорость передачи радиоканала.
Скорость передачи данных по радиоканалу определяется возможностями радиомодема и шириной полосы. Следует отметить, что эти параметры устанавливаются на заводе-изготовителе.
- Минимальный уровень радиосигнала.
Минимальный уровень радиосигнала не должен устанавливаться на приемнике слишком низким, в противном случае будут приниматься шумовые сигналы.

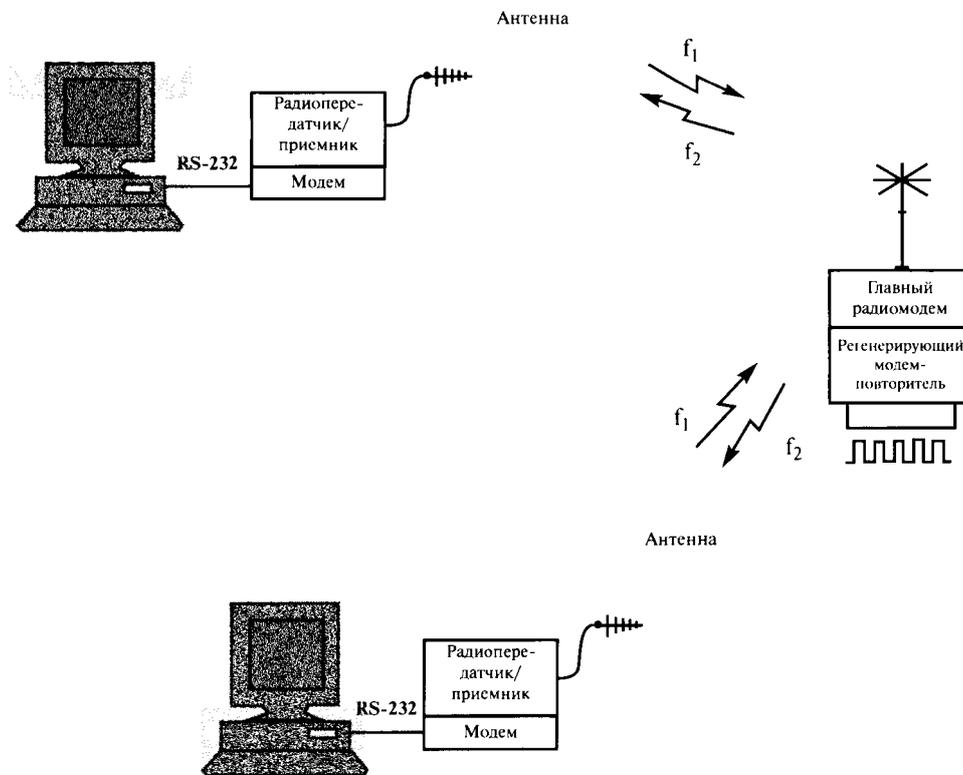


Рис. 7.16. Регенерация сигнала с помощью радиомодема

- Скорость передачи управляющих данных канала.
Используется для управления потоком и, следовательно, не должна устанавливаться слишком низкой, в противном случае переполнится буфер приемника. Обычно берется один бит управления потоком на 32 бита последовательных данных.
- Задержка передатчика.
Время, необходимое передатчику на включение и переход в стабильное состояние, прежде чем полезные данные будут передаваться по радиоканалу. Задержка включения передатчика должна быть установлена минимальной, чтобы уменьшить время передачи служебных сигналов.

Радиомодемы с расширенным спектром

Несколько стран в мире определили диапазон для использования радиомодемов с расширенным спектром. В Австралии и Америке этот диапазон равен 900 МГц.

Если кратко, то модему отводится очень широкополосный канал, приблизительно 3,6 МГц. Передатчик использует псевдослучайный код для размещения отдельных битов или групп битов по всей ширине диапазона, а приемник использует тот же код для их приема. Поскольку коды случайны, то несколько передатчиков могут работать на одном канале, а совпадение битов будет восприниматься приемником, как шум.

Преимуществом радиомодемов с расширенным спектром являются очень высокие степень безопасности данных и скорость передачи до 19,2 кбит/с. Недостатком является неэффективное использование полосы.

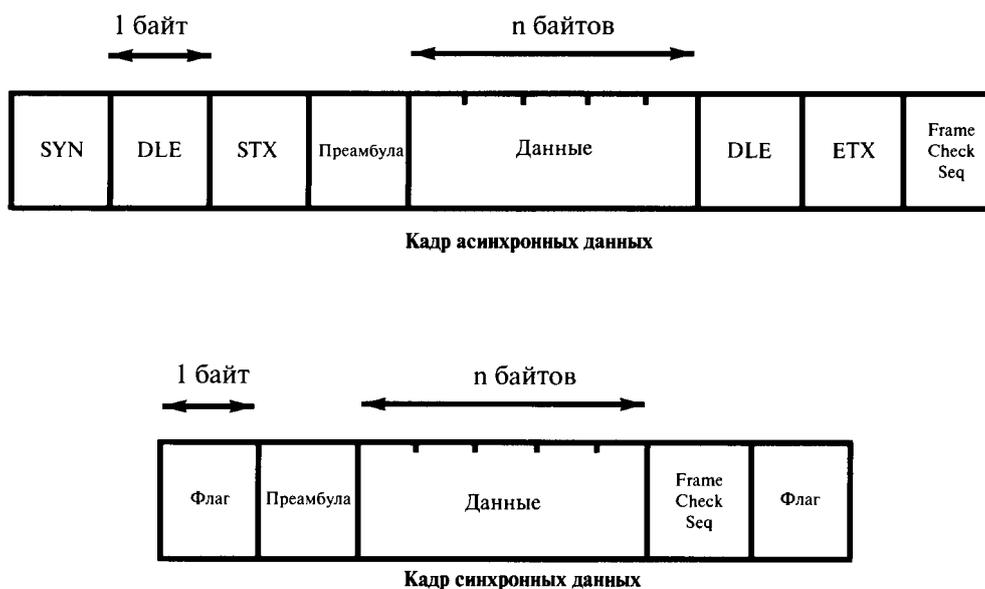


Рис. 7.17. Асинхронный и синхронный форматы кадра MNP

SYN – Синхронизация
DLE – Символ смены канала данных
STX – Символ начала текста
ETX – Символ конца текста
FrameCheck Seq – Последовательность контроля кадра

71.1. Обнаружение/коррекция ошибок

Раньше наиболее распространенным способом обнаружения ошибок был контроль с помощью циклического избыточного кода (CRC), особенно CRC-16. Подробно контроль CRC-16 обсуждается в главе 4. К сожалению, разные производители используют различные модификации CRC контроля, которые привели к несовместимости разных продуктов. Появление сетевого протокола Microcom (MNP), разрешенного к использованию другим производителям, привело к разработке стандарта.

Классы протокола MNP

Протокол MNP определяет систему обнаружения и исправления ошибок путем повторной передачи между модемами.

Существует девять классов протоколов MNP, определенных в табл. 7.3, которые охватывают все варианты передач. Интеллектуальные модемы программируются таким образом, чтобы пытаться произвести MNP соединение максимального класса,

Класс MNP	Асинхронная / синхронная передача	Полудуплекс или полный дуплекс	Эффективность	Описание
1	Асинхронная	Полудуплекс	70%	Байт-ориентированный протокол
2	Асинхронная	Полный дуплекс	84%	Байт-ориентированный протокол
3	Синхронная	Полный дуплекс	108%	Бит-ориентированный протокол; связь между (ПК) терминалом и модемом асинхронная
4	Синхронная	Полный дуплекс	120%	Адаптивная сборка пакетов (при возможности используются большие пакеты данных). Оптимизация фазы данных (устранение непроизводительных служебных издержек)
5	Синхронная	Полный дуплекс	200%	Коэффициент сжатия данных от 1,3 до 2,0
6	Синхронная	Полный дуплекс	—	Универсальное согласование связи 9600 бит/с V.29 позволяет модемам настроить максимальную скорость передачи и использовать статистическое мультиплексирование
7	Синхронная	Полный дуплекс	—	Кодирование Хаффмена (улучшенное сжатие данных) уменьшает количество передаваемых данных на 42%
8	Синхронная	Полный дуплекс	—	К классу 7 добавлена технология Train Modem CCITT V.29
9	Синхронная	Полудуплекс с эмуляцией полного дуплекса	—	Улучшенное сжатие данных CCITT V.32 + Класс 7. Выборочная повторная передача пакетов с ошибочными данными

Таблица 7.3. Классы MNP протоколов

который поддерживают оба модема. Начальный кадр, называемый *запросом канала*, применяется для установления стандартов, которые будут использоваться при передаче данных. Если MNP соединение произвести не удастся, то используется обычный режим без обнаружения и исправления ошибок, а также без сжатия данных.

Модемный протокол доступа к каналу связи (LAP-M)

В соответствии с рекомендациями ИТУ-T V.42 этот протокол считается основным методом обнаружения и исправления ошибок. MNP обнаружение и исправление ошибок является вторичным механизмом.

7.12. Технологии сжатия данных

Сжатие данных используется для достижения более высоких эффективных скоростей передачи данных и уменьшения времени передачи.

Наиболее распространенными методами сжатия данных являются технологии от Adaptive Computer Technology (ACT) и MNP класса 5 и 7 компании Microcom. В 1990 году ССИТТ опубликовала стандарт V.42 bis, который определяет новый способ сжатия, известный как метод Лемпеля-Зива (Lempel-Ziv).

Ниже обсуждаются следующие стандарты сжатия данных:

- MNP класс 5
- MNP класс 7, Хаффмен
- V.42 bis, Лемпель-Зив

Стандарт сжатия MNP класс 5

MNP-5 состоит из двух процессов:

- кодирование повторов;
- адаптивное частное кодирование.

Кодирование повторов (RLE)

Первые три байта указывают начало последовательности, использующей кодирование повторов. Следующий байт является счетчиком повторов битов, причем максимальное количество битов составляет 250. При наличии участков с одинаковыми битами этот способ резко уменьшает суммарное количество битов данных.

По существу, подсчитывается количество последовательных одинаковых битов, которые кодируются, например, в виде восьмибитового символа, и затем этот символ передается.

Сжатие данных широко используется в факсовых аппаратах. Например, в машинах Группы 3, стандартный лист бумаги А4 может быть оцифрован по вертикали с частотой 100 строк на дюйм, при этом получится 1100 строк, а по горизонтали каждая строка может быть оцифрована с разрешением 1700 бит/строку.

Суммарный размер файла = 1700 бит/строку X 1100 строк = 1,87 Мбит

Принимая, что этот файл передается с помощью модема со скоростью 2400 бод, время передачи одной минуты текста составит 779 с. Однако на практике время передачи одной страницы составляет от 30 до 60 с, и для достижения таких результатов используется сжатие данных.

Перед отправкой битов данных микропроцессор факсового аппарата может обработать их и с помощью алгоритма сжатия данных уменьшить количество битов.

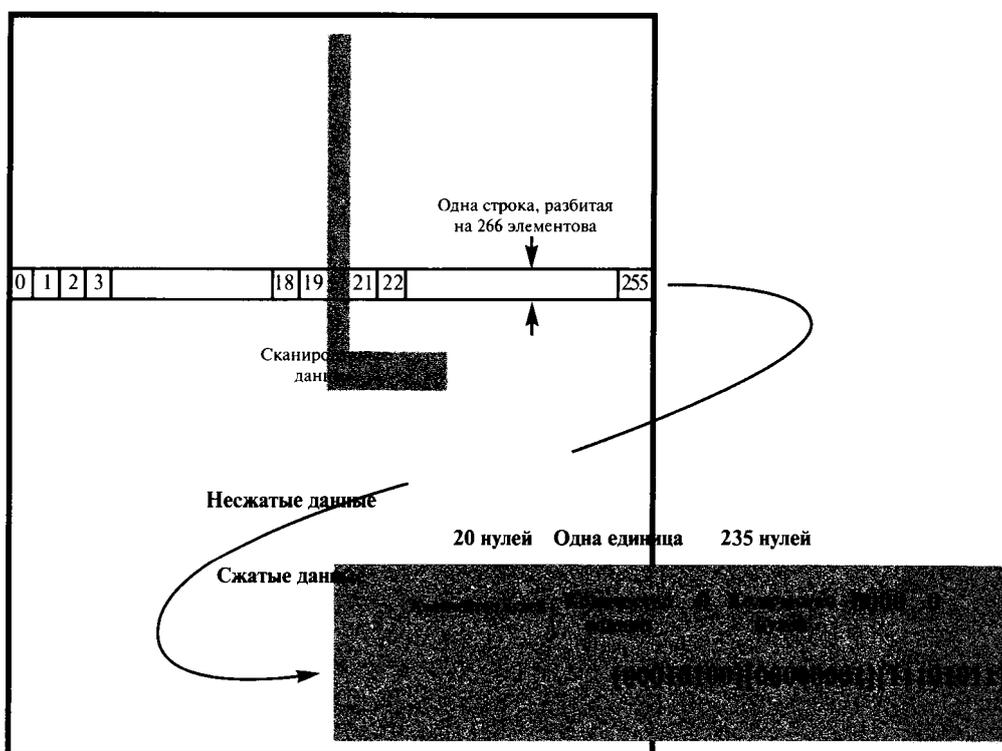


Рис. 7.18. Технологии сжатия данных в применении к строке сканирования

Адаптивное частотное кодирование

В технологии адаптивного частотного кодирования маркер сжатия заменяется фактическим переносимым байтом. Укороченные маркеры заменяются более часто встречающимися байтами данных. Маркер сжатия состоит из двух частей:

- префикса (заголовка) фиксированной длины (3 бита), который указывает длину основы (тела);
- основы переменной длины.

При инициализации сжатия для каждого байта от 0 до 255 создается таблица. Чтобы закодировать байт данных, маркер, которому он соответствует, заменяется байтом фактических данных из потока данных. Частота появления байта текущих данных увеличивается последовательно на единицу. Если частота появления текущего байта

данных больше следующего, наиболее часто появляющегося байта данных, то эти два маркера обмениваются. Этот процесс сравнения повторяется для следующего наиболее часто встречающегося байта данных, и маркеры снова обмениваются.

MNP класс 7 – улучшенное сжатие данных

Протокол MNP класс 7 сочетает кодирование повторов с адаптивной таблицей кодирования. Эта таблица используется для предсказания вероятности появления символа, основанной на значении предыдущего символа. Для каждого 8-битового набора хранится до 256 (28) таблиц кодирования. Все символы организуются в соответствии с правилами кодирования Хаффмана.

Кодирование Хаффмана (Huffman)

Кодирование Хаффмана основывается на том, что некоторые символы встречаются чаще других. Код Хаффмана определяется путем вычисления частоты появления каждого символа в наборе символов, используемых при передаче данных.

При вычислении кодов Хаффмана необходимо выполнить следующие пункты:

- Перечислить рядом с каждым из используемых символов вероятность его появления в сообщении. Сумма всех вероятностей должна быть 1. Например, символы A, X, Y, Z используются с вероятностями появления, указанными в скобках: A(0,2), X(0,1), Y(0,4), Z(0,3).

Примечание. Сумма всех вероятностей должна равняться единице.

- Написать символы в порядке возрастания вероятности их появления.

Сложить две наименьших вероятности и получить два новых узла с суммой вероятностей, как показано на рис. 7.19.



Рис. 7.19. Узел первого поколения

- Повторить этот процесс с новым созданным узлом и узлом, находящимся левее по величине вероятности.
- Повторить этот процесс до полного завершения. Результат представлен на рис. 7.20.

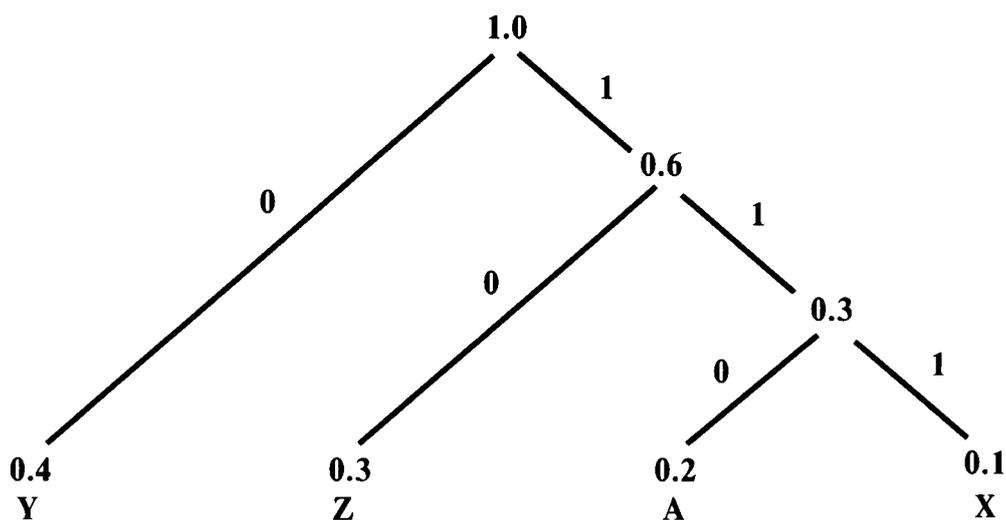


Рис. 7.20. Второй и третий узлы

- Сопоставить единицу (1) ветвям, отходящим в одну сторону, как показано выше, и нуль (0) остальным ветвям.
- Вычислить код Хаффмана для каждого символа путем прохождения пути от верха пирамиды до основания.

Таким образом:

Y = 0
 Z = 10
 A = 10
 X = 111

Чтобы вычислить степень сжатия по сравнению со стандартным кодом ASCII, примем, что передаются 1000 символов (т.е. Y, Z, A и X).

$$\begin{aligned}
 &\text{Суммарное количество битов, использующих кодирование Хаффмана} = \\
 &(\text{Вероятность появления символа } 0,4 * 1000 \text{ символов}) * 1 \text{ бит/символ Y} + \\
 &(\text{Вероятность появления символа } 0,3 * 1000 \text{ символов}) * 2 \text{ бит/символ Z} + \\
 &(\text{Вероятность появления символа } 0,2 * 1000 \text{ символов}) * 3 \text{ бит/символ A} + \\
 &(\text{Вероятность появления символа } 0,1 * 1000 \text{ символов}) * 3 \text{ бит/символ X} = \\
 &= 400 + 600 + 600 + 300 = \\
 &= 1900 \text{ бит.}
 \end{aligned}$$

Если бы использовался код ASCII, то это дало:

$$\begin{aligned} 1000 \text{ символов} * 7 \text{ бит/символ} &= 7000 \text{ бит} \\ \text{Отсюда коэффициент сжатия} &= 7000/1900 = 3,68. \end{aligned}$$

После того как код Хаффмана был вычислен, программа преобразует каждый символ в его эквивалентный код и включает таблицу, используемую для обратного перевода кода в символ оригинального сообщения. Программное обеспечение приемника затем проводит операцию, обратную сжатию, и преобразует поток битов в оригинальный поток символов.

Кодирование повторов используется в том случае, если в заданной последовательности символов имеются четыре или больше одинаковых символов. Кодируются три первых символа (как для кодирования Хаффмана), а оставшиеся идентичные символы кодируются в четырехбитные полубайты.

Декодирование потока данных производится совсем просто, поскольку принимающий модем имеет ту же самую таблицу сжатия, что и передающий модем.

Протокол V.42 bis

Протокол V.42 bis основывается на создании словаря, который постоянно изменяется, когда данные передаются между двумя модемами. Словарь состоит из набора деревьев, у которых корни соответствуют символам алфавита. При установлении связи каждое дерево содержит узловой корень с уникальным кодовым словом, назначенным каждому узлу. Последовательность символов, принимаемых модемом от **подключенного терминала, сравнивается с символами словаря.**

Максимальная длина строки может изменяться от 6 до 250 символов и определяется двумя подключенными модемами. Минимальное количество кодовых слов составляет 512, но оба подключенных модема могут договориться на любом значении, выше этого числа, задаваемого по умолчанию.

Сжатие данных по протоколу V.42 bis, заключающееся в подстановке кодового слова в строку, на 20-30 % эффективнее, чем сжатие MNP класса 5. Протокол V.42 bis эффективен для больших передаваемых файлов, но не для коротких строк данных.

7.13. Стандарты модемов

В таблице 7.4 сведены стандарты ITU-T модемов

ITU V.34 и V.90 являются стандартами высокоскоростной модемной связи по телефонной линии и часто используются для подключения к интернету. Стандарт V.34 и V.90 используют схему модуляции, очень похожую на V.22 bis. Он имеет скорость передачи 3429 символов в секунду и может передавать до 10 битов на символ. Со служебными издержками это составляет в среднем около 33,6 кбит/с.

V.34 и V.90 используют модифицированную систему модуляции QAM, называемую суперсозвездие, которая имеет 1664 возможные комбинации символов. В каждом преобразовании используются не все символы. В начале преобразования модемы передают специальные тестовые строки, которые используются для выбора наилучшего возможного соединения. Затем, перед передачей данных по телефонной

Тип модема	Скорость передачи данных	Асинхронная / синхронная передача	Режим	Тип модуляции	Используемая линия – коммутируемая / выделенная
V.21	300	Асинхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс	FSK	Коммутируемая
V.22	600	Асинхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс	DPSK	Коммутируемая / выделенная
	1200	Асинхронная / синхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс	DPSK	Коммутируемая / выделенная
V.22 bis	2400	Асинхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс	QAM	Коммутируемая
V.23	600	Асинхронная / синхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс	FSK	Коммутируемая
	1200	Асинхронная / синхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс	DPSK	Коммутируемая
V.26	2400	Синхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс		Выделенная
	1200	Синхронная	Полудуплекс	DPSK	Коммутируемая
V.26 bis	2400	Синхронная	Полудуплекс	DPSK	Коммутируемая
V.26 ter	2400	Синхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс	DPSK	Коммутируемая
V.27	4800	Синхронная	Полный дуплекс	DPSK	Выделенная
V.27 bis	4800	Синхронная	Полный дуплекс	DPSK	Выделенная
	2400	Синхронная	Полный дуплекс	DPSK	Выделенная
V.27 ter	4800	Синхронная	Полудуплекс	DPSK	Коммутируемая
	2400	Синхронная	Полудуплекс	DPSK	Коммутируемая
V.29	9600	Синхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс	QAM	Выделенная
V.32	9600	Асинхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс	TCM/ QAM	Коммутируемая
V.33	14400	Синхронная	Полудуплекс / Полный дуплекс	TCM	Выделенная

Таблица 7.4. Стандарты ITU-T модемов

линии, они переключаются от асинхронных данных к синхронным. Для увеличения качества сигнала оба стандарта используют также шифратор и решетчатое кодирование.

Модемы V.90, как и модемы V.34, при первом подключении проверяют телефонную линию и могут изменять их параметры, позволяющие получить оптимальную передачу данных. Они могут также изменять параметры по ходу передачи, если модемы видят в этом необходимость.

Тип модема системы Bell	Скорость передачи данных	Способ передачи	Режим передачи	Тип модуляции
103 A, E, F	300	Асинхронный	FSK	Полудуплекс/полный дуплекс
201 B, C	2400	Синхронный	PSK	Полудуплекс/полный дуплекс
202 C	1200	Асинхронный	FSK	Полудуплекс
202 D/R	1800	Асинхронный	FSK	Полудуплекс/полный дуплекс
202 T	1800	Асинхронный	FSK	Полудуплекс/полный дуплекс
208 A	4800	Синхронный	PSK	Полудуплекс/полный дуплекс
208 B	4800	Синхронный	PSK	Полудуплекс
209 A	9600	Синхронный	QAM	полный дуплекс
21	0 – 300	Асинхронный	FSK	Полудуплекс/полный дуплекс
	1200	Асинхронный / Синхронный	PSK	Полудуплекс/полный дуплекс

Таблица 7.5. Модемы системы Bell

7.14. Устранение неполадок в системах с модемами

При отладке систем, использующих модемы, необходимо учитывать такие факторы, как удовлетворительная работа системы RS-232 и особенности модема.

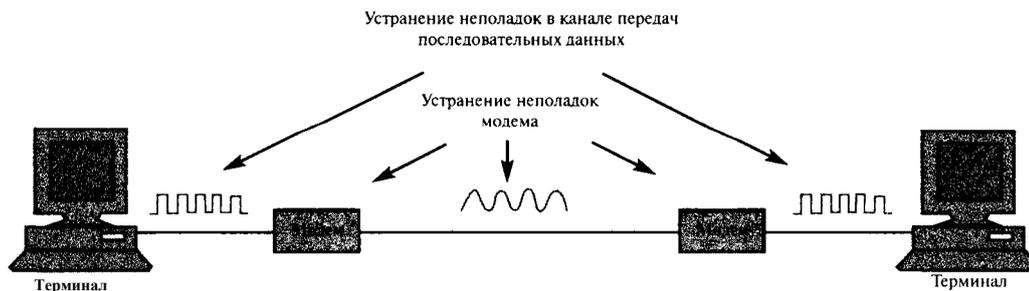


Рис. 7.22. Устранение неполадок в системах с модемами

Устранение неполадок модема

Для нахождения проблем, связанных с работой модема, существуют различные типы диагностики, которые разделяются на две категории: самодиагностика и диагностика с обратной связью.

Самодиагностика

Самодиагностика проводится, когда модем подключает свой передатчик к своему приемнику. Подключение к линии передачи разрывается, к принимающей части модема передается специальная последовательность битов, где эти биты сравниваются с контрольным набором битов. Если переданная последовательность битов не соответствует ожидаемой, то на передней панели модема выводится сообщение об ошибке.

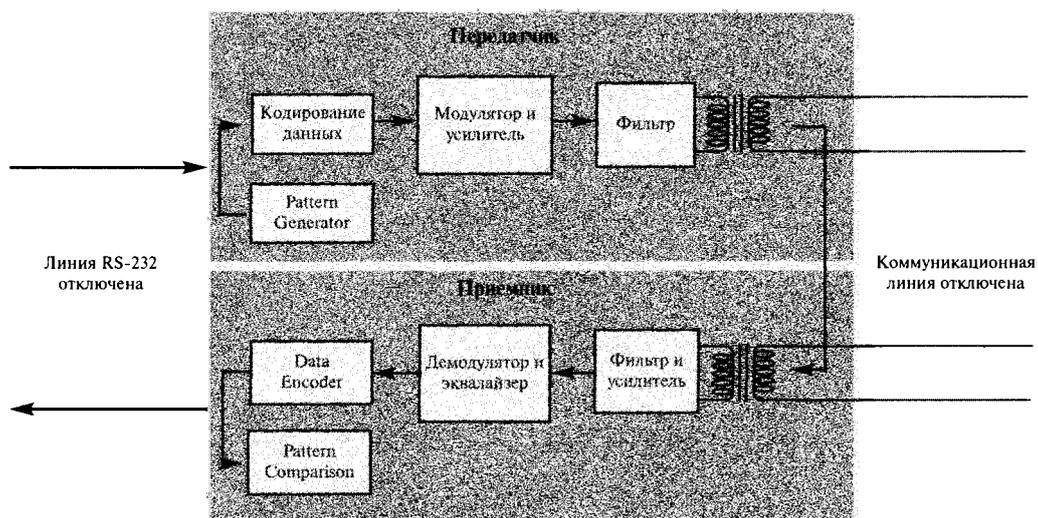


Рис. 7.23. Внутренняя самодиагностика модема
 Pattern Generator – Генератор контрольной последовательности
 Data Encoder – Декодирование данных
 PatternComparison – Сравнение последовательности

Диагностика с обратной связью

Вторым способом диагностики модема является диагностика с использованием обратной связи. Существуют четыре типа диагностики с обратной связью:

- Местная цифровая обратная связь, предназначенная для проверки терминала или компьютера и линии RS-232.
- Местная аналоговая обратная связь, предназначенная для проверки схем модулятора и демодулятора модема.
- Удаленная аналоговая обратная связь, предназначенная для проверки соединяющего кабеля и местного модема.
- Удаленная цифровая обратная связь, предназначенная для проверки местного и удаленного модема, а также соединительного кабеля.

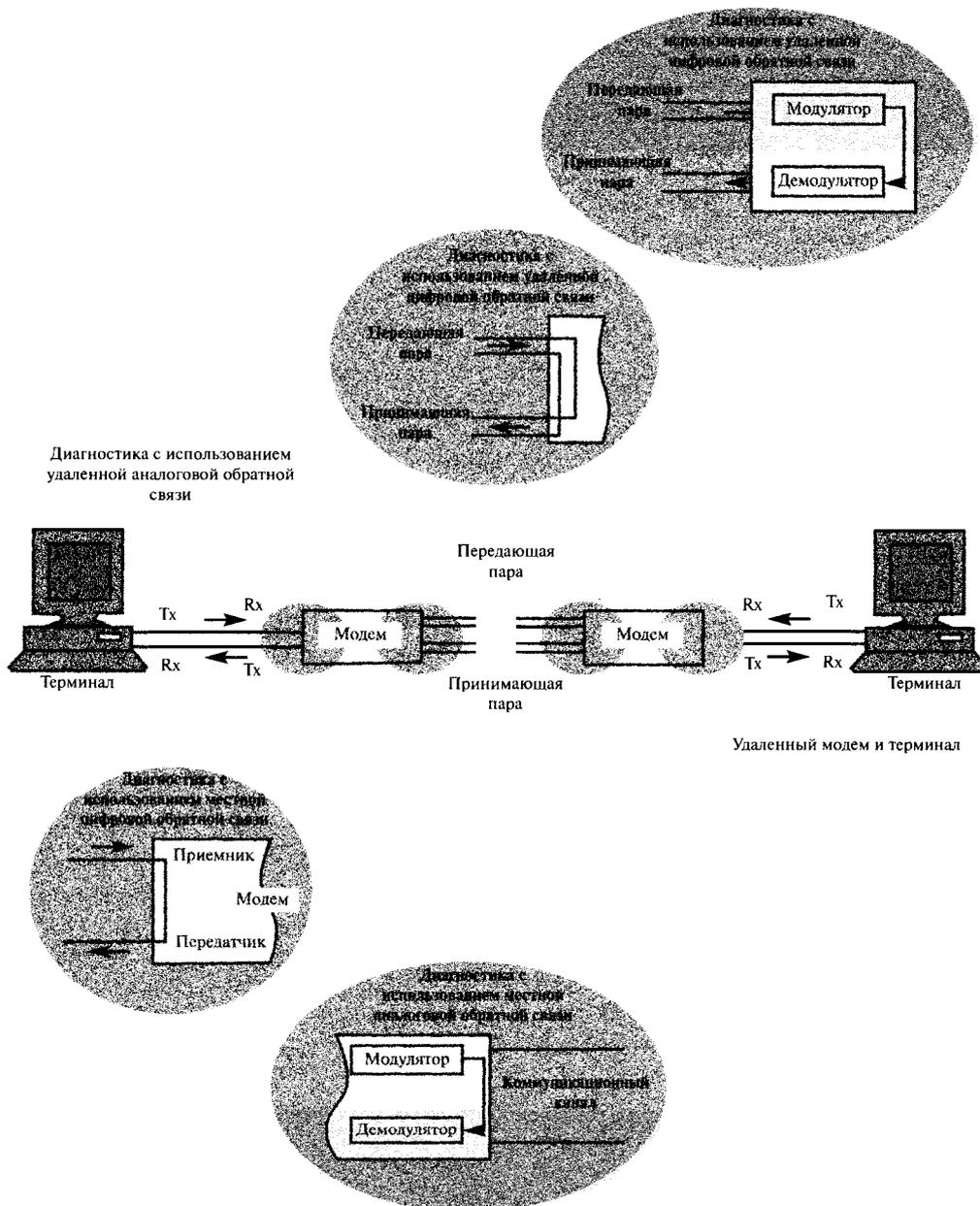


Рис. 7.24. Диагностика модемов с использованием обратной связи

7.15. Выбор модема

Имеется несколько важных факторов, к которым необходимо подойти с особым вниманием при выборе модема для промышленного применения или систем телеметрии. Некоторые из них перечислены ниже:

Функции автоматизации	Большинство современных модемов совместимы с Hayes AT набором команд, которые автоматизируют большинство функций модема.
Скорость передачи данных	Обычно скорость передачи данных для модемов рассматривается в первую очередь. Важно делать различие между скоростью передачи данных и скоростью передачи битов (бод), а также необходимо учесть разницу между номинальной скоростью передачи до сжатия и эффективную скорость передачи сжатых данных.
Асинхронная/ синхронная передача	Способность переключаться между этими двумя типами передачи обеспечивает большую гибкость в выборе режима для будущих применений (иногда производится с помощью DIP-переключателей).
Режимы передачи	Наиболее эффективным и предпочтительным режимом передачи данных является полный дуплекс, а не полудуплекс, при котором появляется время переключения линий, что значительно снижает эффективность передачи данных.
Способы модуляции	Двумя наиболее распространенными способами модуляции являются V.22 bis, который поддерживает скорости передачи 1200 и 2400 бит/с, и V.34+, который включает в себя V.22 bis и имеет почти универсальные возможности передачи данных.
Сжатие данных	Модем должен быть совместим с четырьмя основными стандартами сжатия, используемыми для телекоммуникационных коммутируемых линий: <ul style="list-style-type: none">● АСТ● MNP класс 5● MNP класс 7● CCITT V.42 bis
Обнаружение / исправление ошибок	Наиболее распространенным механизмом обнаружения и исправления ошибок является MNP-4, который ITU ввел в стандарт V.42 и который обеспечивает протокол LAP-M.
Управление потоком	Управление потоком данных от подключенного терминала необходимо для того, чтобы не перегрузить модем. Необходимо обеспечить, чтобы

	<p>существующие аппаратура и терминалы поддерживали необходимые протоколы управления потоком, такие как ENQ/ACK, RTS/CTS или XON/XOFF.</p>
Оптимальная упаковка данных	<p>Перед передачей данных два модема общаются друг с другом (имитация соединения) с целью согласования используемого протокола передачи. Это позволяет избежать ненужных подтверждений от терминального оборудования, подключенного к модему. Если два модема могут передавать между собой блоки по 500 символов, то модемы будут накапливать блоки, состоящие из 5- и 100-символьных блоков, и передавать их за один прием принимающему модему. Принимающий модем будет переправлять эти блоки к принимающему терминалу, который поочередно подтвердит прием каждого 100-символьного блока.</p>
Стойка	<p>Выбор модема должен также производиться с учетом места применения. Многие промышленные системы для экономии места и удобства обеспечения питания используют модемы, устанавливаемые в стойки.</p>
Источник питания	<p>Современные модемы имеют отдельное питание или берут питание от телефонных линий.</p>
Функции самодиагностики	<p>Необходимо убедиться в том, что модем может производить самодиагностику, а также диагностику с использованием местной или удаленной обратной связи.</p>

7.16. Концепции мультиплексирования (разделения каналов)

Мультиплексирование позволяет существующую линию или канал связи использовать для передачи нескольких сообщений за один раз и имеет потенциал для резкого увеличения производительности линии. Следует отметить, что возможны несколько способов мультиплексирования.

Демультиплексирование является процессом извлечения отдельных сообщений канала из мультиплексированных данных.

Возможны три способа мультиплексирования:

- пространственное разделение каналов (SDM);
- частотное разделение каналов (FDM);
- временное разделение каналов (TDM).

Пространственное разделение каналов (SDM)

При пространственном разделении каналов образуется несколько путей за счет прокладки новых физических каналов рядом с существующими, чтобы подключить приемник и передатчик, как показано на рис. 7.24. Некоторые специалисты соглашались, что SDM не совсем настоящий способ мультиплексирования. Этот способ обычно не считается привлекательным, поскольку для него требуются дополнительные кабели, передатчики и приемники.

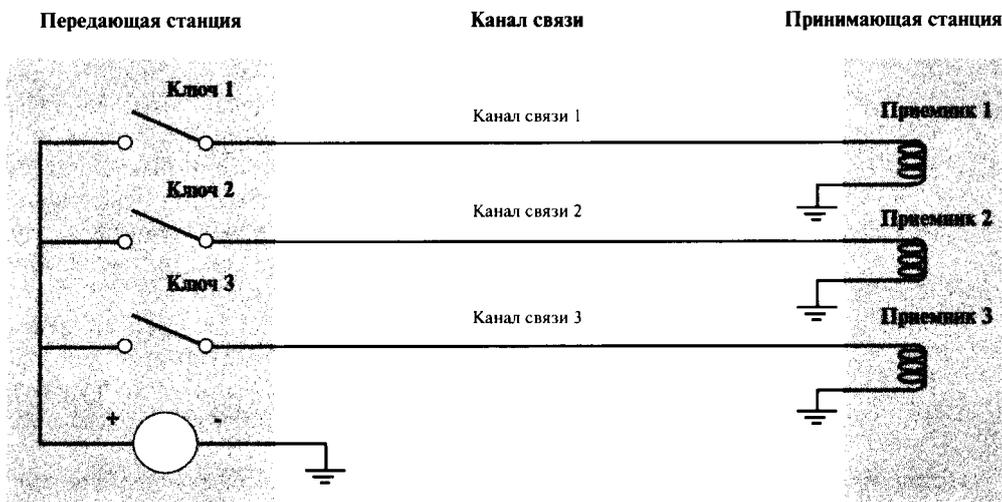


Рис. 7.25. Пространственное разделение каналов

Наилучшим примером пространственного разделения каналов является местная телефонная система. Каждый телефон подключен к телефонному узлу местной петли, не разделяемой другими абонентами.

Поскольку каждый сигнал имеет свой независимый канал и приемопередающее оборудование, то фактически необходимы отдельные демультиплексирующие SDM системы.

Частотное разделение каналов (FDM)

Частотное разделение каналов применяется в тех случаях, когда каждым каналом используются отдельные частоты, обеспечивая несколько отдельных каналов, передаваемых по одному электрическому кабелю. Таким образом, частотное разделение каналов используется тогда, когда ширина полосы канала связи шире, чем ширина полосы отдельного сообщения, передаваемого по каналу.

FDM широко используется в телеметрии и радио/телевещании, когда сигнал каждого датчика, представляющий, например, температуру, давление и скорость, находится в диапазоне напряжения от 0 до 1 В, что подходит для FM диапазона с узкой полосой пропускания. Каждый канал при этом имеет ширину полосы около 4000 Гц. Основной сигнал 0 – 4 кГц при этом называется модулирующим сигналом. Все модули-

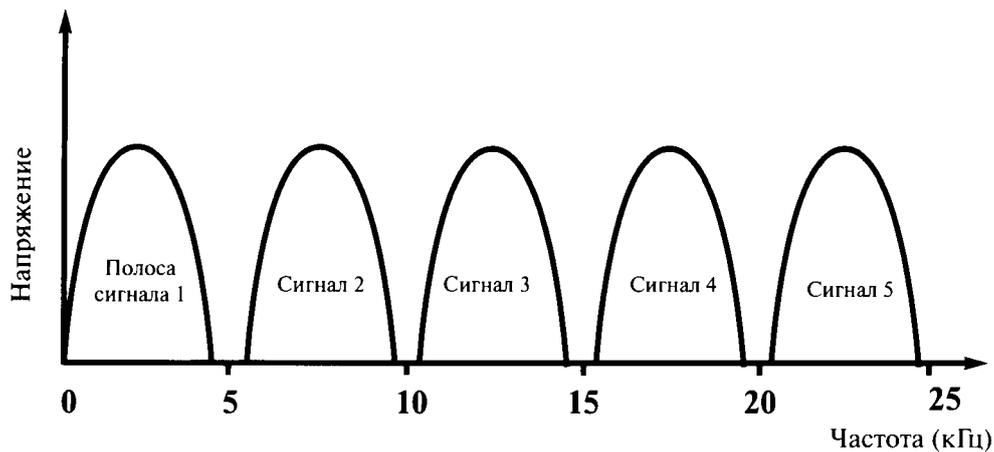


Рис. 7.26. FDM спектр, содержащий пять сигналов

рующие сигналы мультиплексируются с помощью различных поднесущих, разделенных на 4 кГц с полосами частот от 0 до 4 кГц на несколько телеметрических каналов. Рисунок 7.26 представляет пример разделения частотного спектра. Необходимо позаботиться о максимальном увеличении имеющейся полосы пропускания. Например, при разделении полос 4 МГц для передачи сигналов с полосой 4 кГц будут теряться $(4000 - 4) \text{ кГц} = 3996 \text{ кГц}$ и использоваться только 7% спектра.

На стороне приемника демultipлексирование начинается с перевода мультиплексированного сигнала в промежуточную частоту, для чего в каждом канале должен быть свой генератор и смеситель. Ширина полосы для промежуточной частоты устанавливается равной ширине полосы отдельного модулирующего сигнала. Приемник, который демultiplexирует десять сигналов, требует десять отдельных генераторов и смесителей, причем каждый генератор должен иметь частоту, соответствующую его сигналу.

На рис. 7.27 представлена блок-схема базовых цепей FDM передатчика и приемника.

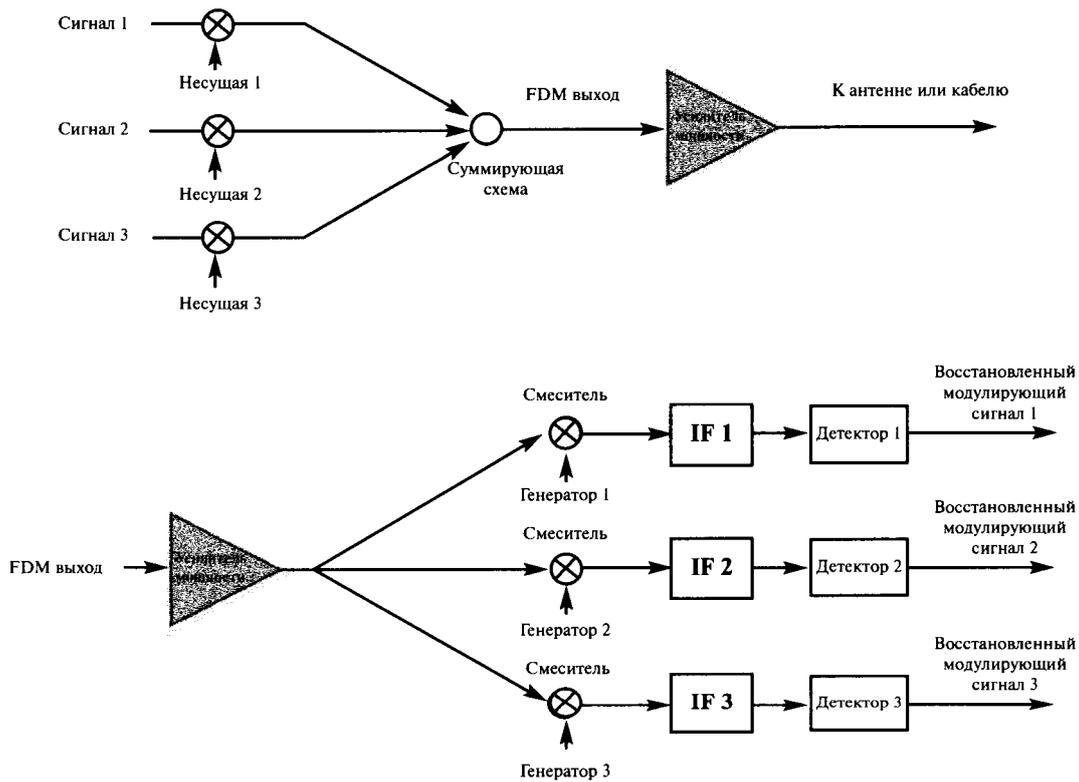


Рис. 7.27. Базовая схема FDM приемника и передатчика
IF – Промежуточная частота

Временное разделение каналов (TDM)

Для многих пользователей коммуникационных систем возможно временное разделение физических каналов путем подключения каждого сигнала на короткий промежуток времени, как показано на рис. 7.28. По мере увеличения скорости сканирования система в конце концов станет неэффективной из-за увеличения следующих факторов:

- задержки распространения;
- помехи;
- ошибки;
- повторные передачи.

В отличие от аналоговых сигналов цифровое временное разделение каналов имеет большую свободу в выборке каждого бита каждого канала. Пока выборка производится в пределах бита, даже если он может располагаться чуть позже или раньше по отношению к периоду следования битов, данные не будут потеряны. Самое большое ог-

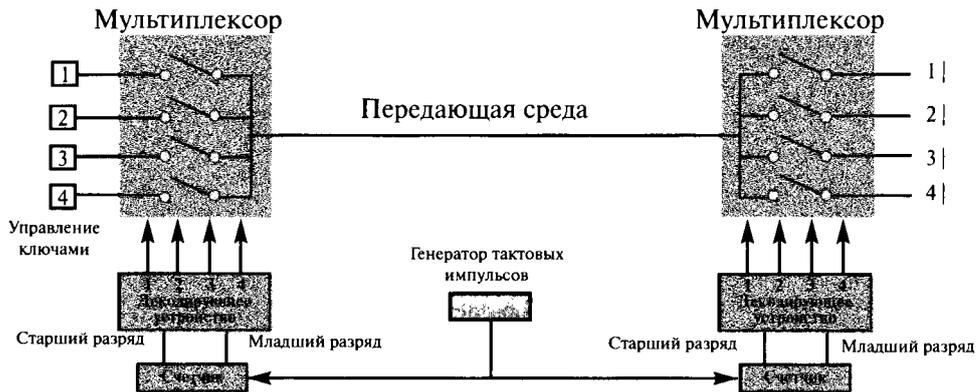


Рис. 7.28. Базовая схема TDM

раничение TDM заключается в ширине полосы передающей среды. По мере увеличения скорости передачи битов требуется и увеличение полосы среды.

Практический пример

Мост/мультиплексор Modbus Plus является практическим примером альтернативного использования мультиплексора в режиме временного разделения каналов. Он обеспечивает подключение Modbus устройств к сетям Modbus Plus. Этот пример

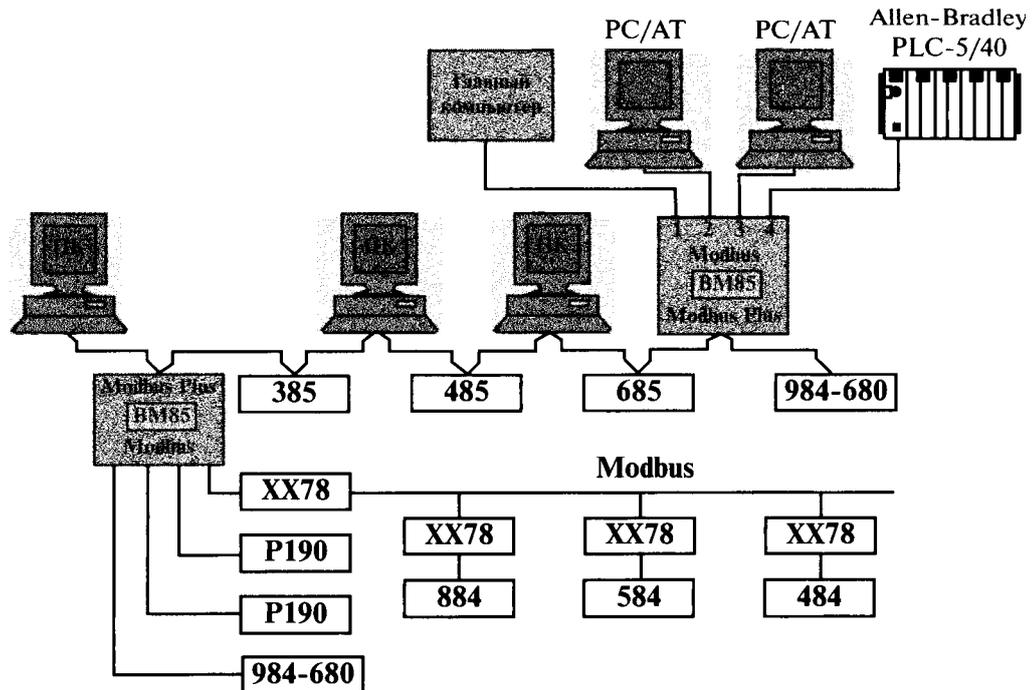


Рис. 7.29. Пример использования мультиплексора BM85

иллюстрирует использование мультиплексора в более широком значении, нежели простое увеличение эффективности канала связи. На рис. 7.29 показан NW-BM85-000 Modbus Plus мост/мультиплексор от AEG Modicon.

Этот мультиплексор обеспечивает взаимное подключение четырех портов Modbus и одного порта Modbus Plus. Конфигурирование системы производится с помощью нескольких переключателей и программной настройки, которая потом сохраняется в EEPROM памяти. Буфер мультиплексора позволяет организовывать очередь из 512 транзакций. Программа автоматически подключает необходимый порт к его месту назначения. И наоборот, мультиплексор можно использовать в качестве четырехканального расширителя портов Modbus, обеспечивающего подключение главных устройств к любому из подчиненных или к нескольким сетям подчиненных устройств Modbus.

7.17. Терминальные мультиплексоры

Терминальный мультиплексор использует временное разделение каналов (TDM), чтобы подключать группы терминалов к центральному компьютеру. На обоих концах канала связи используется одинаковый мультиплексор и его работа прозрачна для пользователей терминалов. Микропроцессор каждого мультиплексора непрерывно опрашивает все подключенные терминалы, чтобы определить поступление символов. При использовании TDM каждый терминал или UART мультиплексора получает свой временной интервал. Каждой последовательности временных интервалов предшествует синхронизирующий управляющий символ, такой как SYN, который позволяет принимающему мультиплексору определить начало следующей последовательности временных интервалов. Если UART не принял от терминала никаких символов, то мультиплексор вставляет в этот интервал символ NULL. С учетом дополнительных служебных издержек, возникающих из-за синхронизирующего символа, важно, чтобы скорость передачи битов общего канала связи, соединяющего оба терминальных мультиплексора, была больше, чем суммарная скорость передачи битов терминалов. На рис. 7.30 представлена блок-схема терминального мультиплексора.

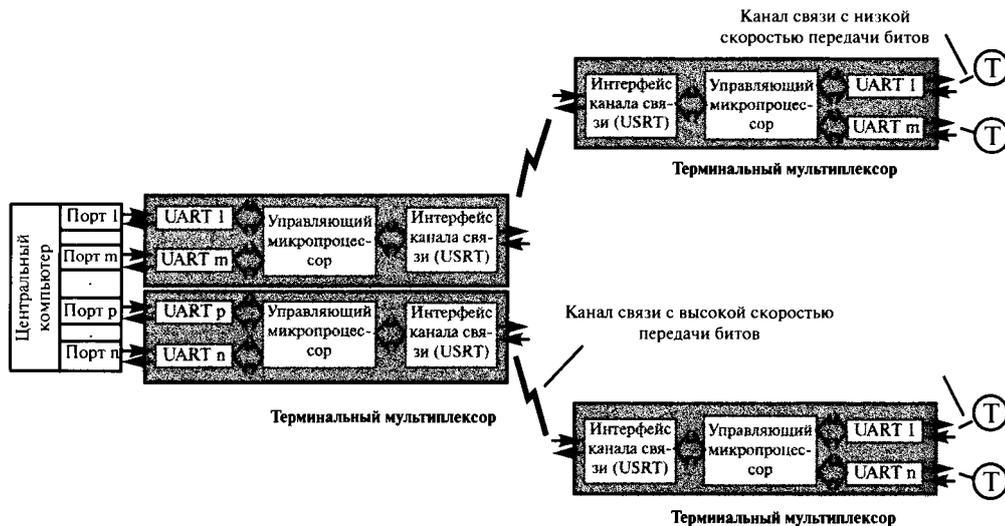


Рис. 7.30. Терминальный мультиплексор

Производительность терминальных мультиплексоров может быть разной – от устройств, обслуживающих четыре терминала, каждый из которых работает со скоростью 1200 бит/с с общей пропускной способностью 9600 бит/с, до устройств, обслуживающих 32 терминала, каждый из которых работает со скоростью 9600 бит/с с общей пропускной способностью более 310 кбит/с.

7.18. Статистические мультиплексоры

Терминальный мультиплексор может работать неэффективно, если временные интервалы назначаются независимо от того, нужны они конкретному терминалу или нет. Статистический мультиплексор использует принцип, что в любой конкретный момент времени активны не все терминалы и что неактивные каналы пропускаются до тех пор, пока они не станут снова активными. Каждый терминал имеет свой идентификационный дескриптор, который передается перед последовательностью символов.

Возможны два режима работы:

- Статистический мультиплексор буферизует поток символов от конкретного терминала до определенного предела. Затем он помечает этот блок символов специальным идентификатором и перед отправкой сообщения к центральному компьютеру добавляет контрольную последовательность кадра.
- Статистический мультиплексор создает блок, состоящий из групп символов от **всех активных** терминалов. Перед каждой группой символов помещается уникальный идентификатор терминала. Перед отправкой блока к центральному компьютеру к нему в конце добавляется контрольная последовательность.

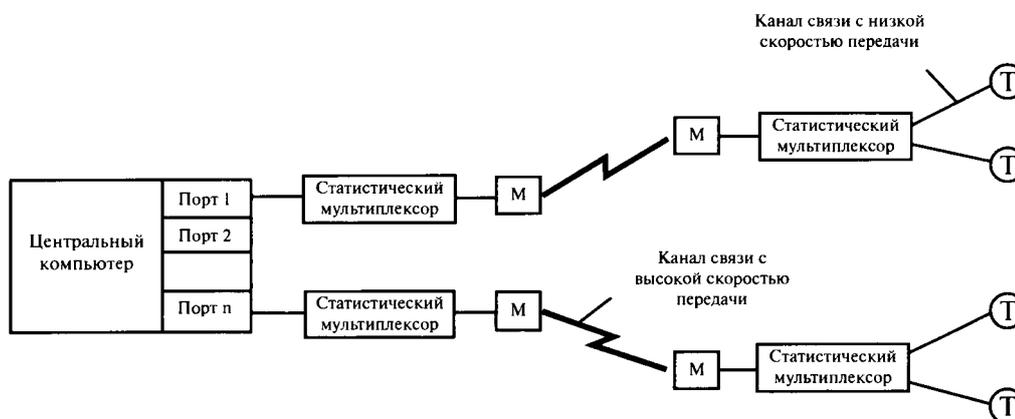


Рис. 7.31. Статистический мультиплексор
М – Модем

Лекция 8

Введение в протоколы

Протокол можно определить как набор правил, управляющих обменом данными между передатчиком и приемником по каналу связи или по сети.

Цели

Завершив изучение, вы сможете:

- определить термин «протокол»;
- описать роль протокола в управлении потоком данных;
- описать два наиболее распространенных типа протокола управления потоком данных:
 - XON/XOFF
 - ETX/ACK
- понять различие и описать два типа двоичных синхронных протоколов:
 - двухточечное подключение
 - многоточечное подключение
- описать протоколы HDLC и SDLC с точки зрения:
 - формата кадра
 - содержимого кадра
 - операций
 - управления потоком/контроля за ошибками
- описать протоколы передачи файлов;
- описать ARQ протоколы.

209*

Как будет показано в лекции 9, системы передачи данных, которые соответствуют образцовой модели взаимодействия открытых систем (OSI), состоят из нескольких ие-

рархических уровней. Каждый из этих уровней содержит элементы программного и аппаратного обеспечения, называемые объектами. Одним из элементов каждого уровня является объект протокола, который имеет свою собственную спецификацию и, в широком смысле слова, является протоколом. Целью объекта протокола является определение того, как сообщения должны передаваться по сети к равноправному объекту другого узла.

Реальные передачи через физический канал определяются протоколом канального уровня, и именно эти типы протоколов обсуждаются в данной главе. Другие, более сложные протоколы, обсуждаются в последующих главах.

К протоколу относятся следующие вопросы (все или только некоторые):

- Инициализация, необходимая для начала передачи данных.
- Формирование кадра и синхронизация кадров – определение начала и конца кадра и обеспечение синхронизации приемника с кадром.
- Управление потоком, необходимое для того, чтобы приемник не был переполнен данными.
- Управление линиями, применяемое в полудуплексных каналах связи, в которых передатчик сообщает приемнику о начале передачи.
- Контроль за ошибками.
- Контроль за превышением лимита времени, необходимый для того, чтобы, если в течение заданного времени не будет получено подтверждение выполнения операции, было предпринято какое-либо действие.

8.1. Протоколы управления потоком данных

Наиболее простые протоколы относятся только к управлению потоком данных. Они были введены в качестве улучшения простых способов передачи, таких как помещение задержек между символами или обратная передача принятых символов к передатчику. Двумя наиболее распространенными способами управления потоком данных являются XON/XOFF и ETX/ACK.

8.2. Протокол XON/XOFF

Этот протокол управления потоком данных основан на передаче двух специальных символов. Обычно это символы ASCII кода: DC1 для XON и DC3 для XOFF. Передатчик передает данные до тех пор, пока не примет от приемника символ XOFF затем он ожидает сигнала XON и только после этого возобновляет передачу. Типичным примером является буфер принтера. Когда буфер заполняется до определенного уровня (например, 66%), принтер передает компьютеру символ XOFF, а когда буфер опустеет до следующего уровня (например, 33%), принтер посылает символ XON.

Недостатком протокола XON/XOFF является то, что поток передаваемых данных может содержать один из управляющих символов, хотя это не является проблемой в таких приложениях, как управление принтером.

8.3. Двоичный синхронный протокол

Двоичный синхронный протокол управления (BSC) был разработан компанией IBM в 1966 году для обеспечения связи между компьютерами и между компьютером и терминалом. Его можно использовать в двухточечном (точка-точка) или в многоточечном режиме. BCS является протоколом, основанным на передаче символов, и представляет собой противоположность высокоуровневого протокола управления каналом передачи данных (HDLC), который основан на передаче битов. Протокол HDLC обсуждается ниже в разделе «Протоколы HDLC и SDLC».

Механизм управления потоком XON/XOFF может легко обращаться с короткими интерактивными сообщениями между терминалом и компьютером, но гораздо меньше подходит для блочной передачи, т.е. когда между терминалами передаются большие сообщения, содержащие сотни и даже тысячи символов. Протокол BSC, с другой стороны, был специально разработан для работы с большими блоками данных.

Для разделения различных полей BSC - сообщения и для обмена подтверждающей информацией используются управляющие символы.

В таблице 8.1 перечислены управляющие символы, используемые протоколом BSC.

Сокращение	Значение	Описание
ACK	Подтверждение	Полученный блок в порядке
ACK1	Подтверждение 1	Полученный нечетный блок в порядке
ACK2	Подтверждение 2	Полученный четный блок в порядке
DLE	Символ ESC	Далее следует управляющий символ
ENQ	Запрос	Необходимо отправить данные
EOT	Конец передаваемых данных	Конец передачи
ETB	Блок конца передачи	Конец блока
ETX	Конец текста	Конец текстовых данных
ETB	Конец промежуточного блока	Будут следующие блоки
NAK	Отрицательное подтверждение	Проблемы с принятыми блоками
SOH	Начало заголовка	Передача информации
STX	Начало текста	Начинается текстовое сообщение
SYN	Флаг синхронизации	Обеспечивает синхронизацию приемника

Таблица 8.1. Управляющие символы BSC

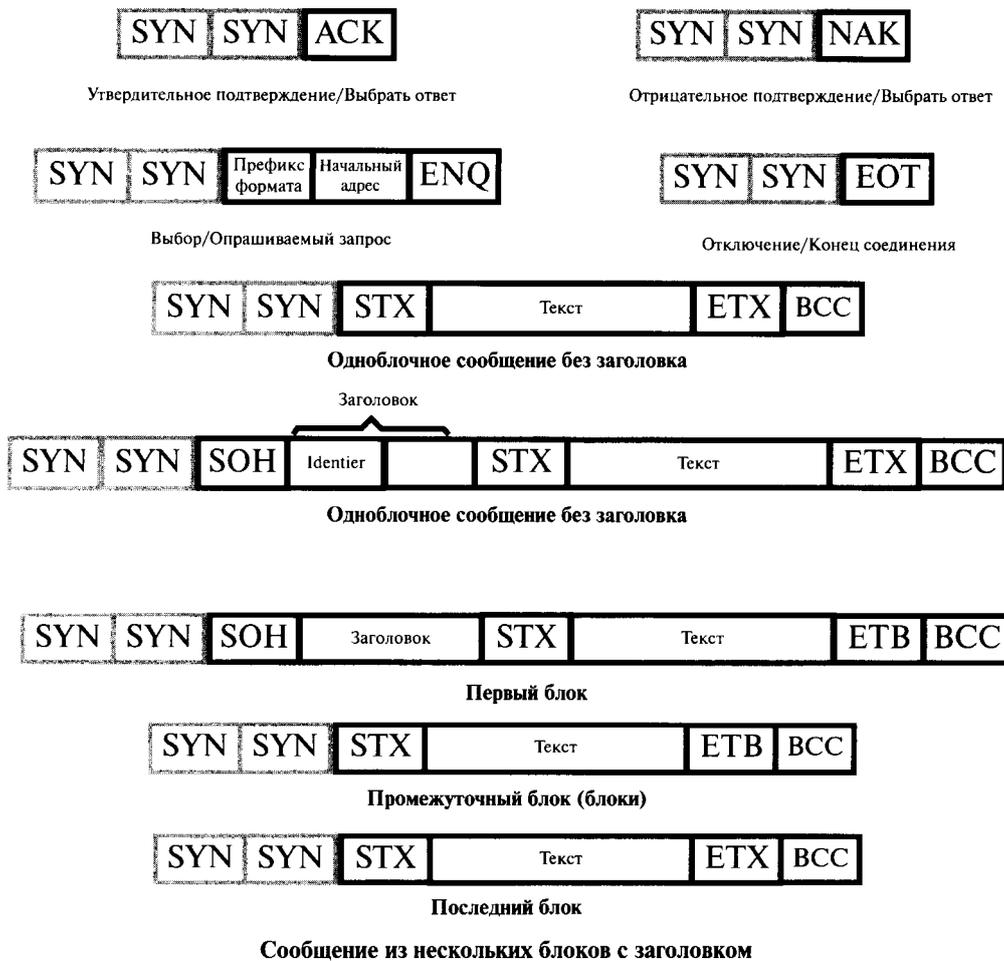


Рис. 8.1. Формат BSC сообщения

Identier – Идентификатор, BCC – Символ проверки блока

Примеры различных типов BSC сообщений приведены на рис. 8.1.

Для синхронизации с началом сообщения приемник использует два символа SYN (комбинация битов 0010110). Следует отметить, что символы SYN не считаются частью самого сообщения и, следовательно, не используются в символе проверки блока (BCC). Чтобы обеспечить синхронизацию, передатчик вставляет символы SYN в текстовое сообщение один раз в секунду; однако, как и прежде, они не используются в расчетах BCC.

Текстовое поле начинается с символа STX и заканчивается символом ETX, ETB, EOT или ITB (в зависимости от конкретной ситуации). Поле BCC состоит из попе-

речного/продольного контрольного символа, такого как CRC-16, используемого для прозрачного режима (см. ниже в этой главе раздел «Прозрачность данных»).

Если сообщение принято без ошибки, то приемник в качестве первого ответа выдает сигнал ACK1, в качестве второго ответа выдает сигнал ACK2 и т.д., чередуя их при каждом ответе таким образом, чтобы нечетное сообщение соответствовало ACK1, а четное – ACK2. Это позволяет передатчику контролировать сообщения и обнаруживать неподтвержденные сообщения. Сигнал ACK1 представляется последовательностью DLE00, а ACK2 – последовательностью DLE01.

Если приемник обнаружит в сообщении ошибку, то он реагирует сигналом NAK.

Полная последовательность передачи в двухточечном режиме является следующей:

Станция 1	Станция 2
SYN SYN *	
	Три возможных ответа:
	* Готов к приему SYN SYN DLE 00
	* Не готов к приему SYN SYN NAK
	* Повторите позже SYN SYN NAK
SYN SYN STX [символы данных] ETX BCC	
	* Утвердительный ответ/ACK0 SYN SYN DLE 00
Станция 1 заканчивает обмен * SYN SYN EOT	

Таблица 8.2. Последовательность передачи в двухточечном режиме

Многоточечный режим

В этом режиме на одной линии имеется одна главная (первичная) станция и одна или несколько подчиненных (вторичных) станций.

Весь обмен информацией инициируется первичной станцией путем выполнения одной или нескольких транзакций:

- Первичная станция начинает опрос, чтобы определить, хочет ли вторичная станция передать какую-нибудь информацию.
- Первичная станция выбирает вторичную станцию, чтобы передать ей информацию.

Функции контроля за превышением времени

- Передающая станция перестает ожидать, если нет ответа в течение трех секунд.
- Станция коммутируемой сети (обычная телефонная сеть) отключается, если в течение 20 секунд нет никакой активности.
- Передатчик, принимающий символ TTD или WAK, перед следующей попыткой ожидает две секунды.

Прозрачность данных

- BSC, являясь протоколом на основе кода ASCII, как правило, не может работать прозрачно. То есть он не может работать с двоичными данными, поскольку 7-битовое поле данных имеет ограниченный диапазон чисел от 0 до 127. Для двоичных данных (или шестнадцатеричных) необходим диапазон от 0 до 255 (8 разрядов).
- Можно сделать так, что BSC будет оперировать с двоичными данными, если использовать восемь разрядов данных (и, следовательно, работать без бита четности), предваряя каждый управляющий символ BSC символом DLE. То есть ETX становится DLE ETX и т.д. Таким образом, последовательности управляющих символов в двоичных данных не будут интерпретироваться ошибочно как управляющие BSC символы. Чтобы избежать возможной проблемы с символом DLE в двоичных данных, когда передатчик обнаруживает его в информации, он вставляет в данные еще один символ DLE. Этот символ удаляется приемником, прежде чем он передаст данные дальше.
- В прозрачном режиме контроль за ошибками осуществляется с помощью циклического избыточного кода (CRC), поскольку восьмого бита для проверки четности нет.

Ограничения BSC

- BSC является полудуплексным протоколом, в котором каждое сообщение должно быть подтверждено приемником. Он является очень медленным по сравнению с более эффективными протоколами, которые нумеруют каждое сообщение и передают их группами, требуя только одного подтверждения для всей группы. В прозрачном режиме появляются дополнительные издержки, вызванные возможными дополнительными символами DLE.

8.4. Протоколы HDLC и SDLC

Высокоуровневый протокол управления каналом (HDLC) был определен Международной организацией по стандартизации (ISO) как для многоточечного режима канала связи, так и для двухточечного. Дополнительные описания этого протокола включают синхронное управление передачей данных (SDLC), используемое компанией IBM, и улучшенный протокол управления передачей данных (ADCCP),

используемый ANSI. Далее в этом тексте будет использоваться обозначение HDLC. В отличие от BSC протокола, HDLC является бит-ориентированным протоколом. Интересно отметить, что он предшественник протоколов, используемых для передачи данных в локальных сетях.

Возможны два самых общих режима работы HDLC:

- Несбалансированный режим нормального ответа (NRM). Он используется только одной главной (первичной) станцией для инициализации всех транзакций.
- Асинхронный сбалансированный режим (ABM). В этом режиме каждый узел имеет равный статус и может быть либо первичным, либо вторичным узлом.

Формат кадра

Стандартный формат кадра приведен на рис. 8.2. Используются три различных типа кадров:

Ненумерованные кадры:	Используются для установки канала связи и для выбора режима NRM или ABM. Кадры называются ненумерованными, поскольку не содержат порядковых номеров.
Информационные кадры:	Используются для передачи реальных данных от одного узла к другому.
Супервизорные кадры:	Используются для управления потоком и для контроля за ошибками. Они указывают на готовность вторичной станции к получению информационных кадров. Используются два способа контроля за ошибками: процедура выборочного повтора передачи из-за ошибки или запрос на передачу нескольких предыдущих кадров.

Содержимое кадра

Кадр состоит из следующих полей:

- Символом флага является байт 01111110. Флаг служит для обеспечения того, чтобы приемник всегда знал, что принимаемый им символ уникален (а не просто какой-нибудь символ последовательности); используется процедура, называемая вставкой нулей. Она требует того, чтобы передатчик вставлял «0» после последовательности из пяти «1», чтобы символ флага никогда не появлялся в текстовом сообщении. Вставленные нули удаляет приемник.

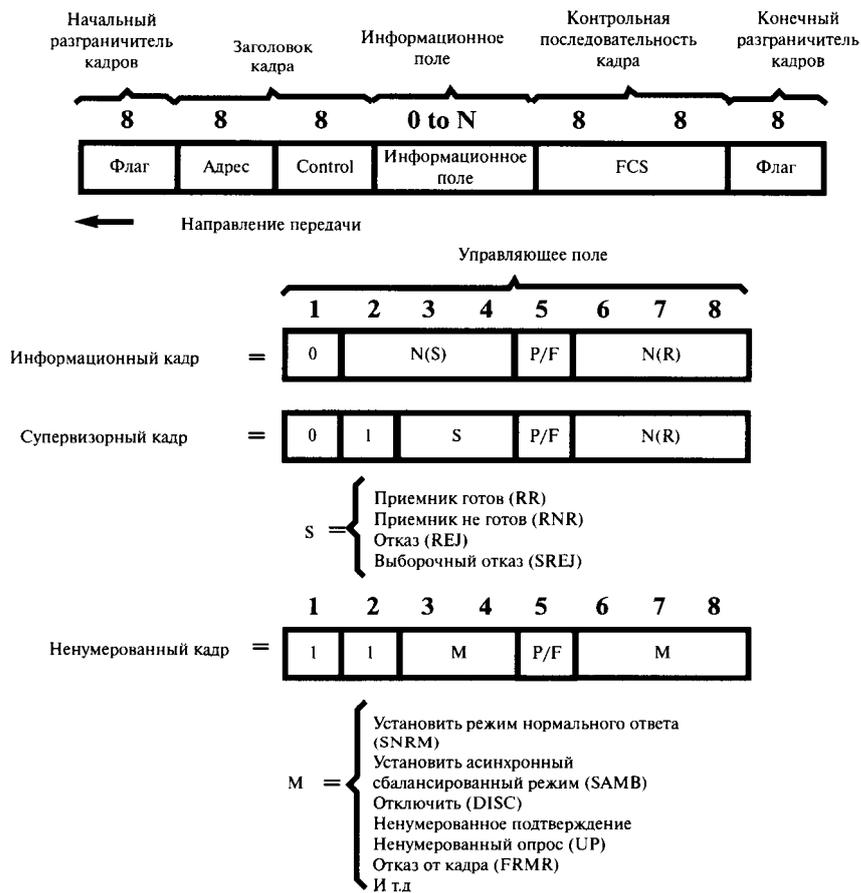


Рис. 8.2. Типы и формат кадров HDLC: Control – Управляющее поле; FCS – Контрольная последовательность кадра

- Контрольная последовательность кадра (FCS) использует метод CRC-CCITT с шестнадцатью «1» в конце сообщения, используемыми перед началом вычисления CRC, а остаток инвертируется.
- Адресное поле может содержать один из трех типов адресов для ответов или запросов вторичного узла:
 - стандартный адрес вторичного устройства,
 - групповые адреса для групп узлов сети,
 - оповещаемые адреса для всех узлов сети (адрес содержит все «1»).
- Если в сети имеется большое количество вторичных узлов, то адресное поле может быть расширено и быть длиннее восьми разрядов, путем

установки «1» в младшем разряде. Это является признаком того, что дальше в адресном поле следует другой байт.

- Управляющее поле показано на рис. 8.2.

Примечание. Номера передаваемых и отправляемых последовательностей важны для обнаружения и исправления ошибок, содержащихся в сообщениях. Бит R/F является битом запроса/завершения, и его установка в «1» является указанием приемнику на то, что он должен ответить или подтвердить этот кадр (также установкой «1» для бита R/F).

Протокольная операция

Ниже приводится типичная последовательность операций для многоточечного канала:

1. Первичный узел посылает NRM кадр, в котором бит R/F установлен в «1», с адресом вторичного узла.
2. Вторичный узел отвечает нумерованным подтверждением, в котором бит R/F установлен в «1». Если принимающий узел не может принять команду установки связи, то возвращается кадр, указывающий на отключение узла.
3. Данные передаются с использованием информационных кадров.
4. Первичный узел передает нумерованный кадр, содержащий в управляющем поле признак отключения.
5. Вторичный узел отвечает нумерованным подтверждением.

Аналогичная процедура производится при организации двухточечной связи с помощью асинхронного сбалансированного режима, за исключением того, что оба узла могут инициировать установку канала связи и передачу информационных кадров, а также сброс двухточечного канала связи. Разница заключается в следующем:

- когда вторичный узел передает данные, он передает их в виде последовательности информационных кадров, причем в последнем кадре последовательности бит R/F устанавливается в «1»;
- если в режиме NRM вторичный узел не имеет больше данных для передачи, то он реагирует кадром Receiver Not Ready (Приемник не готов), у которого бит R/F устанавливается в «1».

Контроль за ошибками/управление потоком

При полудуплексном обмене информационными кадрами контроль за ошибками производится с помощью порядковых номеров. Каждая станция сохраняет переданные и принятые порядковые номера. Если узел успешно принимает кадр, то он отвечает супервизорным кадром, содержащим указатель готовности приемника (RR) и принятый порядковый номер. Этот номер соответствует следующему ожидаемому кадру, что подтверждает получение всех предыдущих кадров.

Если принимающий узел отвечает кадром отрицательного подтверждения (REJ), то передатчик должен передать все кадры, начиная с номера принятой последовательности, содержащегося в REJ кадре. Это происходит в том случае, когда приемник обнаруживает кадр с номером, выпадающим из последовательности.

Возможно также использование выборочного повтора передачи. В этом случае приемник будет возвращать выбранный отвергнутый кадр, содержащий только порядковый номер отсутствующего кадра.

Несколько более сложный алгоритм применяется для двухточечной связи, использующей асинхронный сбалансированный режим с полным дуплексом, когда информационные кадры передаются в двух направлениях одновременно. Та же самая философия преследуется и для полнодуплексной работы, за исключением того, что проверки корректности последовательностей номеров кадров должны производиться на обоих концах канала связи.

Управление потоком осуществляется на том принципе, что максимальное количество информационных кадров, ждущих подтверждения в любой момент времени, не должно превышать семи. Если не выполнены семь подтверждений, то передающий узел откладывает передачу до тех пор, пока не будет принято подтверждение. Оно может быть произведено в форме супервизорного кадра готовности приемника или последовательно передано в информационном кадре, возвращаемом приемником.

Если последовательность номеров на обоих концах канала нарушается таким образом, что количество кадров, ожидающих подтверждения, превышает семь, то вторичный узел передает на первичный узел отказ от кадра или командный кадр отказа. Тогда первичный узел снова устанавливает связь, по подтверждению от вторичного узла **обе стороны сбрасывают все последовательные номера и начинают передачу информационных кадров.**

Может случиться так, что у приемника переполнится буфер для хранения сообщений. Если это происходит, то он передаст на первичный узел супервизорный кадр Receiver Not Ready (RNR), чтобы он прекратил передавать следующие информационные кадры.

8.5. Протоколы передачи файлов

В большинстве случаев при асинхронной передаче файлов на ПК базовая структура пакета (или кадра) состоит из групп полей. Только одно из этих полей содержит фактические данные. Остальные поля, называемые служебными, содержат информацию, необходимую приемнику для подтверждения того, что пакет не содержит ошибок.

Протоколы автоматического запроса повторной передачи (ARQ)

Наиболее общим типом пакетного протокола является протокол автоматического запроса повторной передачи (ARQ), при использовании которого в принимаемых пакетах определяется наличие ошибки, и отсутствие подтверждения правильности пакета автоматически приводит к его повторной передаче.

Принцип передачи и ожидания ARQ

В этом случае приемник получает пакет и после того, как он проверит правильность его номера по отношению к предыдущему, вычисляет частную контрольную сумму для данных этого пакета. В случае ее соответствия контрольной сумме, указанной в пакете, приемник выдает подтверждение в виде ACK (или он посылает NAK). Когда передатчик принимает ACK, он передает следующий пакет.

Принцип непрерывного ARQ (скользящее окно)

В этом случае передатчик посылает несколько пакетов подряд без задержки между пакетами. Приемник вместе с номером пакета посылает NAC или ACK (как и в случае передачи и ожидания ARQ). Передатчик непрерывно проверяет поток возвращающихся подтверждений и отслеживает пакеты с ошибками. В конце передачи пакеты, в которых были обнаружены ошибки, передаются повторно.

Протокол передачи и ожидания ARQ остается наиболее распространенным протоколом передачи файлов для ПК.

Шаблон пакета

Имеются три типа шаблонов пакета, которые показаны на приведенных ниже рисунках.

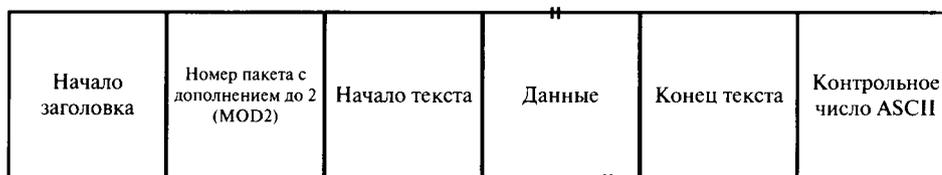


Рис. 8.3. Пакет для передачи текстовых файлов (от 64 до 512 байтов)

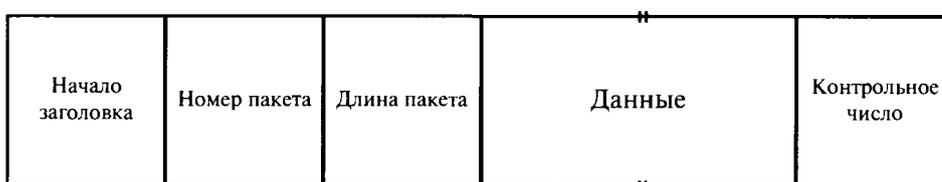


Рис. 8.4. Пакет для передачи двоичных файлов

Начало заголовка	Номер пакета	Длина пакета	Фиксированное поле данных	Контрольное число
------------------	--------------	--------------	---------------------------	-------------------

Рис. 8.5. Пакет с фиксированной длиной поля данных

Для передачи файлов используются два типа протоколов – XMODEM и Kermit.

Протокол XMODEM

XMODEM является простым протоколом передачи и ожидания ARQ, который использует поле данных фиксированной длины. Контрольное число является однобайтной арифметической контрольной суммой.

Начало заголовка	Номер текущего пакета	Дополнение до 1 номера текущего пакета	Данные (128 байт)	Арифметическая контрольная сумма
------------------	-----------------------	--	-------------------	----------------------------------

Рис. 8.6. Схема протокола XMODEM

SOH	Начало заголовочного байта
Номер текущего пакета	Дополнение до 1 номера текущего пакета (до 256)
Номер пакета с дополнением	Дополнение до 2 номера текущего пакета предыдущего поля
Данные	Длина данных (двоичных или тестовых) является фиксированной (128 байт)
Арифметическая	Однобайтная арифметическая сумма только поля данных (по модулю 256)

Кратко режим работы протокола XMODEM можно представить следующим образом:

- приемник посылает передатчику символ NAK, чтобы инициировать передачу;
- затем передатчик посылает объединенный в пакет 128-байтный блок данных. Символ ACK, принятый передатчиком, начинает передачу следующего пакета, а символ CAN отменяет передачу;
- когда все данные будут переданы, отправитель передает единственный символ EOT, который приемник подтверждает символом ACK.

Другие версии протокола XMODEM используют вместо однобайтовой контрольной суммы (XMODEM-CRC) однобайтовый контроль с помощью циклического избыточного кода (CRC). Это необратимый CRC алгоритм с ССИТ полиномиальным делителем $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$.

Проблемы протокола XMODEM

- протокол XMODEM предназначен для каналов связи с низкими частотами появления ошибок. Если модем не имеет встроенного алгоритма исправления ошибок, то протокол XMODEM работать не будет. Более высокие скорости передачи данных и плохое качество канала связи (предлагающие более дешевые услуги) делают проблему еще острее;
- линейные помехи, приводящие к многочисленным изменениям битов, часто проходят через простую систему обнаружения ошибок протокола XMODEM незамеченными;
- простые символы управления (ACK, NAK, EOT) часто портятся, что приводит к передаче других символов и, соответственно, к ошибочным действиям и большим временным издержкам. Если в результате порчи символа получается символ Control-X, то передача файла прекращается;
- скользящие окна, являющиеся более эффективными при использовании протокола, в данной ситуации использовать нельзя, поскольку символы ответа NAK или ACK не имеют соответствующего порядкового номера. **Это способствует неэффективной работе коммуникационной системы с большими временами задержки;**
- для создания пакета символов требуются 8 битов, что не позволяет использовать их в коммуникационных системах, которые отводят на каждый символ только 7 битов.

Большим достоинством протокола XMODEM является то, что он предусмотрен всеми распространенными коммуникационными программами (такими, как Windows Terminal). Этот стандарт de facto полезен для передачи файлов между различными несовместимыми компьютерными системами, которые общим имеют только протокол XMODEM. Следует, однако, отметить, что протокол XMODEM часто используется просто для переноса более эффективного протокола передачи файлов (такого, как ZMODEM) с одной машины на другую. Результатом может быть большая экономия времени и, соответственно, оплата за время связи.

Протокол YMODEM

Этот протокол был введен в качестве улучшения протокола XMODEM и получил очень широкое распространение, поскольку стал всеобщим достоянием и был написан на языке C.

Функциональные возможности протокола:

- протокол YMODEM имеет меньше служебных издержек, чем XMODEM, поскольку его кадр содержит 1024 байта, которые можно передавать одним блоком. Протокол YMODEM достаточно гибок и позволяет уменьшить размер блока данных до 128 байт, если частота появления ошибок очень велика (что приводит к многочисленным повторным передачам);
- протокол YMODEM более надежен, чем XMODEM. Чтобы прекратить передачу файла, должна быть принята последовательность символов: Control-X, Control-X (или два символа CAN). Это предотвращает непредумышленные прекращения передачи файла вследствие ошибок на линии;
- для обеспечения высокой степени обнаружения ошибок используется контроль с помощью циклического избыточного кода;
- информация, связанная с файлом (имя, время, дата и размер файла), также передается на принимающий компьютер;
- можно передавать несколько файлов, используя возможность протокола производить групповую передачу;
- в основе передачи файла лежат 8-разрядные данные. Это приводит к некоторым проблемам, обсужденным ранее для протокола XMODEM;
- для передачи пакетов данных используется принцип передачи ожидания ARQ. Невозможность использования адекватного скользящего окна является причиной неэффективности системы с большими временными задержками.

Протокол ZMODEM

Этот протокол был разработан для преодоления ограничений, имеющихся в предыдущих протоколах передачи данных. Характерные особенности протокола ZMODEM:

- помимо группового переноса файлов, что является стандартной возможностью; полезной особенностью является то, что ZMODEM может начинать повторную передачу файла с той точки, в которой произошел обрыв связи (с точностью до байта, на котором была нарушена связь);
- протокол ZMODEM не будет производить передачу файла, если такой файл уже существует на жестком диске принимающего компьютера. Эта проверка производится протоколом ZMODEM автоматически и позволяет экономить время;
- производится лучшее обнаружение и коррекция ошибок, что реализуется использованием механизма CRC-32;
- можно производить сжатие данных – это увеличивает скорость передачи данных;

- для улучшения производительности канала связи с большими задержками используется способ скользящего окна. Программа может автоматически изменять размер пакета от 1024 байт и меньше – это позволяет увеличить помехозащищенность данных.

Протокол Kermit

В основе протокола Kermit лежит пакетный протокол передачи и ожидания ARQ. Передатчик передает пакет, а затем ждет от приемника подтверждения принятия пакета. Приемник может затем запросить либо следующий пакет (символ AC K), либо повторную передачу предыдущего пакета (символ NAK).

Хотя протокол Kermit во многом схож с протоколом XMODEM, но у него есть важные отличия:

- Kermit может передавать несколько файлов за одну сессию передачи файлов;
- пакеты могут иметь разную длину;
- каналы ввода/вывода должны передавать только печатные символы ASCII;
- определены несколько типов пакетов;
- ответы приемника должны состоять из целых пакетов;
- передатчик и приемники «договариваются» о важных рабочих параметрах, таких как заполняющая информация и т.п.;
- **название файла включается в протокол;**
- уведомляющие пакеты делают протокол открытым.

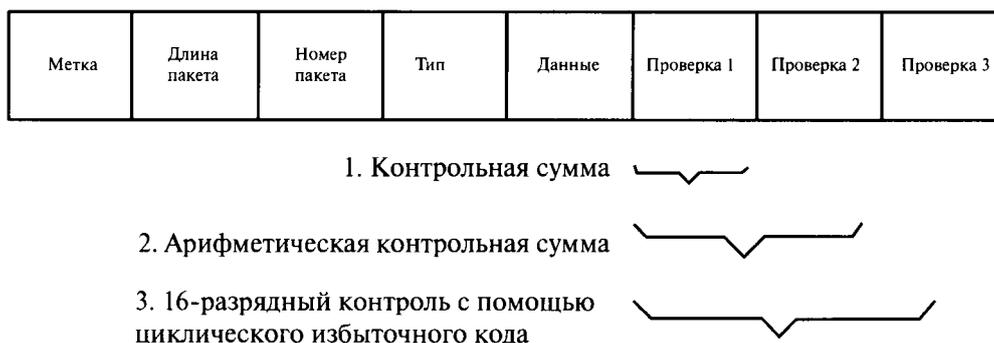


Рис. 8.7. Пакет протокола Kermit

Рабочая последовательность протокола Kermit начинается аналогично протоколу XMODEM, по которому приемник передает повторные NAK пакеты до тех пор, пока передатчик не ответит отправлением уведомляющего пакета, называемого в протоколе Kermit иницирующим пакетом. Приемник сообщает о своих предпочтениях путем их включения в пакет АСК. Когда весь файл будет передан, отправитель передает специальный пакет окончания файла. Если есть еще файлы, которые необходимо передать, то он передает заголовочный пакет следующего файла. Когда все файлы будут переданы, передатчик посылает пакет окончания передачи, сигнализирующий об окончании сессии

Метка	–	начало байта сигнатуры, SOH. Это единственный канонический контрольный бит, допустимый в пакете.
Длина	–	количество байтов в пакете, следующем за этим полем.
Номер пакета	–	номер текущего пакета по модулю 64
Тип	–	единственный буквенный символ ASCII, идентифицирующий тип пакета (например, «D» для данных)
Данные	–	содержимое этого поля определяет фактический тип пакета
Проверка 1	–	контрольное значение пакета.
Проверка 2		
Проверка 3		

Примечание. Протокол Kermit преобразует перед передачей символы «высокого риска» в печатные символы. Управляющие символы, таким образом, перед передачей смещаются в печатную форму, а после приема трансформируются обратно. К символам высокого риска относятся те символы, которые компьютерная система, в силу своей особенности, может изменить или отбросить.

Описание	XMODEM	YMODEM	ZMODEM	KERMIT
Типы передачи файла				
Одиночный файл	Да	Да	Да	Да
Группа файлов	Нет	Да	Да	Да
Текст/данные/ двоичная информация	Да	Да	Да	Да
Количество битов данных	8	8	8	7 или 8
Сжатие данных	Нет	Нет	Да	Да
Контроль за ошибками	Контрольная сумма	Контрольная сумма / CRC-CCITT	CRC-CCITT / CRC-32	Контроль- ная сумма / CRC-CCITT
Ответ при контроле за ошибками	Один символ	Один символ	Один символ	Пакетный кон- троль за ошиб- ками
Размер пакета данных (байты)	128	1024	1024	0 – 95
Передача атрибутов файлов				
Размер/время/ дата файла	Нет	Да	Да	Да
Поддержка скользящего окна	Один пакет	Один пакет	1 или несколько пакетов	1 или несколь- ко пакетов
Параметры соглашения				
Размер пакета	Нет	Да	Да	Да
Пакеты в Windows	Нет	Нет	Да	Да
Тип контроля за ошибками	Нет	Да	Да	Да
Сжатие данных	Нет	Нет	Да	Да
Контроль XON/XOFF	Нет	Нет	Да	Да

Таблица 8.4. Сравнение протоколов передачи файлов

Лекция 9

Модель взаимодействия открытых систем (OSI)

Назначением модели OSI является обеспечение общей базы для разработки стандартов взаимодействия систем. Открытая система – это система, которая соответствует спецификациям и рекомендациям, «открытым» для всех.

Цели

Завершив изучение, вы сможете:

- описать передачу данных для систем контроля и управления;
- перечислить и описать семь уровней эталонной модели взаимодействия открытых систем;
- привести пример применения модели OSI.

9.1. Передача данных в системах контроля и управления

В цифровых каналах передачи данных соединение двух или большего количества устройств вместе является одним из первых шагов в создании сети. Помимо соблюдения определенных аппаратных требований необходимо использовать и программное обеспечение. Если все устройства в сети изготовлены одним производителем, то любые аппаратные и программные проблемы легко преодолеваются, поскольку система обычно проектируется с учетом одинаковых рекомендаций и спецификаций. Если же в одной сети используются устройства, выпущенные разными производителями, то могут возникать проблемы.

Сети, в которых используются устройства от одного производителя или специализированная аппаратура и протоколы, называются закрытыми системами. Большинство таких сетей было разработано до введения стандартов, когда не предполагалось, что к сети будет подключаться оборудование других производителей.

В противоположность закрытым системам открытые системы – это системы, которые соответствуют определенным спецификациям и руководствам и которые «открыты» для всех. Это позволяет использовать в одной сети оборудование от разных производителей, которые заявляют о его соответствии стандартам.

В 1978 году Международная организация по стандартизации (ISO) ощутила тенденцию распространения закрытых сетевых систем и определила модель для организации связи между открытыми системами. Эту модель стали называть «эталонной моделью взаимодействия открытых систем» (OSI), или более корректно – Модель ISO/OSI (ISO 7498). Она может быть применена ко всем коммуникационным системам – от персональных компьютеров до спутниковых каналов связи.

ISO определяет цель эталонной модели OSI следующим образом: «Обеспечение общей базы для координации разработки стандартов, предназначенных для взаимодействия систем, с учетом того, что в перспективе существующие стандарты будут описаны в рамках общей эталонной модели».

По существу, OSI является управляющей структурой, которая упрощает передачу данных в иерархической системе из семи уровней. Каждый уровень имеет определенное назначение и взаимодействует с соседними верхним и нижним уровнями. Стандарты определяются для каждого уровня таким образом, чтобы обеспечить некоторую гибкость, позволяя проектировщикам системы разрабатывать независимые уровни протоколов. Любые два или более уровней вместе образуют так называемый стек протоколов.

Важно понимать, что эталонная модель OSI является не протоколом или набором правил написания протокола, а общим каркасом, определяющим протоколы. Построение модели OSI четко и конкретно определяет функции или службы, которые должны обеспечиваться каждым из семи уровней (или слоев).

Эталонная модель OSI состоит из следующих семи уровней.

- | | |
|-----------------------------|--|
| • Уровень 1 – физический | Электрические и механические свойства системы |
| • Уровень 2 – канальный | Создание кадров данных и коррекция ошибок |
| • Уровень 3 – сетевой | Определение пути передачи сообщения от одной сети к другой |
| • Уровень 4 - транспортный | Определение канала передачи сообщений от одного прикладного процесса к другому |
| • Уровень 5 - сеансовый | Организация и синхронизация передачи данных |
| • Уровень 6 - представления | Форматирование или кодирование/декодирование данных |
| • Уровень 7 – прикладной | Передача данных, обмен сообщениями |

Модель OSI может быть визуализирована как набор объектов, таких как программное или аппаратное обеспечение, подходящее для каждого из семи уровней. Обмен

данными в сети производится в форме пакетов, каждый пакет создается на узле источнике и передается на узел назначения. Фактически пакет начинает движение с верхнего уровня и проходит вниз через все уровни. Когда пакет движется вниз от одного уровня к другому, он помещается в «протокольную оболочку». Каждая оболочка, таким образом, включает само сообщение и всю протокольную оболочку от верхнего уровня. Протокольная оболочка содержит адресную и управляющую информацию, которая сообщает следующему, нижнему уровню, что делать с этим пакетом, а нижний уровень только считывает информацию.

Когда пакет достигает уровня 1, который является физическим уровнем, он передается по физическому каналу связи к следующему узлу, в соответствии с адресом назначения. На принимающем узле пакет перемещается вверх по стеку протоколов, теряя на каждом уровне внешнюю протокольную оболочку. Фактически сетевой уровень принимающего узла видит пакет, приходящий непосредственно от сетевого уровня передающего узла, поскольку он имеет соответствующую оболочку. По этой причине эквивалентные уровни разных узлов называются **равноправными объектами** и считается, что между ними существует **виртуальный канал**.

Рис. 9.1 показывает, что пакет должен попасть только на уровень 3, сетевой уровень промежуточного узла. Это обусловлено тем, что оболочка протокола сетевого уровня содержит всю информацию, необходимую для передачи пакета по каналу связи.

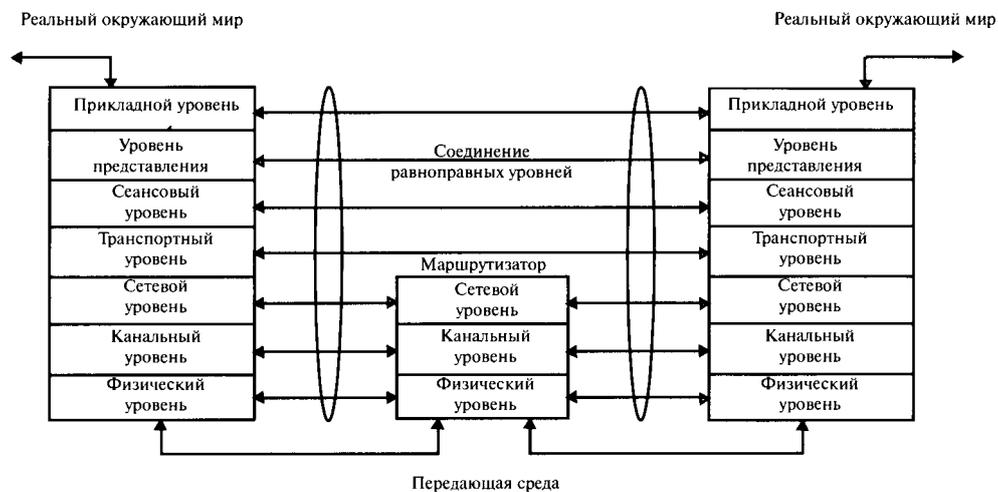


Рис. 9.1. Уровни модели OSI

9.2. Отдельные уровни OSI

Уровень 7: прикладной уровень

Прикладной уровень является самым верхним уровнем OSI/RM. Он отвечает за предоставление приложениям доступа к сети. Примерами задач прикладного уровня являются передача файлов, электронная почта и сетевое управление.

Для выполнения этих задач прикладной уровень передает запросы программ и данных на уровень представления, который отвечает за кодирование данных прикладного уровня и их перевод в соответствующую форму.

Уровень 6: уровень представления

Данный уровень преобразует данные в форму, подходящую для транспортного уровня. Он преобразует формат и синтаксис данных, обеспечиваемых приложениями, и производит кодирование и сжатие данных.

Уровень 5: сеансовый уровень

Данный уровень управляет взаимодействием между устройствами. Он определяет использование программного обеспечения, которое позволяет обращаться к другому устройству по имени, а не с помощью двоичного адреса (логическая адресация). Он также обеспечивает восстановление прерванных сеансов связи.

Уровень 4: транспортный уровень

Данный уровень определяет:

- управление связью между двумя концами системы;
- передачу данных с согласованным качеством;
- учет и корректное сегментирование пакетов в больших сообщениях, что улучшает надежность передачи данных.

Уровень 3: сетевой уровень

Данный уровень определяет:

- маршрутизацию пакетов информации по сети;
- регламентирование и передачу сообщений состояния другим устройствам сети;
- разбиение больших пакетов, принимаемых от транспортного уровня, на маленькие пакеты;
- обеспечение прохождения кадров через нижерасположенную сеть.

Уровень 2: канальный уровень

Данный уровень необходим всегда и он определяет:

- способ доступа к сети для передачи и приема сообщений;

- обращение с принятой информацией и ее подтверждение;
- процедуры управления потоком данных между пользователями.

Уровень 1: физический уровень

Этот уровень необходим всегда и определяет физическое соединение между компьютером и сетью. Он обеспечивает канальный уровень (уровень 2) физическими средствами передачи данных в сеть. Этот уровень отвечает за:

- топологию сети;
- электрические аспекты, касающиеся напряжений и токов;
- способы модуляции сигнала;
- механические аспекты, касающиеся соединений (т.е. кабели и разъемы).

Примечание. Реальная среда подразумевается, но в рассмотрение не включается.

9.3. Аналогия OSI

Ниже приводится простая аналогия, помогающая лучшему пониманию модели OSI.

Франкоговорящий менеджер хочет послать из своего офиса в Париже письмо, содержащее обращение к своему коллеге, говорящему на английском языке и находящемуся в Чикаго. Французский менеджер просто диктует письмо своей секретарше, которая переводит его на английский язык. Французский менеджер является прикладным уровнем, а его секретарша – уровнем представления.

Далее письмо переходит к клерку, который записывает все детали в файл или связывается с чикагской компанией, чтобы убедиться в правильности обращения и адреса менеджера в Чикаго. Клерк в данном случае представляет сеансовый уровень.

Менеджер по доставке получает письмо, организует доставку письма и убеждается в качестве службы доставки. Он также делает копию письма на случай его вторичной отправки. Менеджер является транспортным уровнем.

Следующим в линии идет клерк по доставке, кто определяет путь доставки письма. Он определяет, что наилучшим маршрутом для письма является его передача через офис компании в Бостоне. Клерк представляет сетевой уровень. Затем письмо передается в экспедицию, где оно взвешивается вместе с другими письмами, направляемыми в Чикаго с курьером. Вес указывается на сумке курьера, чтобы на другом конце убедиться в отсутствии разногласий с весом. Экспедиция является канальным уровнем.

Сумка с почтой затем передается в корабельный док, который действует, как физический уровень.

Когда письмо будет получено в Чикаго, повторится весь описанный выше процесс, но в обратном порядке.

9.4. Пример модели OSI для промышленного контроля

Ниже приводится пример последовательности операций, необходимых для передачи такой команды, как «изменить уставку» на выходе удаленного программируемого логического контроллера.

- с помощью меню прикладной программы, имеющейся на операторской станции, пользователь выбирает команду. Например, «изменить уставку для удаленного клапана с 20 до 95%»;
- системное программное обеспечение с помощью меню выдает команду на прикладном уровне произвести необходимое изменение. Этот уровень можно считать аналогичным интерфейсу DOS на компьютере, имеющему ряд команд высокого уровня, действующих в качестве интерфейса пользователя;
- прикладной уровень передает сообщение к уровню представления, который транслирует его в форму, используемую системой. Например, он может транслировать текстовое кодирование, используемое прикладным уровнем, в подходящий для системы формат на основе кода ASCII;
- сеансовый уровень позволяет двум объектам прикладного протокола (на операторской станции и удаленном программируемом логическом контроллере) синхронизировать работу, установить связь и управлять обменом данными между ними. Он позволяет организовывать различные запросы в виде очереди и передавать их по порядку;
- транспортный уровень образует интерфейс между более высокими уровнями OSI и нижними уровнями сети и канала связи. Он экранирует более высокие уровни от конкретной работы нижних уровней. Транспортный уровень обеспечивает различные виды сервисов, например добавление адреса к сообщению, полученному от сеансового уровня;
- **сообщение передается на сетевой уровень, который** определяет подробную маршрутизацию сообщения, необходимую для его передачи по сети на удаленный программируемый логический контроллер;
- затем сообщение передается на канальный уровень, который вычисляет контрольную последовательность кадра, необходимую для обнаружения ошибок, и к нему добавляются адреса источника и места назначения;
- физический уровень осуществляет модуляцию физического подключения с использованием соответствующего набора битов, полученного от канального уровня.

На программируемом логическом контроллере весь этот процесс повторяется в обратном порядке.

9.5. Упрощенная модель OSI

Для многих промышленных протоколов использование всех семи уровней модели OSI не подходит, поскольку приложение может требовать очень быстрого ответа. Поэтому для промышленных применений часто предпочитают упрощенную модель OSI, в которой более важным является скорость коммуникации, а не функциональность коммуникаций, предусматриваемая семиуровневой моделью.

Обычно большинство промышленных протоколов пишутся в пределах трех уровней: физического, канального и прикладного .

При реализации сокращенной модели OSI имеются следующие ограничения:

- поскольку транспортный уровень отсутствует, то максимальный размер прикладных сообщений ограничен максимальным размером, допускаемым каналом;
- из-за отсутствия сетевого уровня невозможна маршрутизация сообщений между разными сетями;
- отсутствие сеансового уровня не позволяет использовать полнодуплексный режим;
- из-за отсутствия уровня представления форматы сообщений должны быть одинаковыми для всех узлов.

Стандарты протоколов MiniMap и Fieldbus используют сокращенную трехуровневую модель OSI. Аналогично и некоторые другие промышленные протоколы, такие как Allen Bradley Data Highway Plus, Modbus Plus, и протоколы интеллектуальных измерительных приборов HART стандартизованы только для трех уровней.

Одной из проблем, возникающих при использовании модели OSI, является взаимодействие сетей и необходимость определения дополнительного уровня, называемого **пользовательским**. Этот вопрос рассматривается в главе 12.

Лекция 10

Промышленные протоколы

Рассматриваются промышленные протоколы – от прямого протокола ASCII типа, до промышленного стандарта Modbus. Затрагивается также довольно сложный протокол Allen Bradley Data Highway Plus. Большая часть этой лекции посвящена программным, а не физическим аспектам протоколов, которые рассматриваются в других лекциях

Цели

Завершив изучение, вы сможете:

- описать особенности промышленных протоколов;
- описать использование протоколов на основе ASCII;
- описать команды чтения и записи протокола ANSI-X3.28-2.5-A4;
- перечислить и описать три структуры Modbus;
- описать протокол Modbus:
 - формат сообщения
 - способ синхронизации
 - расположение в памяти
 - функциональные коды
 - реакция на исключительные ситуации;
- описать протокол Allen Bradley Data Highway;
- описать протокол Allen Bradley Data Highway Plus;
- описать уровни модели OSI, используемые протоколом Allen Bradley Data Highway Plus;
- описать применение протоколов MAP/TOP.

10.1. Введение

В некотором смысле различие между промышленными и коммерческими (обработка данных) протоколами весьма искусственна. Имеется, однако, несколько особенностей, присутствующих в промышленных протоколах, которые могут сделать их полезными инженеру на заводе. К ним относятся:

- Простота отладки системы.
Если уровень промышленных коммуникационных систем на заводе предполагается невысоким, то есть смысл выбирать простой протокол например один из протоколов ASCII.
- Высокая степень целостности передаваемых данных.
Если в промышленном окружении существуют электрические помехи, а наличие ошибок при передаче данных недопустимо (например, канал связи управляет критическими объектами), то должен выбираться протокол с высокой степенью контроля за ошибками, например контроль с помощью циклического избыточного кода.
- Стандартизация протокола.
Могут быть требования по подключению PLC или промышленных систем других производителей. В этом случае подойдет такой общепринятый протокол, как Modbus.
- Высокая скорость обновления параметров.
Может быть необходимость практически одновременного обновления **нескольких** параметров для нескольких управляющих устройств. В такой ситуации может подойти один из новых протоколов FieldBus, обеспечивающий небольшую задержку между передачей параметров на первый и последний приборы.

10.2. Протоколы на основе кода ASCII

Протоколы на основе кода ASCII распространены из-за их простоты. Их главным недостатком является то, что они медленны и становятся совершенно «неповоротливыми» для больших систем, когда возникает необходимость коммуникации нескольких узлов сети друг с другом (а не простой режим одного главного и нескольких подчиненных устройств).

Таким образом, протоколы на основе ASCII кодов обычно используются только для медленных систем, когда одно главное устройство передает информацию ограниченному числу подчиненных устройств (предпочтительно одному).

Протоколы на основе кода ASCII популярны также для автономных измерительных приборов, если к существующей системе был добавлен последовательный интерфейс без каких-либо больших модификаций. В основном это означает, что дополнительный последовательный порт считается измерительным прибором, еще одной клавиатурой.

Хотя протоколы на основе кода ASCII кажутся очень простыми, опыт автора показывает, что они могут оказаться сложными в реализации из-за плохого описания, предоставляемого некоторыми производителями.

Ниже представлены два протокола на основе кода ASCII. Первый предназначен для интеллектуальных передатчиков, а второй – для приводов с регулируемой скоростью. Интеллектуальный передатчик имеет довольно простую структуру протокола, в то время как протокол ANSI-X3.28-2.5-A4 является достаточно сложным.

Протоколы для цифровых передатчиков на основе кода ASCII

За последнее время на рынке появилось множество передатчиков цифровых сигналов, которые принимают сигнал от разных датчиков и процессов и передают данные в цифровом виде на последовательный порт компьютера или другое устройство на основе процессора. Данные также передаются от компьютера через передатчик сигналов на управляющие устройства (через цифровой или аналоговый выход преобразователя). Для организации связи между передатчиком сигнала и компьютером используются стандарты RS-232 или RS-485.

Каждый цифровой передатчик является законченной одноканальной интерфейсной системой с электронной схемой преобразования аналогового сигнала, оптимизированной для конкретного типа входа. Аналоговые входные сигналы оцифровываются с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), а аналоговые выходные сигналы получаются из цифрового сигнала с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Все данные сохраняются в буфере в формате ASCII, содержимое которого может обновляться восемь раз в секунду. Главный компьютер может передавать или запрашивать данные от/к передатчику путем отправки к нему простых ASCII команд.

Существует множество модификаций стандартных передатчиков, имеющих, например, высокочастотные входы, цифровые входы и выходы, входы для подключения термомпар и резистивных термодатчиков (RTD), а также аналоговые выходы.

Коммуникационное оборудование

Стандарт RS-232 используется для двухточечной коммуникационной системы (точка-точка), но эти передатчики могут быть настроены на работу с несколькими блоками, подключенными к одному коммуникационному порту RS-232. Однако поскольку стандарт RS-232 не позволяет организовать систему, состоящую из нескольких узлов, то блоки включаются последовательно, как показано на рис. 10.1. В этой сети любой символ, переданный главным компьютером, принимается каждым передатчиком и передается к следующему устройству до тех пор, пока передатчик не «узнает» свой адрес и затем передаст ответ, который последовательно будет передан через другие передатчики в цепочки.

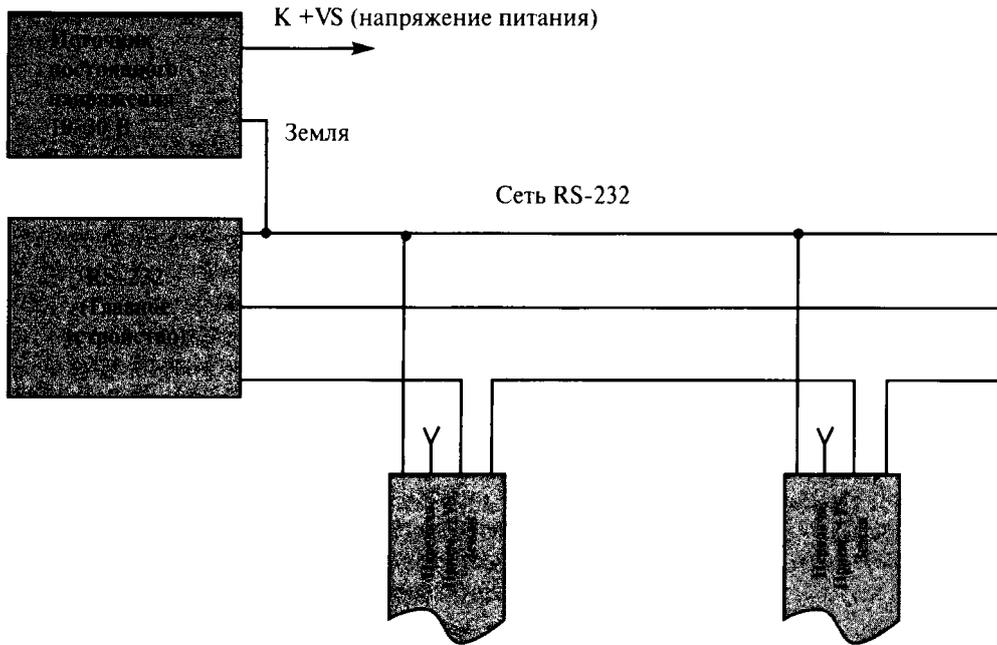


Рис. 10.1. Связь интерфейса RS-232 с интеллектуальными передатчиками

Для многоточечных систем используется полудуплексный режим стандарта RS-485. Если к одному порту RS-485 необходимо подключить более 32 модулей, то для усиления сигнала и питания дополнительных модулей потребуется повторитель (рис. 10.2).

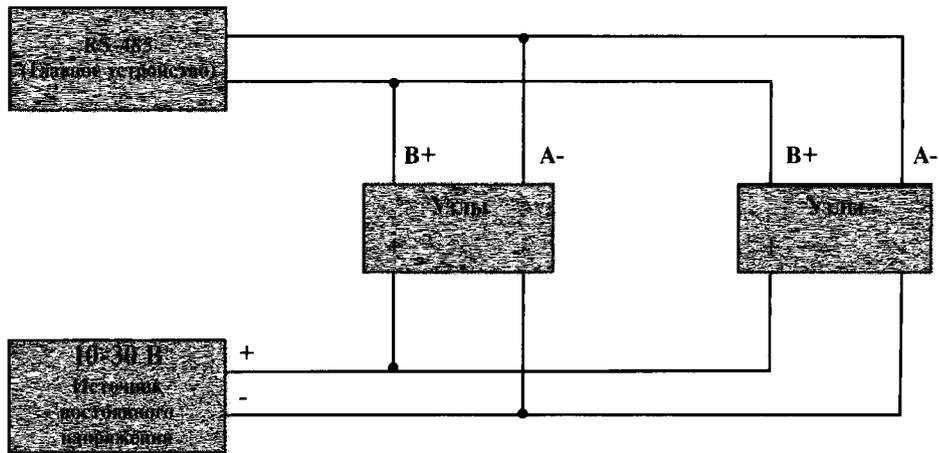


Рис. 10.2. Связь интерфейса RS-485 с интеллектуальными передатчиками

Модуль передатчика содержит электронно-перепрограммируемую постоянную память (EEPROM), предназначенную для хранения настроечной информации и калибровочных констант. Поскольку пользователь может забыть задать коммуникационные параметры (например, скорость в бодах), то модуль можно установить в режим, используемый по умолчанию, для которого принимается скорость передачи 300 бод, проверка на четность отсутствует и распознается любой адрес.

Структура протокола

Для организации связи между главным компьютером и передающим модулем используется простой протокол типа команда/ответ на основе кода ASCII. Последовательность команд всегда генерирует главный компьютер.

Связь осуществляется с помощью командных кодов, состоящих из двух символов ASCII. Все аналоговые данные запрашиваются в виде строки из девяти символов, состоящей из знака, пяти цифр, десятичной точки и двух дополнительных цифр. Типичная форма команд/ответов показана на рис. 10.3

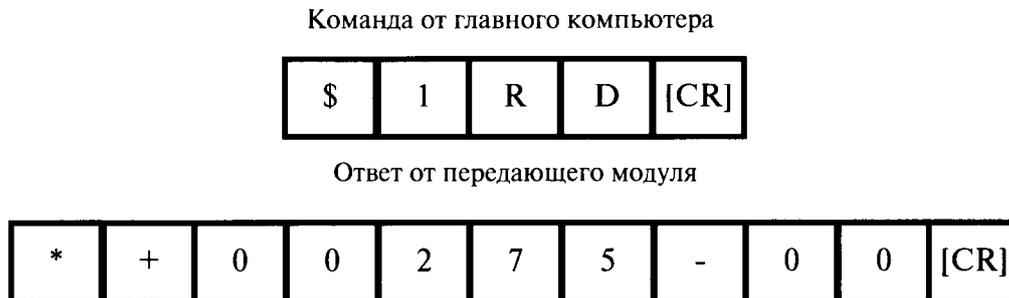


Рис. 10.3. Короткая форма команд и ответов

Эта команда передается по адресу 1 и принимает ответное значение 275.00. Максимальная длина команд и сообщений составляет 20 печатаемых символов (т.е. не управляющих символов ASCII кода).

Модификацией короткой формы команд и ответов является длинная форма, которая используется для обеспечения большей целостности ответов, она повторяет командное сообщение и добавляет контрольную сумму блока данных в конце сообщения. Длинная форма команды инициируется с помощью знака # (а не знака \$), который ставится в начале сообщения. Следует отметить, что по усмотрению главного компьютера ко всем командным сообщениям может опционально добавляться контрольная сумма из двух символов.

Контрольная сумма является простой суммой шестнадцатеричных значений всех ASCII символов сообщения.

Команда от главного компьютера



Ответ от передающего модуля

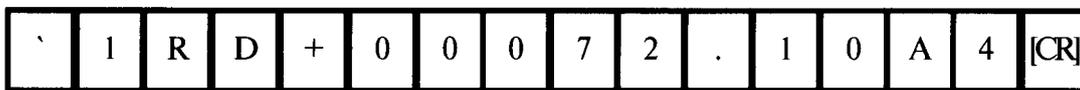


Рис. 10.4. Длинная форма команд и ответов

Примечание. Вычисление контрольной суммы для ответа производится следующим образом:

Символ ASCII	Шестнадцатеричное значение	Двоичное значение
*	2A	0101010
1	31	0110001
R	52	1010010
D	44	1000100
+	2B	0101011
0	30	0110000
0	30	0110000
0	30	0110000
7	37	0110110
2	32	0110001
.	2E	0101110
1	31	0110001
0	30	0110000
Сумма	2A4	

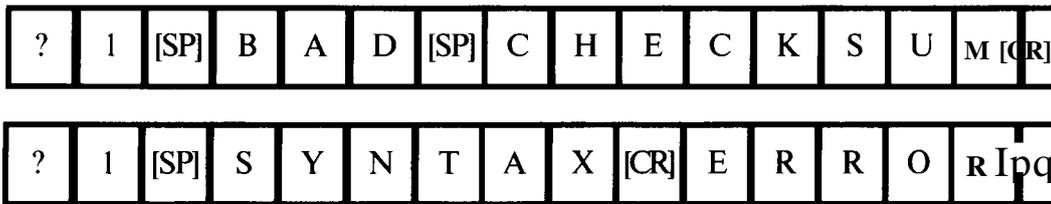
Таблица 10.1. Вычисление контрольной суммы

Два отбрасывается и в конце сообщения добавляется A4.

Необходимо отметить, что A и 4, будучи шестнадцатеричными символами, должны передаваться их ASCII эквивалентами.

Ошибки

Если модуль передатчика указывает на то, что он принял сообщение с ошибкой, то он будет отвечать символом «?». И наоборот, может не быть никакого ответа, если были использованы некорректный адрес или команда. Типичные ответы на ошибку приведены на рис. 10.5.



Примечание. [SP] является символом пробела ASCII

Рис. 10.5. Типичные ответы на ошибку

10.3. Протокол ANSI-X3.28-2.5-A4 на основе ASCII кода

Примером протокола на основе кода ASCII является стандарт ANSI-X3.28-2.5-A4. Один из производителей приводов с регулируемой скоростью, Control Techniques, использует этот протокол для связи программируемого контроллера или персонального компьютера с 32 приводами. Обычно для реализации этого протокола предпочтительен интерфейс RS-485.

Общий подход

Стандарт ANSI-X3.28-2.5-A4 определяет формат и последовательность символов сообщения. Типичная структура сообщения, используемая стандартом RS-485, это:

- 10-битовый символ, состоящий из одного стартового бита, семи битов кода ASCII, бита четности (нечетности) и одного стопового бита.
- Выбираемая скорость передачи битов - от 300 до 19200 бит/с.
- До 32 приводов или подчиненных устройств, подключаемых к сети.

Имеется два типа команд:

- команда READ (чтение) от компьютера к конкретному приводу, запрашивающая информацию о каком-либо параметре;
- команда WRITE (запись) от ПК к конкретному приводу на изменение параметров READ/WRITE.

Кадр запроса READ (Передача 1)

ЕОТ(^D) Сброс канала связи	ADD Адресное поле	PAR Поле параметра	ENQ(^E) Запрос
1 байт	4 байта	3 байта	1 байт

Кадр ответа на запрос READ (Передача 1)

STX (^B) Начало текста	PAR Поле параметра	DATA Поле данных	ETX (^C) Конец текста	BCC Контрольная сумма блока
1 байт	3 байта	6 байтов	1 байт	1 байт

Рис. 10.6. Формат запроса READ и ответ на него (Передача 1)

Команда чтения READ

Команда чтения и ответ на нее имеет формат, показанный на рис. 10.6.

В запросе READ используются следующие символы ASCII:

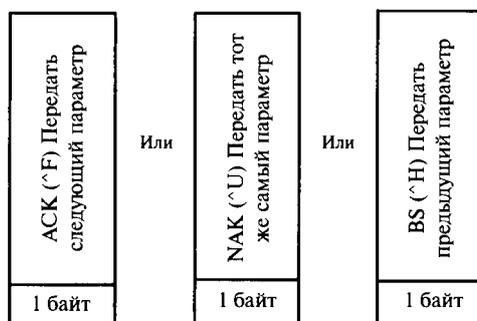
- ЕОТ (1 символ)
Сброс всех устройств, подключенных к последовательному каналу.
- ADD (4 символа)
Протокол поддерживает адресацию до 32 устройств. Чтобы обеспечить целостность данных, каждый символ адреса передается дважды. Например, если привод имеет адрес 14, то ADD = 1144.
- PAR (3 символа)
Информация о параметре, имеющая диапазон 0 - 999. Для битовых параметров к номеру бита прибавляется 100.

- ENQ (1 символ)
Окончание сообщения.

В ответе на команду READ используются следующие символы ASCII:

- STX (1 символ)
Указывает главному устройству начало ответа.
- PAR (3 символа)
См. выше.
- DATA (6 символов)
Первый символ состоит из полярности (или пробела, если полярность не-важна). Остальные символы приходятся на четыре цифры и десятичную точку.
- ETX (1 символ)
Указывает главному устройству на окончание данных.
- BCC (1 символ)

Кадр запроса READ (Передача 2)



Кадр ответа на запрос READ (Передача 2)

STX (^B) Начало текста	PAR Поле параметра	DATA Поле данных	ETX (^C) Конец текста	BCC Контрольная сумма блока
1 байт	3 байта	6 байт	1 байт	1 байт

Рис. 10.7. Формат запроса READ и ответ на него (Передача 2)

Контрольная сумма блока является механизмом контроля за ошибками. Она вычисляется путем выполнения операции Исключающее ИЛИ по отношению к числу параметра, данных и ASCII символа EOT. Иногда BCC отключается аппаратным образом и возвращается только символ CR.

Обмен сообщениями между главным и подчиненным устройствами может продолжаться после первого кадра запроса READ и ответа:

- путем перехода к следующему (по очереди) параметру передачи символа АСК
- или
- путем возврата к предыдущему (по очереди) параметру передачи символа BS
- или
- путем повторного запроса того же самого параметра передачи к подчиненному устройству символа NAK.

Эта процедура может быть повторена бесконечное число раз (до конца списка параметров). Передача символа EOT сбрасывает все устройства сети.

Команда записи WRITE

Для символов применимы те же самые описания, что и для команды READ. Кроме того, подчиненное устройство возвратит символ NAK, если параметр привода, данные или BCC содержат ошибку.

Кадр команды записи (Передача 1)

EOT (^D) Сброс канала связи	ADD Адресное поле	STX (^V) Начало текста	PAR Поле параметра	DATA Поле данных	ETX (^C) Конец текста	BCC Контрольная сумма блока
1 байт	4 байта	1 байт	3 байта	6 байт	1 байт	1 байт

Кадр ответа на команду записи (Передача 1)

АСК (^F) Данные приняты	Или	NAK (^U) Недействительное сообщение
1 байт		1 байт

Рис. 10.7. Формат команды WRITE и ответ на нее

Кадр команды записи (Передача 2)

STX (^B) Начало текста	PAR Поле параметра	DATA Поле данных	ETX (^C) Конец текста	BCC Контрольная сумма блока
1 байт	3 байта	6 байт	1 байт	1 байт

Кадр ответа на команду записи (Передача 2)

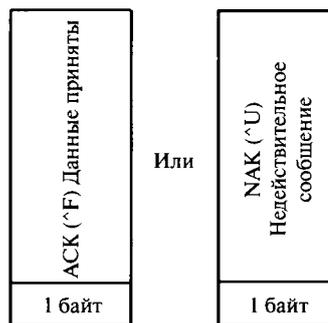


Рис. 10.9. Формат команды WRITE

Если в привод требуется записать следующие данные, то необходимо придерживаться последовательности, описанной на рисунке 10.9.

10.4. Протокол Modbus

Общий обзор

Протокол передачи Modbus был разработан компанией Gould Modicon (теперь AEG) для систем управления процессами. В противоположность многим обсужденным шинам интерфейс не был стандартизован.

Пользователь может выбирать между интерфейсами RS-422, RS-485 или токовой петлей 20 мА, каждый из которых подходит для скоростей передач данных, определяемых протоколом.

Хотя протокол Modbus является относительно медленным по сравнению с другими шинами, он имеет преимущество в том, что широко распространен среди производителей и пользователей измерительных приборов. Оборудование с протоколом Modbus

выпускают от 20 до 30 производителей, а в промышленности уже давно используются многие подобные системы, поэтому этот протокол можно считать промышленным стандартом de facto. Недавний обзор в хорошо известном американском журнале Control Engineering показал, что протокол Modbus используется более чем в 40% промышленных коммуникационных систем. Помимо стандартного протокола Modbus имеются еще две его разновидности:

- Modbus Plus
- Modbus II

Наибольшее распространение получил протокол Modbus Plus. Это не открытый стандарт, которым стал классический протокол Modbus. Modbus II используется менее широко из-за дополнительных требований к кабельному хозяйству и других сложностей.

Доступ к шине Modbus осуществляется на принципе главное/подчиненное устройство, причем протокол предусматривает для одного главного устройства до 247 подчиненных устройств. Транзакции производит только главное устройство.

Транзакции имеют тип запросов/ответов, когда обращение производится только к одному подчиненному устройству или сразу ко всем подчиненным устройствам (без ответа). Транзакция включает один кадр запроса и один кадр ответа или один кадр обращения ко всем устройствам.

Некоторые параметры протокола Modbus фиксированы, такие как формат кадра, последовательность кадров, обработка коммуникационных ошибок и **исключительных ситуаций, а также выполняемые функции. Другие параметры можно выбирать.** К ним относятся среда, характеристики и режим передачи – RTU или ASCII. Пользовательские характеристики устанавливаются на каждом устройстве и не могут быть изменены во время работы системы.

Протокол Modbus формирует кадры для передачи сообщений между главным и подчиненным устройствами. Информацией сообщений является адрес предполагаемого приемника, действие приемника, данные, необходимые для выполнения этого действия, и средства контроля за ошибками. Подчиненное устройство считывает сообщения и, если ошибок не обнаружено, выполняет действия и посылает ответ главному устройству. Информация в ответном сообщении: адрес подчиненного устройства, выполненное действие, результат действия и контроля за ошибками. Если начальное сообщение предназначалось для всех устройств, то от подчиненных устройств никакого подтверждения не требуется.

Обычно, как только главное устройство примет ответное сообщение, оно может посылать другой запрос. Функция контроля за длительностью выполнения операции обеспечивает работу системы даже в том случае, если запрос будет принят некорректно.

Обмен данными может происходить в двух режимах передачи:

- ASCII - читаемый код, используется, например, для диагностики
- RTU - компактный и быстрый, используется для обычной работы (шестнадцатичисленные коды)

RTU режим (иногда называемый также Modbus-B для двоичного режима Modbus) является предпочтительным режимом Modbus и будет обсуждаться в этом разделе ниже. Типичное сообщение в режиме передачи кодов ASCII имеет вдвое большую длину по сравнению с эквивалентным RTU сообщением.

Modbus также предусматривает контроль за коммуникационными ошибками. Коммуникационные ошибки обнаруживаются по кадру символа путем проверки на четность, а также с помощью циклического избыточного кода (CRC). Применение последнего зависит от используемого режима передачи - RTU или ASCII.

Функции Modbus

Все функции, поддерживаемые протоколом Modbus, распознаются по идентификационному номеру. Функции используются в качестве управляющих команд для полевых измерительных приборов и исполнительных механизмов. К этим функциям относятся:

- команды управления катушками для чтения состояния и установки одной или группы катушек;
- команды управления входами для чтения состояния одного или группы входов;
- команды управления регистрами для чтения и установки одного или нескольких регистров временного хранения информации;
- функции диагностики и отчетов;
- **функции управления опросом;**
- функция сброса.

Особенности протокола

В этом разделе подробно рассматриваются следующие особенности протокола Modbus:

- формат сообщения;
- способ синхронизации;
- расположение в памяти;
- коды функций;

- реакция на исключительные ситуации.

Формат сообщения

Транзакция состоит из одного запроса от главного устройства к конкретному подчиненному устройству и одного ответа от этого устройства к главному устройству. Оба этих сообщения имеют формат кадров Modbus. Каждый кадр сообщения состоит из серии байтов, сгруппированных в четыре поля, как будет описано в следующих разделах. Следует отметить, что каждый из указанных байтов записывается в шестнадцатеричном формате (Hex), а не в кодах ASCII.

Адресное поле	Поле функции	DATA Поле данных	Поле контроля за ошибками
1 байт	1 байт	Переменная длина	2 байта

Рис. 10.10. Формат кадра сообщения Modbus

Первое поле каждого кадра сообщения является адресным полем, которое состоит из одного байта информации. В кадрах запросов этот байт идентифицирует контроллер, к которому обращен запрос. Результирующий кадр ответа начинается с адреса отвечающего устройства. Каждое подчиненное устройство может иметь адресное поле в пределах от 1 до 247, хотя количество подчиненных устройств на практике обычно меньше. Типичная конфигурация Modbus состоит из одного главного устройства и двух-трех подчиненных устройств.

Второе поле каждого сообщения является полем функции, которое также состоит из одного байта информации. В запросе главного устройства этот байт идентифицирует функцию, которую целевой PLC должен выполнить.

Если целевой PLC способен выполнить запрашиваемую функцию, то поле функции его ответа будет эхом оригинального запроса. В противном случае в поле функции ответа старшему байту будет присвоено значение единицы, что является сигналом отрицательного ответа. В таблице 10.2 сведены типичные используемые функции.

Третье поле кадра сообщения является полем данных, и его длина изменяется в зависимости от функции, определенной в поле функции. В запросе главного устройства это поле содержит информацию, которая нужна PLC для выполнения запрашиваемой функции. В ответе PLC это поле содержит данные, запрошенные главным устройством.

Два последних байта сообщения включают поле контроля за ошибками. Числовое значение этого поля вычисляется с использованием циклического избыточного кода (CRC-16) для кадра сообщения. Контроль за ошибками обеспечивает, чтобы устройства не реагировали на сообщения, которые были испорчены во время передачи.

Способ синхронизации

Для обеспечения надежной связи прием сообщения должен быть синхронизован с его передачей. Другими словами, принимающее устройство должно быть способным обнаружить начало нового кадра сообщения.

Согласно протоколу Modbus RTU, синхронизация кадра производится путем ограничения времени паузы между последовательными символами в кадре сообщения.

Если в течение времени, соответствующего трем символам (приблизительно три миллисекунды), приемник не обнаруживает новый символ, то задержанное сообщение будет исключено из рассмотрения. Следующий байт будет интерпретироваться как адресное поле новой строки сообщения.

Система записи в память

Система записи в память допускает использование четырех разных типов данных: катушки, отдельные входы, входные регистры и регистры хранения временной информации.

Каждая функция связана только с одним типом данных. Это позволяет адреса в памяти кадров-сообщений выражать в виде шестнадцатеричных смещений относительно самого нижнего адреса для этого типа данных. Например, адрес первого регистра для временного хранения информации (40001) будет считаться 0000.

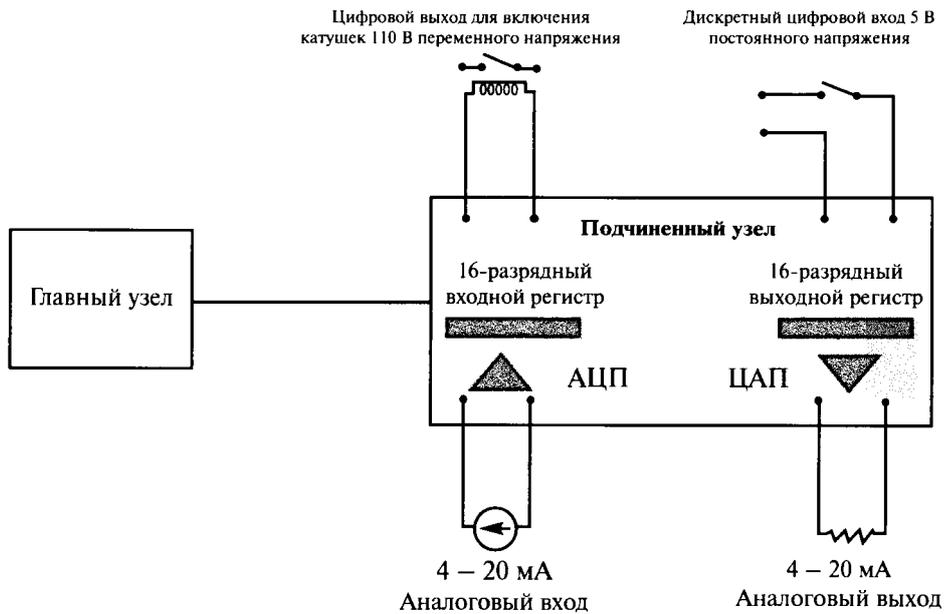


Рис. 10.11. Схема, иллюстрирующая обозначения для Modbus PLC

В таблице 10.2 перечислены диапазон адресов и смещения для четырех типов данных, а также коды применяемых функций. Рисунок 10.11 сверху поясняет тип данных Modbus.

Тип данных	Абсолютные адреса	Относительные адреса	Коды функций	Описание
Катушки	00001 – 09999	0 – 9998	01	Прочитать состояние катушки
Катушки	00001 – 09999	0 – 9998	05	Включить одну катушку
Катушки	00001 – 09999	0 – 9998	15	Включить несколько катушек
Дискретные входы	10001 – 19999	0 – 9998	02	Прочитать состояние входа
Входные регистры	30001 – 39999	0 – 9998	04	Прочитать входные регистры
Регистры временного хранения	40001 – 49999	0 – 9998	03	Прочитать регистры временного хранения
Регистры временного хранения	40001 – 49999	0 – 9998	06	Установить входной регистр
Регистры временного хранения	40001 – 49999	0 – 9998	16	Установить несколько регистров
–	–	–	07	Прочитать состояние исключительного события
–	–	–	08	Диагностический тест с использованием обратной связи

Таблица 10.2. Адреса и коды функций Modicon

Коды функций

Каждый кадр запроса содержит код функции, который определяет действие, ожидаемое от целевого контроллера. Значение полей запроса данных зависит от кода функции.

В следующем разделе определяется и иллюстрируется большинство самых распространенных поддерживаемых кодов функций. В этих примерах содержимое полей кадров сообщений показано в шестнадцатеричных байтах.

Считывание выходных состояний катушки или цифрового выхода (код функции 01)

Данная функция позволяет главному устройству получить состояние ВКЛЮЧЕНО/ВЫКЛЮЧЕНО для одной или нескольких логических катушек целевого устройства.

Поле данных запроса состоит из относительного адреса первой катушки, за которым следует количество считываемых катушек. Поле данных кадра ответа состоит из количества байтов катушек, за которыми следуют байты данных для катушек.

Запрашивающее сообщение

Адрес	Код функции	Начальное смещение адреса катушки		Количество точек		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Старший разряд	Младший разряд	Старший разряд	Младший разряд	
01	01	00	0A	00	02	9D C9

Кадр ответа

Адрес	Код функции	Количество байтов	Данные по катушке	Контроль с помощью циклического избыточного кода
01	01	01	03	11 89

Рис. 10.12. Пример считывания состояния катушек и цифрового входа (код функции 02)

Байты данных для катушек состоят из одного бита состояния каждой последовательной катушки (1 = ВКЛЮЧЕНО, 0 = ВЫКЛЮЧЕНО). Самый младший бит первого байта данных катушек передает состояние первой считываемой катушки. Если количество считываемых катушек не кратно восьми, то последний байт данных со стороны старших разрядов будет заполнен нулями. Следует отметить, что если запрашиваются несколько байтов данных, то младший бит первого байта данных ответа подчиненного устройства содержит первую адресуемую катушку.

В следующем примере главное устройство требует состояния катушек 000A (десятиричный номер 00011) и 000B (00012). Ответ целевого устройства указывает на то, что обе катушки ВКЛЮЧЕНЫ.

Данная функция позволяет главному устройству прочитать один или несколько дискретных входов целевого устройства.

Поле данных кадра запроса состоит из относительного адреса первого дискретного входа, за которым следует количество считываемых дискретных входов. Поле данных кадра ответа состоит из количества байтов данных по дискретным входам, за которыми следуют сами байты данных этих входов.

Запрашивающее сообщение

Адрес	Код функции	Начальное смещение адреса катушки		Количество точек		Контроль с помощью циклического избыточного кода	
		Старший разряд	Младший разряд	Старший разряд	Младший разряд		
01	02	00	00	00	02	F9	СВ

Кадр ответа

Адрес	Код функции	Количество байтов	Данные по входу	Контроль с помощью циклического избыточного кода	
01	02	01	02	20	49

Рис. 10.13. Пример считывания состояния входа

Байты данных дискретных входов последовательно дополнены одним битом состояния для каждого входа (1 = ВКЛЮЧЕНО, 0 = ВЫКЛЮЧЕНО). Самый младший бит первого байта данных для дискретного входа передает состояние первого считываемого входа. Если количество считываемых дискретных входов не кратно восьми, то старшие разряды последнего байта данных будут заполнены нулями. Младший бит первого байта ответа от подчиненного устройства содержит первый адресуемый цифровой вход.

В следующем примере главный компьютер требует сообщить состояние дискретных входов с шестнадцатеричным смещением 0000 и 0001 (т.е. десятичное значение 10001 и 10002). Ответ целевого устройства указывает, что дискретный вход 10001 находится в состоянии ВЫКЛЮЧЕНО, а 10002 - ВКЛЮЧЕНО.

Считывание регистров временного хранения (код функции 03)

Данная функция позволяет главному компьютеру получить содержимое одного или нескольких регистров временного хранения целевого устройства.

Поле данных кадра запроса состоит из относительного адреса первого регистра временного хранения, за которым следует количество считываемых регистров. Поле данных кадра ответа состоит из количества байтов данных от регистров, за которым следует столько же байтов самих данных от каждого регистра.

Содержимое каждого запрашиваемого регистра возвращается в виде двух байтов, последовательно содержащих данные регистров (первым идет старший байт).

В следующем примере главное устройство запрашивает содержимое регистра временного хранения с шестнадцатеричным смещением 0002 (десятичное значение 40003). Ответ контроллера указывает, что числовое значение содержимого регистра является 07FF (десятичное значение 2047). В ответе первый байт данных для регистра является старшим байтом первого адресуемого регистра.

Запрашивающее сообщение

Адрес	Код функции	Первый регистр		Состояние регистра		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Старший разряд	Младший разряд	Старший разряд	Младший разряд	
01	03	00	02	00	01	25 CA

Кадр ответа

Адрес	Код функции	Количество байтов	Данные по регистру		Контроль с помощью циклического избыточного кода
			Старший разряд	Младший разряд	
01	03	02	07	FF	FA 34

Рис. 10.14. Пример считывания регистра временного хранения

Чтение входных регистров (код функции 04)

Эта функция позволяет главному устройству получить содержимое одного или нескольких входных регистров целевого устройства.

Поле данных кадра запроса состоит из относительного адреса первого входного регистра, за которым следует количество считываемых регистров. Поле данных кадра ответа состоит из количества байтов данных от регистров, за которым следует столько же байтов данных от каждого входного регистра.

Содержимое каждого запрашиваемого регистра возвращается в виде двух байтов, последовательно содержащих данные регистра (первым идет старший байт). Диапазон регистров изменяется от 0 до 4095.

В следующем примере главное устройство запрашивает содержимое входного регистра с шестнадцатиричным смещением 000 (десятиричное значение 30001). Ответ PLC указывает, что числовое значение содержимого регистра является 03FFH, что соответствует значению данных 25% (если принят масштаб от 0 до 100%) и используется 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь с диапазоном от 0 до 4095 (0FFFH).

Запрашивающее сообщение

Адрес	Код функции	Первый регистр		Состояние регистра		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Старший разряд	Младший разряд	Старший разряд	Младший разряд	
01	04	00	00	00	01	31 SA

Кадр ответа

Адрес	Код функции	Количество байтов	Данные по регистру		Контроль с помощью циклического избыточного кода
			Старший разряд	Младший разряд	
01	04	02	03	FF	F9 80

Рис. 10.15. Пример чтения входного регистра

Включение одной катушки (код функции 05)

Эта функция позволяет главному устройству изменить состояние ВКЛЮЧЕНО/ВЫКЛЮЧЕНО одной логической катушки целевого устройства.

Поле данных кадра запроса состоит из относительного адреса катушки, за которым следует задаваемое состояние этой катушки. Шестнадцатеричное значение FF00 будет активизировать катушку, а нулевое значение (H) будет отключать ее. Другие значения состояний не разрешены.

Если контроллер может перевести указанную катушку в запрошенное состояние, то кадр ответа будет идентичен запросу. В противном случае будет возвращен отрицательный ответ.

Если используется адрес 00 для указания режима, распространяющегося на все устройства, то все подключенные подчиненные устройства изменят состояние катушек на заданное.

Ниже приводится пример, иллюстрирующий успешную попытку перевода катушки 11 (десятиричное значение) в состояние ВЫКЛЮЧЕНО.

Запрашивающее сообщение

Адрес	Код функции	Смещение адреса катушки		Новое состояние катушки		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Старший разряд	Младший разряд	Старший разряд	Младший разряд	
01	05	00	0A	00	00	ED C8

Кадр ответа

Адрес	Код функции	Смещение адреса катушки		Новое состояние катушки		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Старший разряд	Младший разряд	Старший разряд	Младший разряд	
01	05	00	0A	00	00	ED C8

Рис. 10.16. Пример переключения отдельной катушки

Установка содержимого одного регистра (код функции 06)

Данная функция позволяет главному устройству изменить содержимое одного регистра временного хранения у целевого устройства.

Поле данных кадра запроса состоит из относительного адреса регистра временного хранения, за которым следует относительный адрес регистра. Потом идет новое значение, которое должно быть записано в этот регистр (первым идет старший байт).

Если контроллер способен записать новое значение в заданный регистр, то кадр ответа будет идентичен запросу. В противном случае будет возвращен ответ о возникновении исключительной ситуации.

Следующий пример (рис. 10.17) иллюстрирует успешную попытку изменения содержимого регистра временного хранения 40003 на 3072 (0C00 Hex).

Если адрес подчиненного устройства установлен равным 00 (обращение ко всем устройствам), то все подчиненные устройства загрузят в заданный регистр заданное значение.

Запрашивающее сообщение

Адрес	Код функции	Смещение адреса регистра		Значение регистра		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Старший разряд	Младший разряд	Старший разряд	Младший разряд	
01	06	00	02	0C	00	2D 0A

Кадр ответа

Адрес	Код функции	Смещение адреса регистра		Значение регистра		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Старший разряд	Младший разряд	Старший разряд	Младший разряд	
01	06	00	02	0C	00	2D 0A

Рис. 10.17. Пример установки одного регистра

Чтение состояния исключительной ситуации (код функции 07)

Это короткое сообщение, запрашивающее состояние восьми цифровых точек подчиненного устройства.

Оно проверяет состояние восьми predetermined цифровых точек подчиненного устройства. Например, это могут быть такие пункты, как состояние батареи, состояние защиты памяти или состояние входных/выходных стоек, подключенных к системе.

Запрашивающее сообщение

Адрес	Код функции	Контроль с помощью циклического избыточного кода
11	07	.. ..

Кадр ответа

Адрес	Код функции	Состояние катушки	Контроль с помощью циклического избыточного кода
11	07	02	.. ..

Рис. 10.18. Чтение запроса об исключительной ситуации

Диагностика с использованием обратной связи (код функции 08)

Целью данного кода является проверка работы коммуникационной системы без использования таблицы адресов подчиненных устройств. Он также позволяет произвести дополнительную диагностику подчиненного устройства (если это будет необходимо), такую как контроль с помощью циклического избыточного кода, количество отчетов об исключительных ситуациях и т.п.

В этом разделе будет рассмотрен только самый общий тип диагностики – простой возврат запроса.

Запрашивающее сообщение

Адрес	Код функции	Код диагностических данных		Данные		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Старший разряд	Младший разряд	Старший разряд	Младший разряд	
11	08	00	00	A5	37	.. ..

Кадр ответа

Адрес	Код функции	Код диагностических данных		Данные		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Старший разряд	Младший разряд	Старший разряд	Младший разряд	
11	08	00	00	A5	37	.. ..

Рис. 10.19. Сообщение при выполнении диагностики с использованием обратной связи

Переключение нескольких катушек или цифровых выходов (код функции 0F)

Данная функция переключает смежную (соседнюю) группу катушек в состояние ВКЛЮЧЕНО или ВЫКЛЮЧЕНО. Ниже приводится пример (рис. 10.20) установки 10 катушек, начиная с адреса 01 Нех (с адреса подчиненного устройства 01) в состояние ВКЛЮЧЕНО. Если в кадре запроса в качестве адреса подчиненного устройства используется 00, то будет использован режим обращения ко всем устройствам, что приведет к тому, что все подчиненные устройства изменят состояние катушек.

Запрашивающее сообщение

Адрес	Код функции	Адрес		Количество байтов	Данные по состояниям катушек		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Hi	Lo		Hi	Lo	
01	0F	00	01	0F	FF	03	.. ..

Кадр ответа

Адрес	Код функции	Адрес		Количество катушек		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Hi	Lo	Hi	Lo	
01	0F	00	01	00	0A	.. ..

Рис. 10.20. Пример переключения нескольких катушек.

Hi – Старший разряд

Lo – Младший разряд

Изменение содержимого нескольких регистров (код функции 10)

Эта функция аналогична установке содержимого одного регистра и переключению нескольких катушек. В приведенном ниже примере (рис. 10.21) подчиненное устройство с адресом 01 имеет два изменяемых регистра, начиная с адреса 4011.

Запрашивающее сообщение

Адрес	Код функции	Адрес		Количество		Количество байтов	Первый регистр		Второй регистр		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Hi	Lo	Hi	Lo		Hi	Lo	Hi	Lo	
01	10	00	0A	00	02	04	00	0A	01	02	.. ..

Кадр ответа

Адрес	Код функции	Адрес		Количество		Контроль с помощью циклического избыточного кода
		Hi	Lo	Hi	Lo	
01	10	00	0A	00	02	.. ..

Рис. 10.21. Пример установки нескольких регистров.

Hi – Старший разряд

Lo – Младший разряд

Ответы на исключительные ситуации

Кадры запроса, содержащие биты четности или контрольные суммы, игнорируются – никакое устройство не отвечает. Если же действительный кадр запроса содержит неразрешенный запрос (не поддерживаемый целевым подчиненным устройством), то главному устройству будет возвращен ответ об исключительной ситуации.

Четыре поля ответа об исключительной ситуации содержат:

- адрес отвечающего контроллера;
- номер запрошенной функции, у которой старший бит установлен в «1»;
- соответствующий код исключительной ситуации;
- контрольную сумму CRC-16.

В таблице 10.3 перечислены возвращаемые коды исключительных ситуаций:

Код	Название	Описание
01	Неразрешенная функция	Запрошенная функция не поддерживается
02	Неразрешенный адрес данных	Запрошенный адрес данных не поддерживается
03	Неразрешенное значение данных	Конкретное значение данных не поддерживается
04	Неисправность устройства	Подчиненный PLC неисправен и не реагирует на сообщение
05	Подтверждение	Подчиненный PLC обрабатывает команду
06	Устройство занято, сообщение отклонено	Подчиненный PLC занят

Таблица 10.3. Краткий список возвращаемых кодов исключительных ситуаций

Пример незаконного запроса и соответствующего ответа на исключительную ситуацию показан на рис. 10.22. Запросом в этом примере является ПРОЧИТАТЬ СОСТОЯНИЕ КАТУШКИ точек 514-521 (восемь катушек, начиная со смещения 0201H). Эти точки не поддерживаются PLC, поэтому будет выдан отчет об исключительной ситуации, приводящий код 02 - неразрешенный адрес.

Адрес	Код функции	Начальная точка	Количество точек	Контроль с помощью циклического избыточного кода
01	01	02 01	00 08	6D B4

Адрес	Код функции	Код исключительной ситуации	Контроль с помощью циклического избыточного кода
01	81	02	C1 91

Рис. 10.22. Пример неразрешенного запроса

10.5. Протокол Allen Bradley Data Highway (Plus)

Рассмотрение протокола Allen Bradley

Для передачи данных в стандарте Allen Bradley используются два основных протокола.

Протокол Data Highway

Это протокол локальных сетей (LAN), который обеспечивает двухточечную связь для 64 узлов. Он использует протокол полудуплексного режима (опрос) и инвертирует обладание статусом ведущего узла. Работает протокол Data Highway со скоростью 57,6 кбод.

Протокол Data Highway Plus

Этот протокол аналогичен Data Highway, но был разработан для меньшего количества ПК и работает со скоростями передачи данных 57,6 кбод. Протокол Data Highway Plus обеспечивает двухточечную связь с использованием маркера, передающего статус ведущего всем узлам канала связи.

Следует отметить, что оба стандарта протокола производят двухточечную связь с помощью модифицированной системы передачи маркера, называемой **плавающим главным узлом**. Это довольно эффективный механизм, когда каждый узел имеет возможность стать главным и затребовать разрешение на начало передачи.

Протокол Allen Bradley Data Highway Plus использует три уровня модели OSI:

- аппаратный (физический уровень);
- протокол канального уровня;
- протокол прикладного уровня.

Физический (аппаратный) уровень

Этот уровень основан на двойном аксиальном кабеле с тремя проводниками, соответствующими спецификациям RS-485.

Полнодуплексный канальный уровень

Необходимо обратить внимание на тот факт, что асинхронный канал связи является либо полным дуплексным (не опрашиваемым) протоколом, либо канал поддерживает связь типа главное/подчиненное устройство с помощью полнодуплексного протокола (неопрашиваемого). Хотя возможны оба типа протокола, однако имеется тенденция использовать полнодуплексный протокол, поскольку он обеспечивает более высокую производительность канала связи, поэтому в следующих разделах этот протокол будет рассмотрен подробнее.

Полнодуплексный протокол является символ-ориентированным. Он использует управляющие символы ASCII, приведенные в табл. 10.4, дополненные до восьми битов добавлением нуля к седьмому биту (т.е. это восьмой бит).

Используются следующие символы ASCII:

Полнодуплексный протокол объединяет эти символы в символы управления и данных. Следующая таблица перечисляет символы, используемые для полнодуплексного режима.

Сокращение	Шестнадцатеричное значение
STX	02
ETN	03
ENQ	05
ACK	06
DLE	10
NAK	11

Таблица 10.4. Используемые символы ASCII

Символ	Тип	Описание
DLE STX	Управляющий символ	Символ отправителя, указывающий на начало сообщения
DLE ETX BCC/CRC	Управляющий символ	Сигнал отправителя, который заканчивает сообщение
DLE ACK	Управляющий символ	Символ ответа, который является сигналом того, что сообщение было успешно принято
DLE NAC	Управляющий символ	Символ ответа, который является сигналом того, что сообщение не было успешно принято
DLE ENQ	Управляющий символ	Символ отправителя, который запрашивает повторной передачи ответа от приемника
APP DATA	Символ данных	Один символ данных между 00 – 0F и 11 – FF. Содержит данные от прикладного уровня (программы пользователя и общие прикладные подпрограммы).
DLE DLE	Символ данных	Символ, который представляет значение данных 10 Hex.

Таблица 10.5. Символы, используемые для полдуплексного режима

Формат сообщения

Необходимо обратить внимание на тот факт, что символы, переданные в пакете, называются вложенными символами.

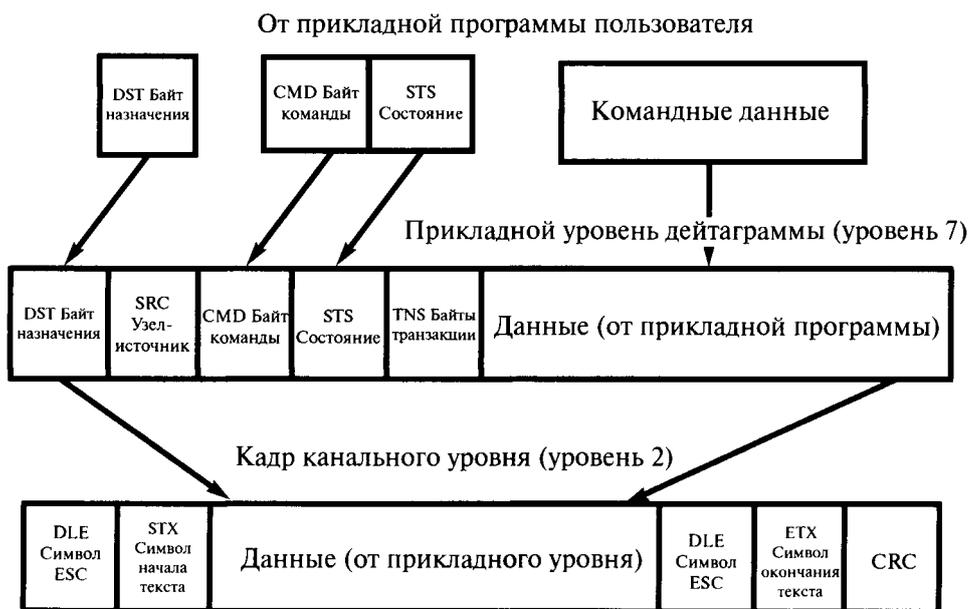


Рис. 10.23. Структура протокола

CRC – Контроль с помощью циклического избыточного кода

Вычисление CRC-16 производится с использованием значения байтов данных прикладного уровня и байта ETX. Результат CRC-16 состоит из двух байтов. Более подробная информация о механизме контроля с помощью циклического избыточного кода приводится в разделе 8.4.

Необходимо отметить, что для передачи данных ЮН необходимо использовать последовательность символов DLE DLE. Только один из этих байтов DLE включается в CRC значение (никакие вложенные ответы не используются).

Ограничения на сообщения

- минимальный размер действительного сообщения составляет шесть байтов;
- алгоритм обнаружения дублирующего сообщения – приемник сравнивает второй, третий пятый и шестой байты сообщения с теми же байтами предыдущего сообщения.

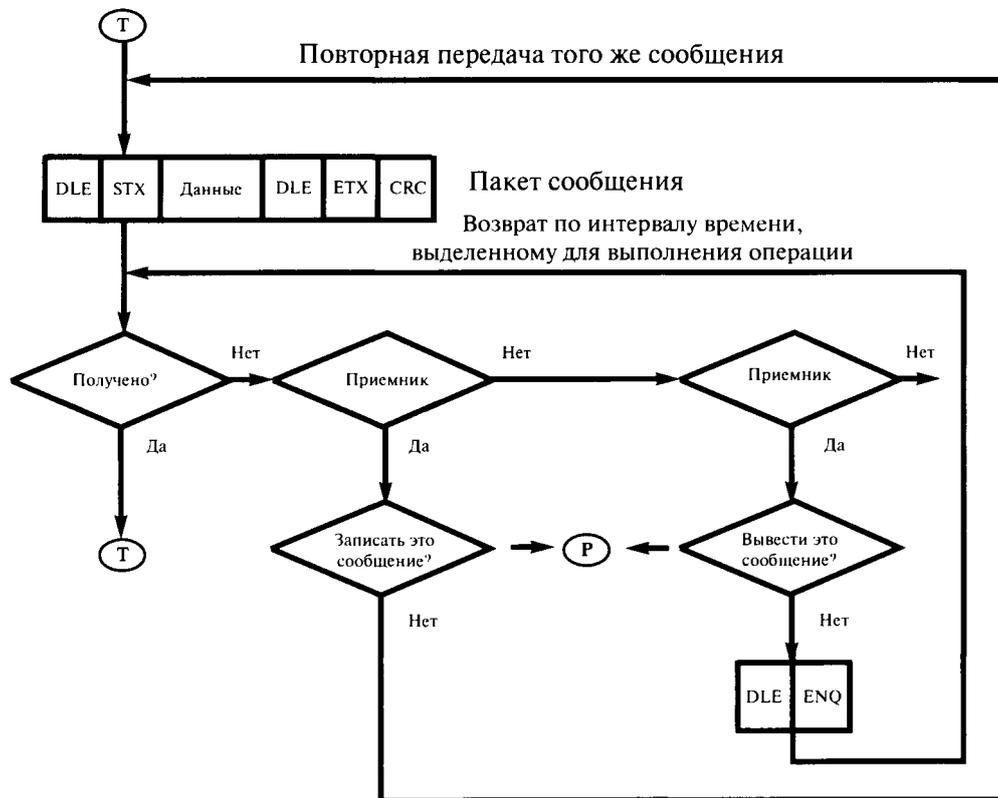


Рис. 10.24. Алгоритм работы передатчика:
DLE – символ ESC;
STX – символ начала текста;
ETX – символ окончания текста;
CRC – контроль с помощью циклического избыточного кода.

- P - Процедура восстановления
- T – Готовность к передаче следующего сообщения
- * – Значения, используемые модулем по умолчанию

В зависимости от трафика и уровня насыщения магистрали при получении ответа от удаленного узла перед передачей следующего сообщения возможно ожидание.

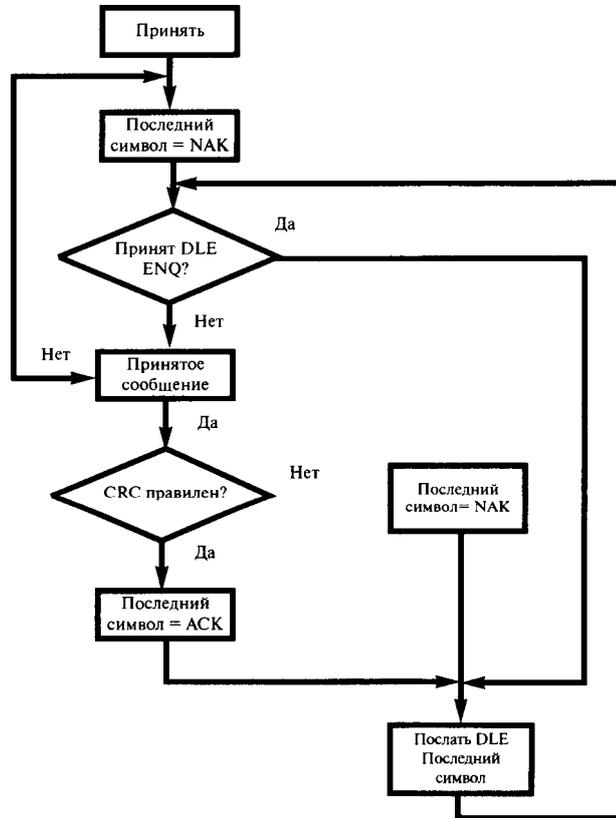


Рис. 10.25. Алгоритм работы приемников

Алгоритм работы приемников

Следующая блок-схема показывает стандартные события, происходящие во время коммуникационного процесса (рис. 10.26).

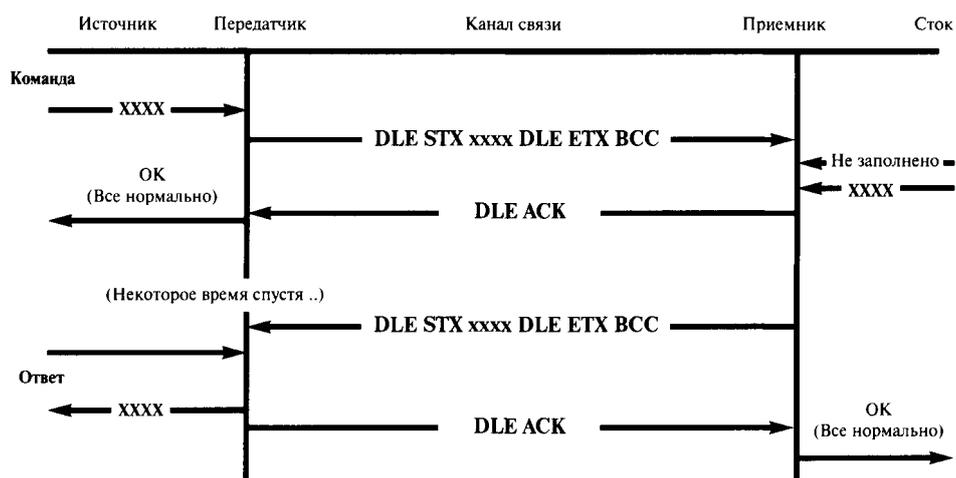


Рис. 10.26. Обычная передача сообщения

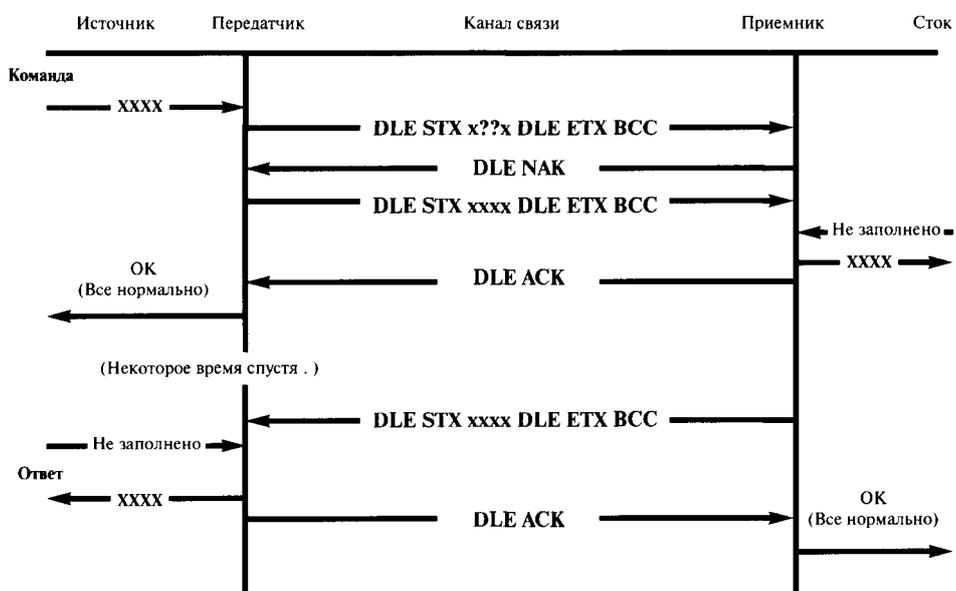


Рис. 10.27. Передача сообщения с командой NAK

Существуют два типа прикладных программ:

- инициаторы команд;
- исполнители команд;

Инициаторы команд задают, какую команду выполнить и на каком конкретном узле.

Исполнитель команды должен также выдать ответное сообщение, на каждую полученную команду. Если исполнитель не может выполнить команду, то он должен отправить соответствующий код ошибки.

Ответное сообщение может содержать ошибку. Инициатор команды должен проверить это условие и в зависимости от типа ошибки повторить сообщение или уведомить пользователя.

Если ответ исполнителя команды потерян из-за наличия помех, то инициатор команды должен выдерживать время для каждого невыполненного командного сообщения. Если отведенное время истекает, инициатор команды должен предпринять соответствующее действие (уведомить пользователя или повторно передать команду исполнителю).

Если программное обеспечение прикладного уровня не может доставить командное сообщение, то оно должно выработать ответное сообщение с соответствующим кодом ошибки и послать ответ инициатору. Если он не может доставить ответное сообщение, то прикладной уровень должен аннулировать ответ без уведомления исполнителя команды.

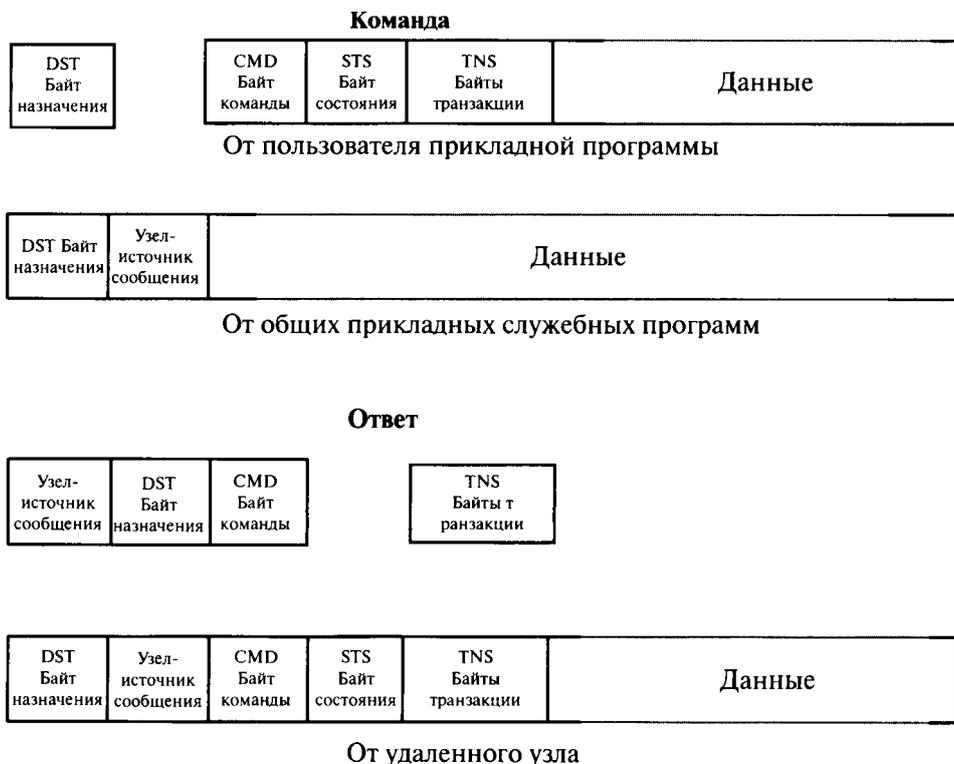


Рис. 10.28. Поля пакета основных командных сообщений

Необходимо обратить внимание на тот факт, что все командные сообщения имеют байты FNC, ADR, SIZE или DATA и не все ответные сообщения содержат байты DATA или EXT STS.

Пояснение некоторых байтов

DST	Байт назначения. Он содержит узел конечного назначения.
SRC	Узел-источник сообщения. Установка нуля, как в интерфейсном модуле KF2, присвоит этому байту значение, соответствующее номеру узла.
CMD	Байт команды.
FNC	Байт функции.

Все байты вместе определяют активность, которая должна быть произведена в соответствии с командным сообщением в узле назначения. Нужно заметить, что пятый бит командного байта всегда должен быть нулем (обычный приоритет).

STS и EXT STS – байты состояния и байты расширенного состояния

В командных сообщениях байт STS всегда установлен в нуль. В ответных сообщениях байт STS может содержать код состояния. Если четыре старших бита STS байта являются единицами, то байт EXT STS содержит расширенную информацию о состоянии.

TNS – байты транзакции (два байта)

Программное обеспечение прикладного уровня должно назначать транзакции уникальный 16-битовый номер (вырабатываемое счетчиком). Когда инициатор команды получает ответ на одно из его командных сообщений, то он может использовать значение TNS для связи ответного сообщения с его соответствующей командой.

Если исполнитель команды принимает команду от другого узла, то он должен скопировать TNS поле командного сообщения в то же самое поле соответствующего ответного сообщения.

ADDR

Адресное поле содержит адрес в памяти исполнителя команды, где должно начинаться выполнение команды. Поле ADDR определяет байт адреса (а не слово, как при программировании PLC).

Размер

Байт размера определяет количество байтов данных, передаваемых сообщением.

Данные

Поле данных содержит двоичные данные из прикладной программы.

Поля пакетов командных сообщений PLC-5

- 1 Смещение пакета: Это поле содержит смещение между полем DATA текущего пакета сообщения и полем DATA первого пакета в передаче.
- 2 Суммарная передача: Это поле содержит суммарное количество элементов данных PLC-5, переданных во всех пакетах, инициируемых командой.

Основные команды

Используемые форматы пакетов сообщений асинхронного канала связи показаны ниже.

В этом списке привилегированные команды инициируются компьютером и выполняются PLC. Непривилегированные команды инициируются PLC или компьютером. Значения CMD предназначены для пакетов командных сообщений без приоритетов.

Код состояния синхронного канала связи (STS, EXT STS)

Байты STS содержат информацию о выполнении или невыполнении команды, которая была передана компьютером. Если ответ возвращает код 00, то команда была выполнена на удаленном узле. Все другие коды подразделяются на два типа:

- Местная ошибка – местный узел не может передать сообщение удаленному узлу.
- Удаленная ошибка – удаленный узел не может выполнить команду.

Коды местных STS ошибок

	Описание кода
0	Успешная операция – ошибок нет
1	Узел назначения не соответствует пространству буфера
2	Удаленный узел не подтверждает командное сообщение
3	Обнаружен дублирующий держатель признака
4	Местный порт отключен

Коды удаленных STS ошибок

	Описание кода
0	Успешная операция – ошибок нет
1	Незаконная команда или формат
20	Главное устройство столкнулось с проблемой и не может связаться
30	Удаленный узел отсутствует или выключен
40	Главное устройство не могло выполнить функцию из-за аппарат-

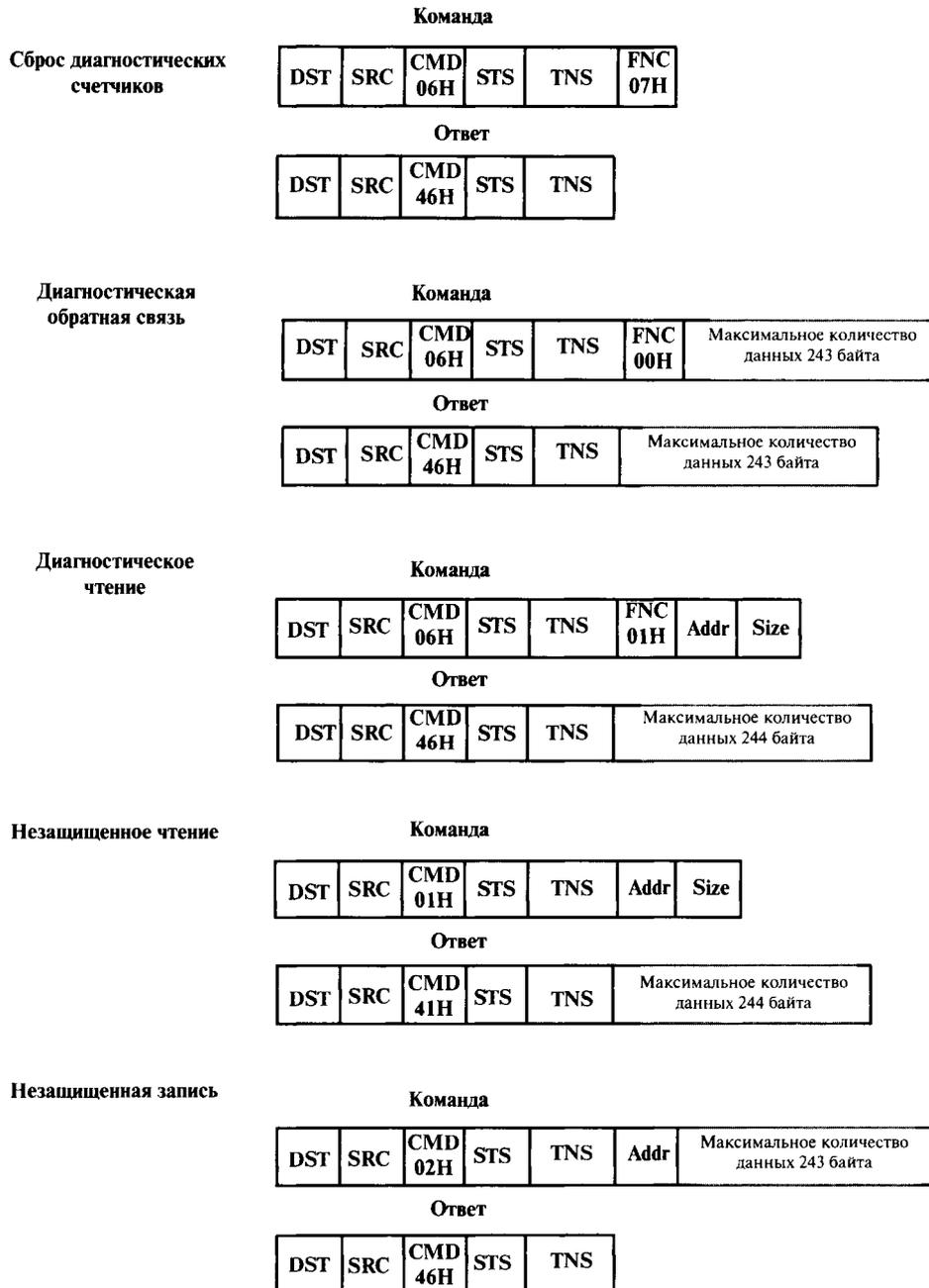


Рис. 10.29. Основные команды для PLC-5

DST – байт назначения;

SRC – узел-источник сообщения;

CMD – байт команды;

STS – байт состояния;

TNS – байты транзакций

	ной неисправности
50	Проблема с адресацией или защитой памяти
60	Функция не разрешена из-за выбора командной защиты
70	Процессор находится в программном режиме
80	Отсутствует файл совместимого режима или имеются проблемы с зоной коммуникации
A0	Не используется
B0	Проблема с удаленным узлом, связанная с загрузкой
C0-E0	Не используется
F0	Ошибка в байте ETX STS

Байт ETX STS

Если код STS является F0, то имеется только байт EXT STS. Если код команды 00 – 08, то байта EXT STS нет. Команды, используемые в этой операции, попадают в указанный диапазон, поэтому байт EXT STS не используется.

Диагностический счетчик каждого модуля

Диагностические счетчики являются байтами информации, хранящейся в ОЗУ каждого модуля Data Highway и Data Highway Plus. При использовании диагностической команды считывания в качестве адреса должен использоваться фиктивный адрес. Ответ содержит весь блок счетчика

Лекция 11

Протокол HART

Стандартный коммуникационный протокол HART (адресуемый дистанционный магистральный преобразователь) является одним из нескольких протоколов интеллектуальных измерительных приборов, предназначенных для сбора данных с приборов, датчиков и исполнительных механизмов с помощью цифрового канала связи.

Цели

Завершив изучение этой главы, вы сможете:

- описать возникновение и преимущества протокола HART;
- описать три OSI уровня протокола HART.

11.1. Введение в протокол HART и интеллектуальные измерительные приборы

Протоколы интеллектуальных измерительных приборов разработаны для применений, в которых реальные данные собираются измерительными приборами, датчиками и исполнительными механизмами с использованием цифрового канала связи. Все эти устройства напрямую подключаются к программируемым логическим контроллерам (PLC) и компьютерам.

Протокол HART (адресуемый дистанционный магистральный преобразователь) является типичной реализацией шины интеллектуальных измерительных приборов Fieldbus, которая может работать в гибридном цифровом режиме с токовой петлей 4-20 мА.

Протокол HART ни в коем случае не является единственным протоколом в этой сфере. Существуют сотни интеллектуальных протоколов различных производителей – например, Honeywell, который совместим с HART Эта лекция посвящена именно

протоколу HART. Информация о других протоколах Fieldbus приводится в главе 12.

На базовом уровне большинство интеллектуальных приборов обеспечивает следующие функции:

- контроль за выбором диапазона, подстройку нуля и интервал измерений;
- диагностика функционирования;
- сохранение конфигурации и информации о состоянии прибора (например, кодовые метки и т.п.).

Доступ к этим функциям обеспечивает значительное увеличение скорости и эффективности процесса настройки и эксплуатации системы. Например, на диагностику медленной токовой петли 4-20 мА может уходить несколько минут, в течение этого времени устройство подготавливается к измерениям путем настройки нулевых значений, а также других параметров, типа коэффициентов демпфирования.

11.2. Адресуемый дистанционный магистральный преобразователь (HART)

Первоначально HART протокол был разработан компанией Rosemount, а теперь он является открытым стандартом, доступным всем производителям. Его главным достоинством является то, что он позволяет сохранить имеющиеся кабельные соединения измерительных приборов, необходимые для токовой петли 4-20 мА, и использовать их для передачи **цифровой информации, наложенной на аналоговый сигнал**. Это позволяет большинству компаний сохранить их вложения средств в существующее кабельное хозяйство и связанные с ним системы и обеспечить совместимость с протоколом HART без больших денежных затрат.

В противоположность большинству систем Fieldbus, которые являются чисто цифровыми, HART является гибридным (аналоговым и цифровым) протоколом.

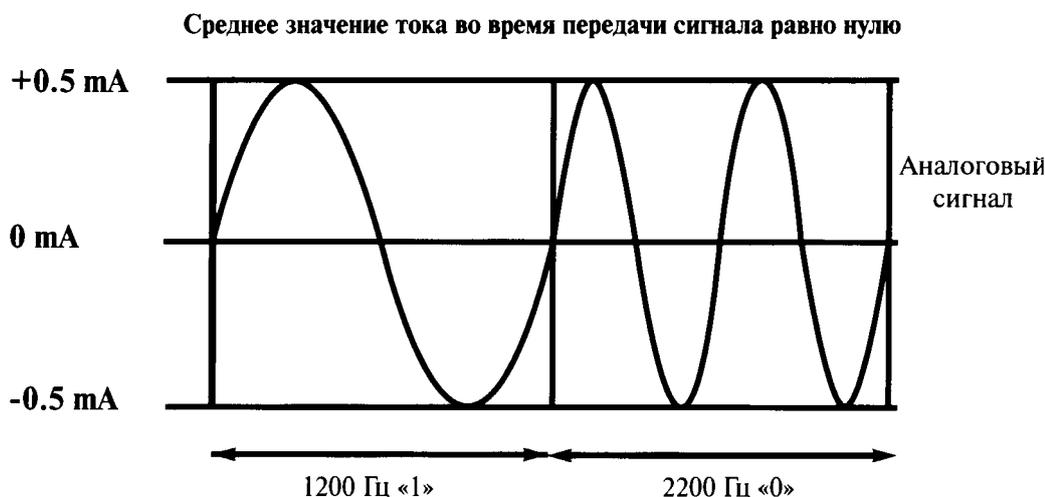


Рис. 11.1. Назначение частот протокола HART

Протокол HART использует частотную модуляцию (FSK), основанную на коммуникационных стандартах Bell 202. Две отдельные частоты 1200 и 2200 Гц представляют цифровые 1 и 0, соответственно. Усредненное значение синусоидальной волны (на частотах 1200 и 220 Гц), накладываемое на токовый сигнал 4-20 мА, равно нулю, поэтому на аналоговую токовую информацию никакого влияния не оказывается.

Протокол HART можно использовать следующими способами:

- в сочетании с токовым сигналом 4-20 мА в двухточечном режиме;
- в сочетании с другими полевыми приборами в многоточечном режиме;
- в двухточечном режиме, когда только один полевой прибор передает пакеты.

Обычные двухточечные петли в качестве адреса опроса интеллектуального измерительного прибора используют нуль. Установка для интеллектуального устройства адреса опроса больше нуля создает многоточечную петлю. Тогда интеллектуальное устройство устанавливает на выходе постоянный ток 4 мА и коммуникации производятся только в цифровом виде.

Для цифровой передачи данных протокол HART использует два режима:

- режим опроса/ответа;
- пакетный режим (передача информации сразу нескольким устройствам).

В режиме опроса/ответа главное устройство опрашивает каждое автономное устройство, подключенное к магистрали, и требует передачи необходимой информации. В пакетном режиме полевое устройство непрерывно передает данные, относящиеся к процессу, при этом главному устройству не нужно посылать на него запросы. Хотя этот режим является довольно быстрым (до 3,7 раз в секунду), в многоточечных сетях его использовать нельзя.

Протокол реализуется с использованием уровней 1, 2 и 7 модели OSI (см. главу 9). Реальная работа протокола описывается в данной главе.

11.3. Физический уровень

Физический уровень протокола HART основан на двух способах связи:

- аналоговый ток 4 - 20 мА;
- цифровая частная модуляция (FSK).

Аналоговая токовая связь 4 – 20 мА

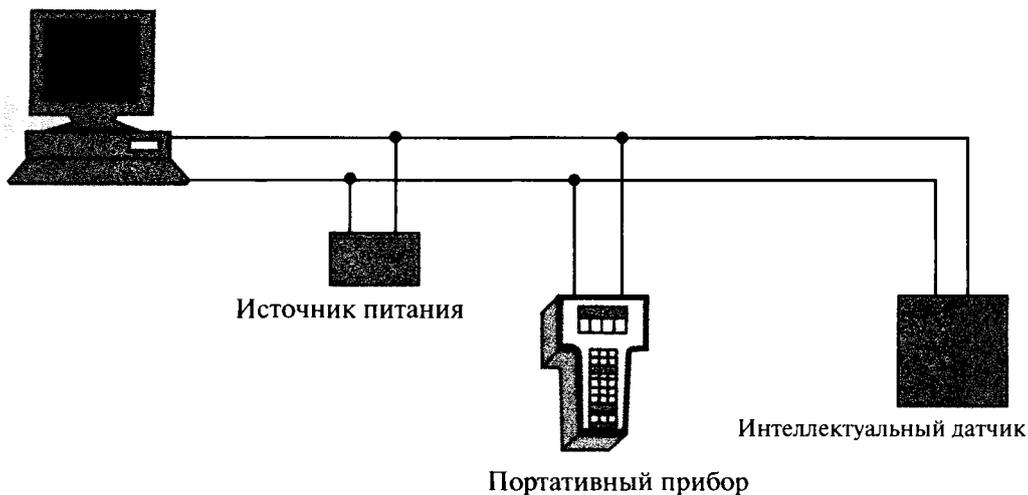


Рис. 11.2. Двухточечная связь по протоколу HART

Основой коммуникационного протокола HART является токовая петля 4-20 мА. Эта аналоговая система используется для передачи аналогового значения от датчика к HART PLC или HART плате, установленной в ПК. С помощью токовой петли датчик обеспечивает сигнал в пределах 4-20 мА, который представляет аналоговое значение измеренного параметра. Например, датчик цистерны с водой, которая заполне-

Цифровая многоточечная связь

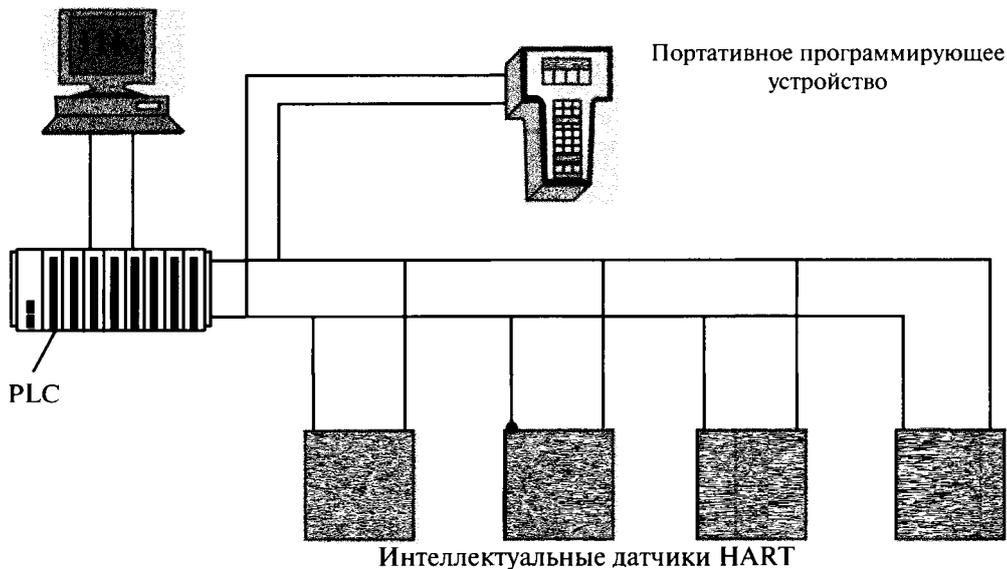


Рис. 11.3. Многоточечная связь по протоколу HART

на наполовину – скажем, 3400 кубометров – будет выдавать ток 12 мА. Приемник будет интерпретировать эти 12 мА как 3400 кубометров. Такая связь всегда является двухточечной, т.е. связью одного прибора с другим. Используя только этот метод, невозможно обеспечить многоточечную связь. Если два или несколько приборов выдают ток в линию одновременно, то результирующее значение тока не будет соответствовать информации ни одного из приборов.

Для многоточечной связи протокол HART использует цифро-аналоговый способ, называемый частотной модуляцией (FSK). Этот способ основан на коммуникационном стандарте Bell 202. Передача данных производится со скоростью 1200 бод, причем цифровому «0» соответствует частота 2200 Гц, а цифровой «1» – 1200 Гц. Большинство производителей рекомендует использовать экранированную витую пару категории 5. Устройства могут питаться от шины или от отдельных источников питания. Если устройства питаются от шины, то можно подключать не более 15 приборов. Поскольку среднее значение переменного тока является нулем, то сигналы 1200 Гц и 2200 Гц можно наложить поверх токового сигнала 4-20 мА. Это позволяет протоколу HART производить одновременную передачу данных для многоточечной системы.

Портативный HART коммуникатор

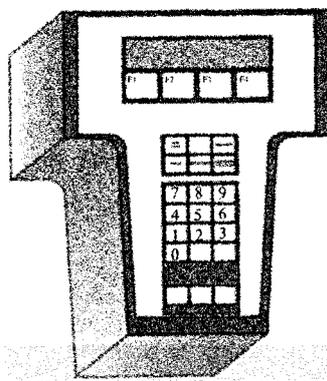


Рис. 11.4. Портативный контроллер HART

Система HART включает портативное управляющее устройство. Это устройство может быть вторым главным устройством системы. Оно используется для чтения, записи, выбора диапазона и настройки устройств, подключенных к шине. Это устройство может использоваться в полевых условиях для временной связи. Портативное устройство работает от батареи, имеет дисплей и клавиши для ввода специальных команд.

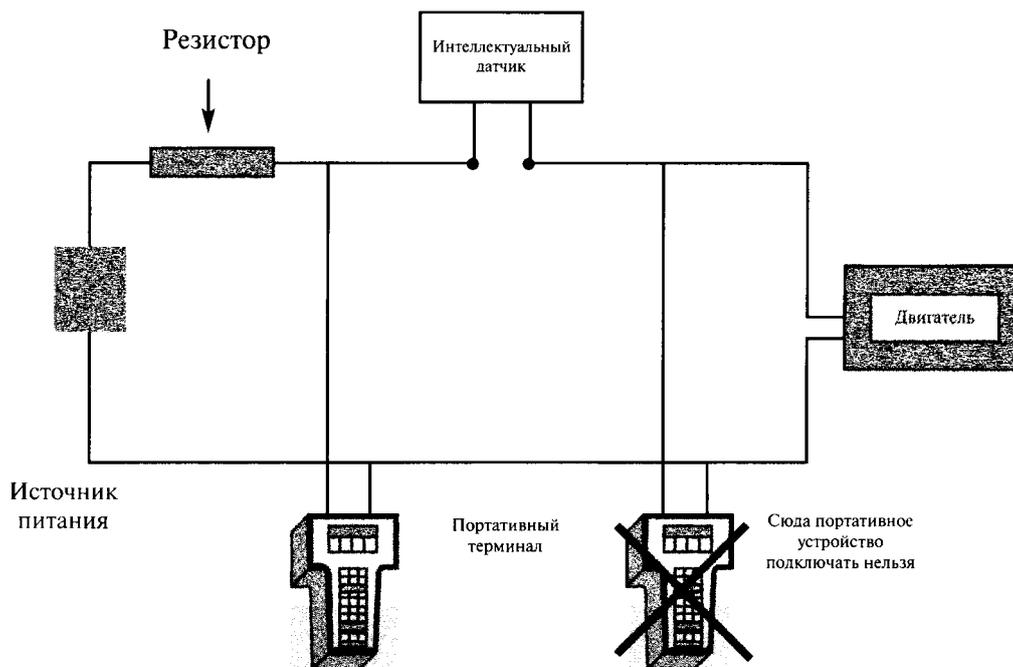


Рис. 11.5. Способ подключения портативного HART устройства

На рис. 11.5 полевой контроллер HART включен последовательно с полевым устройством (регулятор клапана или другое исполнительное устройство). В некоторых случаях может потребоваться шунтирующий конденсатор, который подключается параллельно клеммам регулятора клапана, чтобы сохранить последовательное сопротивление регулятора меньше 100 Ом, что требуется спецификацией HART. Для связи с полевым контроллером требуется коммуникационное устройство (портативный терминал или ПК), подключаемое параллельно петле, с сопротивлением не менее 230 Ом. При параллельном подключении к клеммам регулятора клапана из-за его низкого сопротивления (100 Ом) связь будет невозможна. Вместо этого коммуникационное устройство должно подключаться параллельно передатчику или резисторному датчику тока. (Взято из руководства по применению протокола HART, выпущенного HART Communications Foundation, 1999, www.hartcomm.org).

Уровень		Описание	HART™
7	Прикладной	Обеспечивает форматирование данных	Команды Hart
6	Представление	Транслирует данные	X
5	Сеансовый	Управляет диалогом	
4	Транспортный	Обеспечивает целостность сообщения	
3	Сетевой	Обеспечивает маршрутизацию информации	
2	Канальный	Обнаруживает ошибки	Правила протокола
1	Физический	Соединяет устройства	Bell 202

Рис. 11.6. Реализация протокола HART с помощью модели OSI

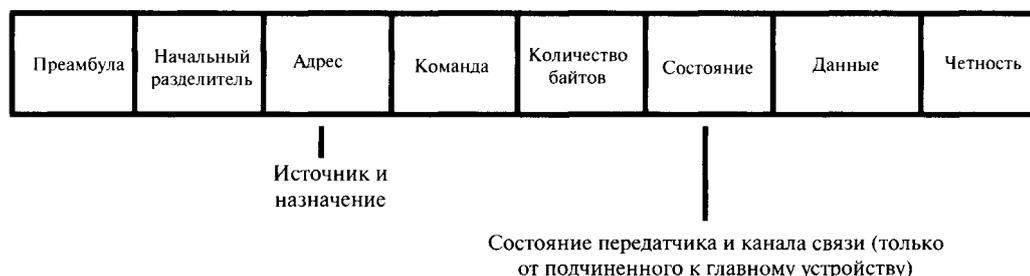


Рис. 11.7. Формат кадра канала связи HART

11.4. Канальный уровень

Формат кадра канального уровня приведен на рис. 11.7.

Для каждого кадра выполняется двухмерный контроль за ошибками, включая продольную и поперечную проверку на четность. Каждый символ или кадр информации имеет следующие параметры:

- 1 стартовый бит
- 8 битов данных
- 1 бит проверки на четность
- 1 стоповый бит

11.5. Прикладной уровень

Прикладной уровень позволяет главному устройству получать и интерпретировать данные от полевого устройства. Существуют три класса команд:

- универсальные команды;
- стандартные команды;
- команды, присущие только данному устройству.

Примеры этих команд перечислены ниже.

Универсальные команды

- считать тип устройства и изготовителя;
- считать первичный параметр (PV) и единицы измерений;
- считать токовый выход и процентное выражение диапазона;
- считать до 4-х предварительно определенных динамических переменных;
- считать или записать 8-символьный признак, 16-символьный дескриптор, дату;
- считать или записать 32-символьное сообщение;
- считать диапазон устройства, единицы измерения и константу демпфирования;
- считать или записать номер последней сборки.

Распространенные команды

- считать до 4-х выбранных динамических переменных;
- записать константу демпфирования;
- записать диапазон устройства;
- произвести калибровку (установка нуля, установка шкалы);
- задать фиксированное значение выходного тока;
- произвести самодиагностику;
- произвести главный сброс;
- подстроить ноль первичной переменной (PV)
- записать единицы измерения первичной переменной;
- подстроить ноль и коэффициент усиления ЦАП;
- записать функцию преобразования (квадратичная/линейная);
- записать серийный номер датчика;
- считать или записать назначение динамических переменных.

Специфические команды устройства

- считать или записать нижнее значение, отсекающее низкий расход;
- включить, остановить или сбросить суммирующее устройство;
- считать или записать калибровочный коэффициент плотности;
- выбрать первичную переменную (массовый расход или плотность);

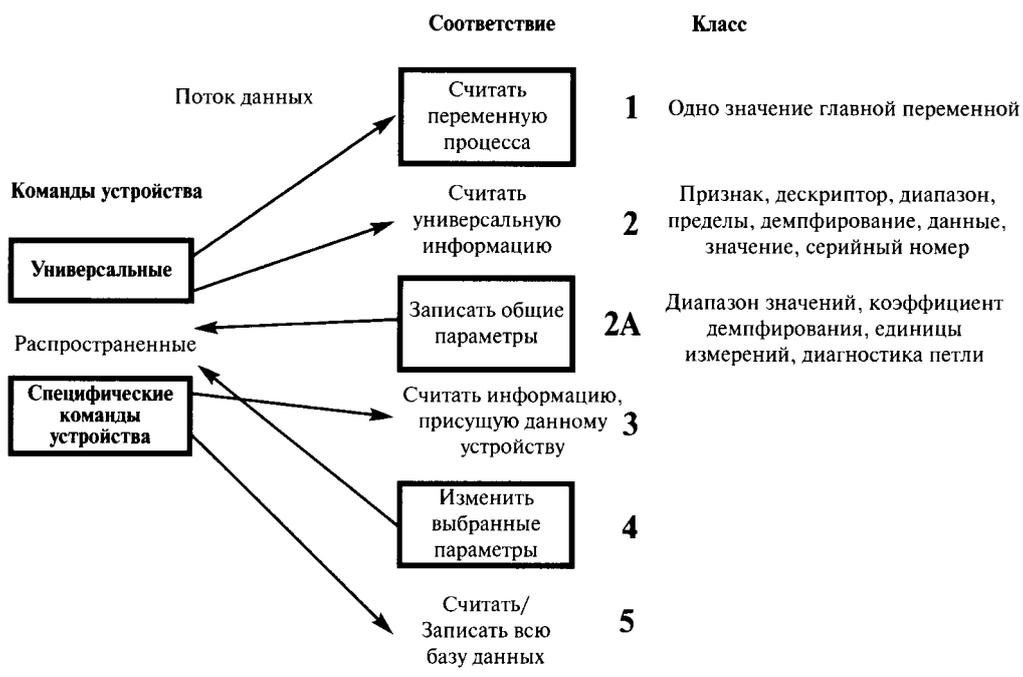


Рис. 11.8. Реализация прикладного уровня HART

Основные достоинства протокола HART:

- одновременная передача аналоговой и цифровой информации;
- возможность подключения к магистрали других аналоговых устройств;
- возможность управления одним интеллектуальным устройством от нескольких главных устройств;
- подключение нескольких интеллектуальных устройств к одной магистрали;
- дальняя связь по телефонной линии;
- два альтернативных режима передачи;
- гибкая структура сообщения, допускающая модификацию;
- контроль до 256 переменных для любого интеллектуального полевого прибора.

11.6. Типичные характеристики передатчика Rosemount

Коммуникационные характеристики

•Способ коммуникации–	Частотная модуляция (FSK). Соответствует модемному стандарту Bell 202 в отношении скорости передачи и частот двоичных «0» и «1».		
•Скорость передач битов–	1200 бит/с		
•Частота двоичного «0»–	2200 Гц		
•Частота двоичной «1»–	1200 Гц		
•Структура байта данных–	1 стартовый бит 8 битов данных 1 бит проверки четности 1 стоповый бит		
Скорость опроса цифровых переменных:	Режим опрос/ответ	-	2 раза в секунду
	Пакетный режим	-	3,7 раза в секунду
Количество многоточечных устройств:	Питание от петли	-	не более 15
	Отдельное питание	-	ограничений нет
Количество контролируемых переменных:	Не более 256 переменных на один интеллектуальный прибор		
Количество главных устройств (при передаче)	Не более 2-х		

Рекомендации по аппаратному обеспечению

Минимальный размер кабеля:	24 AWG (диаметр провода 0,51 мм)
Тип кабеля:	Одна экранированная пара или несколько пар с общим экраном

Длина при использовании одной витой пары: Не более 3049 метров

Длина при использовании нескольких витых пар: Не более 1524 метров

Для определения максимальной длины кабеля можно использовать следующую формулу:

где: L – максимальная длина (метры); R – полное сопротивление, включая экраны

$$L = \left[\frac{65 \times 10^6}{RC} \right] - \left[\frac{Cf + 10000}{C} \right],$$

(Ом); C – погонная емкость кабеля (пФ/м); Cf – максимальная паразитная емкость интеллектуального прибора (пФ).

Рабочий пример

Предположим, что интеллектуальный передатчик давления Model 3051C для управляющей системы Rosemount System 3 должен быть подключен с помощью экранированной витой пары. Вычислим максимально допустимую длину кабеля, обеспечивающего надежную работу системы:

$$L = \left[\frac{65 \times 10^6}{250 \times 164} \right] - \left[\frac{5000 + 10000}{164} \right],$$

$$R = 250 \text{ Ом}$$

$$C = 164 \text{ пФ/м}$$

$$Cf = 5000 \text{ пФ}$$

$$L = 1494 \text{ метра.}$$

Лекция 12

Открытые промышленные системы Fieldbus и DeviceNet

Fieldbus и DeviceNet являются коммуникационными стандартами, которые обеспечивают обмен данными между интеллектуальными приборами и главным устройством типа PLC. В этой главе рассматриваются различные системы Fieldbus, имеющиеся в данный момент на рынке.

Цели

Завершив изучение этой главы, вы сможете:

- описать возникновение систем Fieldbus и DeviceNet и их достоинства;
- перечислить и описать три класса сетей, используемых для систем Fieldbus и DeviceNet;
- описать характеристики следующих стандартов (включая уровни OSI):
 - Интерфейс привода датчиков (AS-i)
 - Seriplex
 - CANbus и DeviceNet
 - Interbus-S
 - Profibus
 - Промышленная информационная шина (FIP) и WorldFIP
 - Foundation Fieldbus.

12.1. Введение

В настоящее время существует несколько сотен аналоговых и цифровых стандартов, подходящих для обмена данными между системами контроля и управления. Эти полевые устройства связываются с использованием как открытых, так и проприетарных стандартов компаний. Традиционно поставщики производили и продавали полные системы, которые включали аппаратное и программное обеспечение, а также ча-

стные протоколы. Закрытые системы делали трудным, а то и невозможным, соединение устройств от разных производителей. Введение открытых стандартов протоколов привело к появлению по-настоящему открытых, взаимодействующих систем.

В этой главе системы Fieldbus и DeviceNet для простоты будут обозначаться словом Fieldbus. Обычно система DeviceNet относится к приборам типа включено/выключено и к несложным цифровым устройствам, в то время как Fieldbus имеет тенденцию к использованию в измерительных системах, которые требуют как минимум 16-рядных данных.

Создание стандарта на универсальный открытый протокол считается наиболее приемлемым завершением проблемы существования нескольких систем Fieldbus. Достоинством для конечных пользователей является то, что все устройства будут «говорить» с использованием одного протокола и, следовательно, пользователь может приобрести любое устройство и подключить его к системе, не сталкиваясь с проблемами интерфейса.

В этой главе рассматриваются:

- история систем Fieldbus;
- классы систем Fieldbus;
- системы Fieldbus в свете модели OSI;
- возможность взаимодействия сетей;
- примеры различных Fieldbus протоколов.

Прежде чем рассматривать различные протоколы, было бы полезно задать вопросы: почему **тратятся значительные** усилия, время и **деньги на поиск «идеального»** цифрового канала связи? Почему существует несколько подходов, а не одно объединенное усилие по выработке стандарта? Не достаточно ли уже имеющихся стандартов и чем они плохи? Чтобы ответить на эти вопросы, следует рассмотреть эволюцию цифровых технологий и, в частности, технологию цифровых коммуникаций.

12.2. Обзор

Глядя на эти технологии с точки зрения исторической перспективы, становится ясным, что они относительно новы и, что более важно, они еще находятся в процессе развития. По мере развития технологий разрабатываются все более сложные, но вместе с тем и малогабаритные системы. Эти новые разработки и системы проявляют недостатки существующих технологий, что приводит к их постоянным модификациям и совершенствованию, чтобы удовлетворять всем появляющимся требованиям.

Современный подход к организации кабельного хозяйства типичной системы управления показан на рис. 12.1. Концепция Fieldbus иллюстрируется рис. 12.2. На этом рисунке показано, как измерительные устройства подключаются с помощью коммуникационных кабелей. Достоинства системы Fieldbus заключаются не только в уменьшенном размере кабелей, но и в значительно увеличенном количестве данных, предоставляемых измерительным устройством.

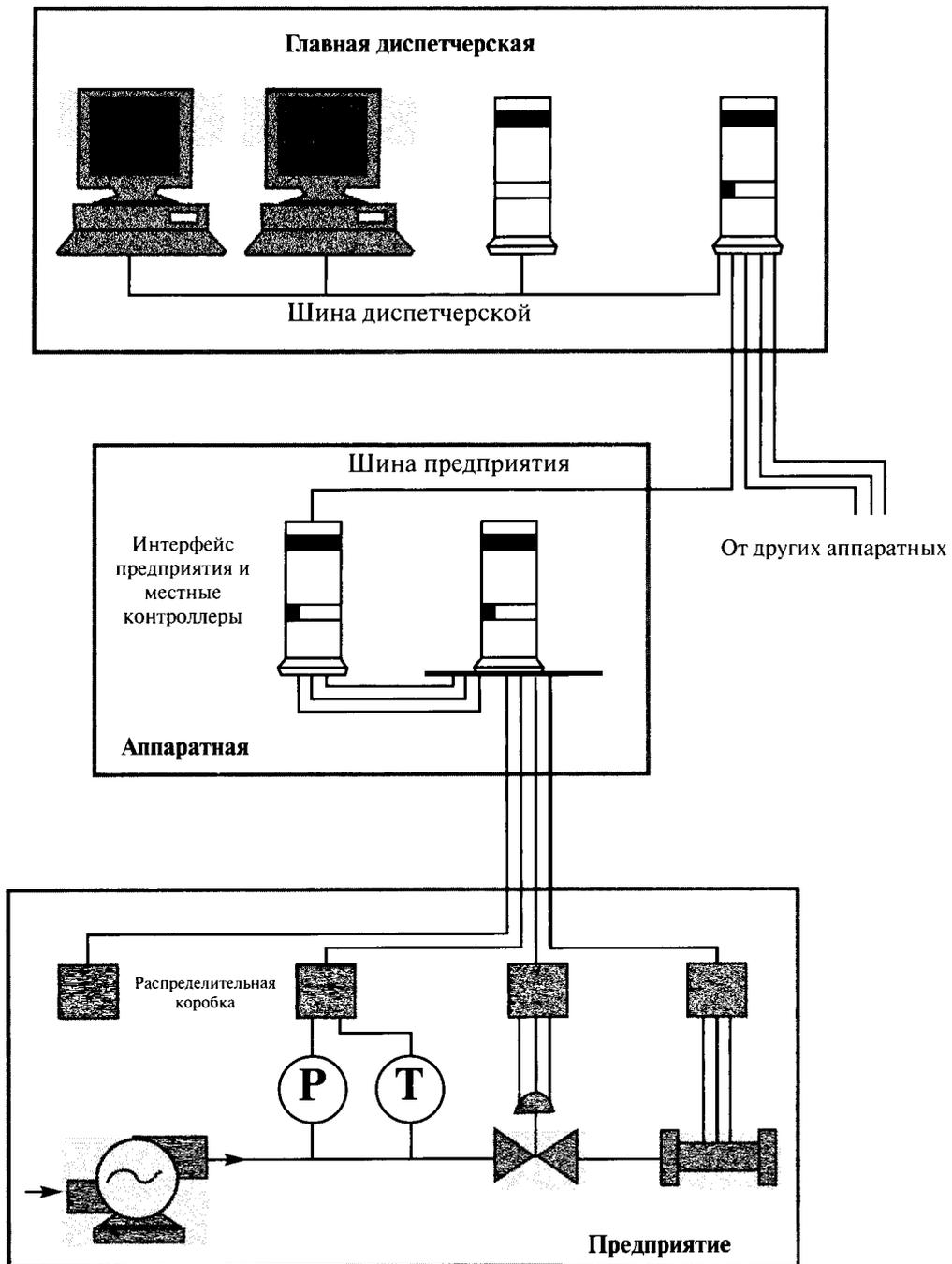


Рис. 12.1. Современный подход к кабельному хозяйству типичной системы управления

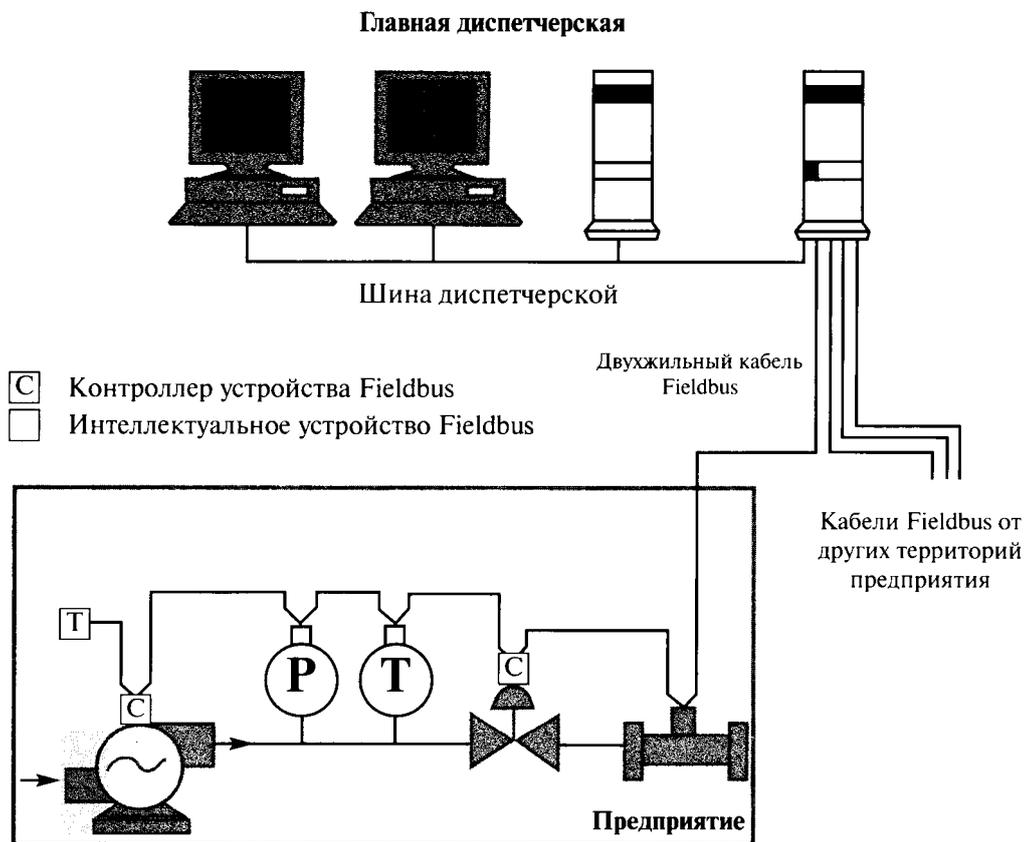


Рис. 12.2. Подход Fieldbus к кабельному хозяйству типичной системы управления

Достоинства современной шины Fieldbus

Вводимая сеть имеет ряд реальных достоинств, в том числе:

- значительно меньшая стоимость всех проводов;
- меньшее время установки и пуска в эксплуатацию;
- улучшенный онлайн мониторинг и диагностика;
- простая замена и подключение новых устройств;
- улучшенная интеллектуальность локальных устройств;
- улучшенное взаимодействие между производителями.

Классы сетей Fieldbus

На первый взгляд может показаться, что единая система Fieldbus будет выгодна всем пользователям, но это не совсем так. Очень простые полевые устройства, такие как бесконтактные и концевые выключатели, исполнительные механизмы и т.п.,

требуют для передачи состояния включено/выключено всего нескольких битов цифровой информации. Эти устройства обычно используются в реальных приложениях, когда время обновления информации измеряется несколькими миллисекундами. Сопутствующая электроника, необходимая для связи с такими системами, может быть простой, компактной и достаточно недорогой, что позволяет встроить ее в само устройство.

И наоборот, сложные устройства типа PLC, DCS или операторские станции (интерфейс между человеком и машиной, HMI) требуют сообщений длиной несколько байтов (в некоторых системах длина сообщения достигает 256 байтов) и могут, в зависимости от применения, требовать время обновления 10-100 мс. Из-за большого количества передаваемых данных в таких системах могут использоваться большие пакеты.

Решением будет цифровой коммуникационный канал, максимально подходящий для данного приложения, и максимальная интеграция информации, передаваемой через быстродействующие каналы связи. За последние несколько лет были разработаны несколько подходов при разработке цифровых сетей, учитывающих целевое применение, скорость и технологии.

Эти различные подходы часто называют системами Fieldbus и DeviceNet, которые обычно подразделяются по длине сообщения, требуемого для адекватной передачи информации к главному устройству или сети.

Способ классификации по длине сообщения позволяет отнести системы Fieldbus и DeviceNet к одному из следующих трех сетевых классов:

- Бит-ориентированные: Уровень датчиков – такие системы, как AS-i.
- Байт-ориентированные: Уровень измерительных устройств – такие системы, как Interbus-S, CANbus и DeviceNet.
- Ориентированные на сообщение: Уровень полевых устройств – такие системы, как Profibus и Foundation Fieldbus.

Бит-ориентированные системы используются, например, для очень простых двоичных устройств, таких как бесконтактные и контактные датчики (давления, поплавковые и т.п.), простые кнопочные посты и пневматические приводы. Из-за типичной природы используемых устройств (датчики и приводы) такие сети называют также **шинами датчиков**.

Вследствие большего адресного пространства и большего количества данных, обеспечиваемых форматом многобайтного сообщения, байт-ориентированные системы используются в большом количестве приложений, таких как пускатели двигателей, считыватели штрих-кода, передатчики температуры и давления, хроматографы и приводы с регулируемой скоростью.

Системы, ориентированные на передачу сообщений, передающие более 16 байтов информации, используются для взаимного соединения более интеллектуальных сис-

тем, таких как ПК, PLC, операторских терминалов и рабочих мест проектировщиков, когда требуется дистанционная конфигурация систем, передача большого количества информации в обоих направлениях, а также взаимосвязь упомянутых выше систем.

Модель OSI и системы Fieldbus

ISO/OSI является международной эталонной моделью коммуникационных систем, которая была принята за основу всеми комитетами, связанными с системами Fieldbus, в качестве отправной точки процесса проектирования.

В общих чертах, модель OSI определяет специфические задачи и интерфейс для каждого уровня. Модель, используемая в промышленной системе, является упрощенной версией и содержит только три уровня: прикладной, канальный и физический (рис. 12.3). Помимо трех уровней модели OSI, системы Fieldbus требуют введения уровня пользователя, чтобы объединить все функциональные блоки. Это будет обсуждено ниже.

Функции каждого уровня:

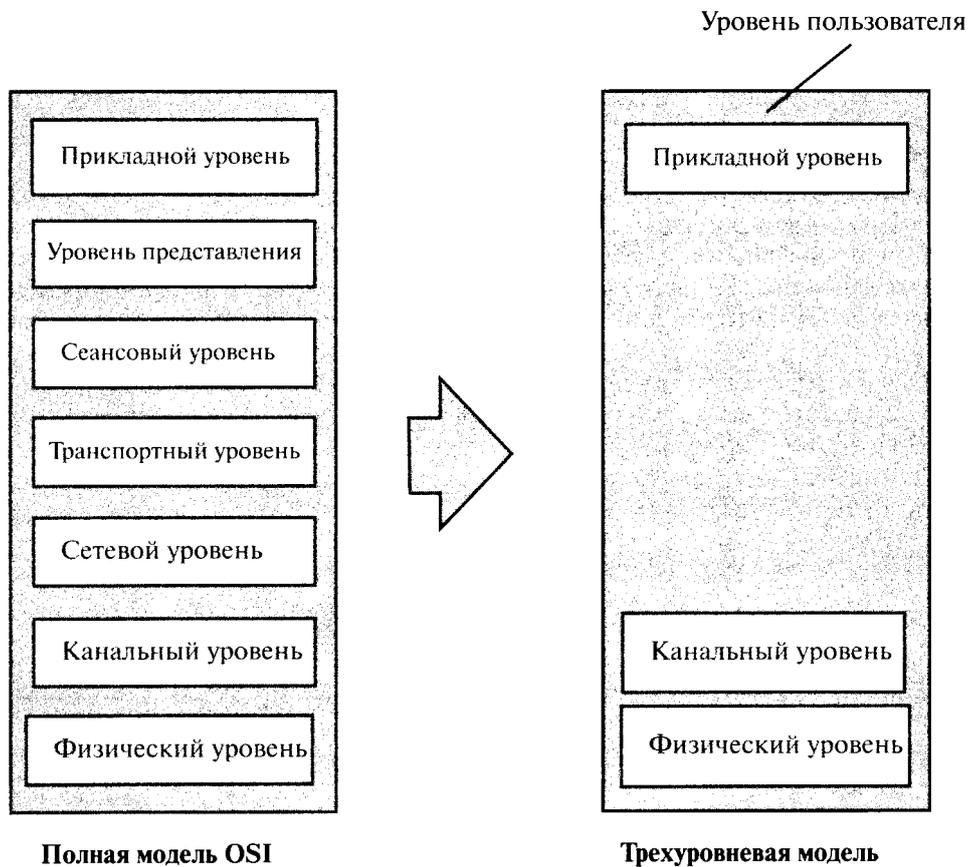


Рис. 12.3. Полная и упрощенная модели OSI

Физический уровень

Этот уровень определяет напряжения и физические подключения. Данные, полученные от канального уровня, кодируются в виде электрической информации, передаваемой по реальным проводам. Аналогично электрические сигналы, принятые по проводам, передаются в виде двоичных данных на канальный уровень.

Канальный уровень

Этот уровень определяет протокол, отвечающий за обнаружение ошибок, кодирование передаваемых и декодирование получаемых сообщений.

Прикладной уровень

Этот уровень определяет содержимое сообщений и процедуры, необходимые для их поддержки.

Сетевой и транспортный уровни были опущены почти всеми производителями протоколов Fieldbus. Это означает, что без сетевого уровня протокол не сможет обеспечивать межсетевой обмен, как это может производить протокол TCP/IP. Таким образом, большинство промышленных протоколов Fieldbus не могут напрямую связываться через различные промежуточные сети, как в Ethernet и TCP/IP.

Взаимозаменяемость устройств

Взаимозаменяемость устройств определяется как возможность замены полевых измерительных устройств аналогичными приборами от разных производителей без потери функциональности и ухудшения степени интеграции с главной системой. Пользователь может выбрать подходящие устройства для конкретного применения, не привязываясь к производителю, управляющей системе и протоколу. Обратимся к рис. 12.4.

Главная система от производителя А может получать доступ к измерителям потока по адресам 1, 2 и 3 также от производителя А с полной возможностью чтения/записи. Но для измерителя потока 4, выпущенного производителем В, возможно только чтение. Таким образом, главная управляющая система обращается с каждым из этих полевых устройств по-разному, и они не могут использоваться для замены друг друга.



Рис. 12.4. Невзаимозаменяемая система

Только в том случае, если измеритель потока по адресу 4 полностью идентичен другим устройствам, система будет считаться взаимозаменяемой.

Польза от взаимозаменяемости заключается в следующем:

- взаимозаменяемость разрешает пользователю выбирать устройства от разных производителей произвольным образом, при этом выбор не будет сказываться на работе каждого устройства;
- концепция взаимозаменяемости позволяет, в случае необходимости, использовать простую интеграцию новых полевых устройств в существующую систему.

Важно добавить, что коммуникационная иерархия, такая как модель OSI, не может рассматривать вопрос о взаимозаменяемости. Стандартизация физического, канального и прикладного уровней обеспечит возможность обмена информацией между устройствами сети Fieldbus. Именно уровень пользователя реально определяет тип данных или информацию и способ их использования. Отсюда понятна важность спецификации уровня пользователя, позволяющего обеспечить максимальную производительность системы Fieldbus (хотя он не является частью коммуникационной модели OSI).

Обзор протокола

Краткий обзор стандартов открытой шины Fieldbus включает следующие разделы:

- Интерфейс датчиков для контроля приводов (AS-i)
- Seriplex
- CANbus, DeviceNet и SDS
- Interbus-S
- Profibus
- Foundation Fieldbus

12.3. Интерфейс датчиков для контроля приводов (AS-i)

Интерфейс AS-i строится на основе принципа главное/подчиненное устройство и является открытой сетевой системой, разработанной одиннадцатью производителями. Эти производители создали Ассоциацию AS-i, предназначенную для разработки открытой спецификации Fieldbus. Хорошо известными членами Ассоциации AS-i являются Pepperl-Fuchs, Allen-Bradley, Banner Engineering, Datalogic Products, Siemens, Telemecanique, Turch, Omron, Eaton и Festo. Число членов Ассоциации AS-i продолжает расти. Ассоциация AS-i также сертифицирует вновь разрабатываемые продукты для сетей, удовлетворяющие спецификациям AS-i. Это позволяет обеспечить совместимость продуктов от разных поставщиков.

AS-i является бит-ориентированным каналом связи, разработанным для соединения двоичных датчиков и исполнительных механизмов. Большинство этих устройств не требует большого количества байтов для адекватной передачи информации, поэтому коммуникационный интерфейс AS-i предназначен для бит-ориентированных сообщений, позволяющих увеличить эффективность сообщений для таких типов устройств.

Интерфейс AS-i является интерфейсом двоичных датчиков и исполнительных устройств, предназначенным для связи датчиков и приводов с контроллером на основе микропроцессора. Интерфейс использует «сообщение» длиной несколько бит. Он не разрабатывался для соединения интеллектуальных контроллеров, поскольку он не подходит для этих целей из-за ограниченных возможностей сообщений короткой длины.

Основой системы AS-i являются модульные компоненты. Подключение к сети производится с помощью специальных соединительных модулей, требующих минимального количества инструментов (а иногда не требующих совсем) и обеспечивающих быстрое и надежное подключение к плоскому кабелю AS-i. Коммуникационная система предусматривает «горячее» подключение, позволяющее отключать и подключать узлы с минимальным вмешательством в работу сети.

Подключение к сетям высокого уровня возможно через подключаемый ПК, PLC-плату или через модули-преобразователи последовательного интерфейса.

В следующем разделе функциональные возможности AS-i сети рассматриваются более подробно.

Физический уровень

Интерфейс AS-i использует двухпроводной невитой, неэкранированный кабель, который является одновременно и каналом связи, и источником питания для 31 подчиненного устройства. Передачей данных по сети AS-i управляет один главный модуль, при этом сеть может иметь различную конфигурацию, например кольцо или дерево (рис. 12.5). Плоский кабель AS-i имеет специфическое поперечное сечение, которое позволяет только **однозначное** его **подключение** к **модулям** (рис. 12.6). Для сети AS-i могут использоваться и другие типы кабелей при условии, что они удовлетворяют кабельной спецификации AS-i. В ситуациях, в которых возможно воздействие значительных помех, рекомендуется использовать специальный экранированный кабель.

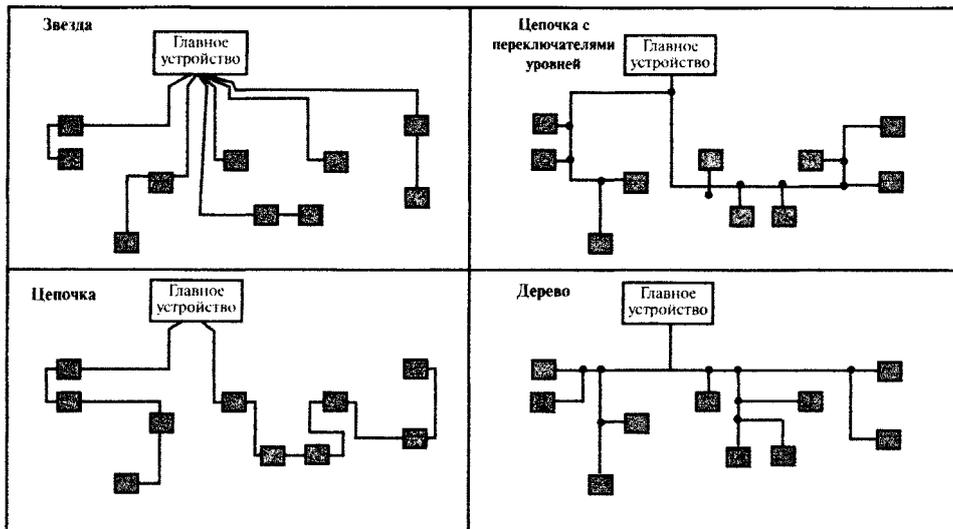


Рис. 12.5. Примеры топологии сети AS-i

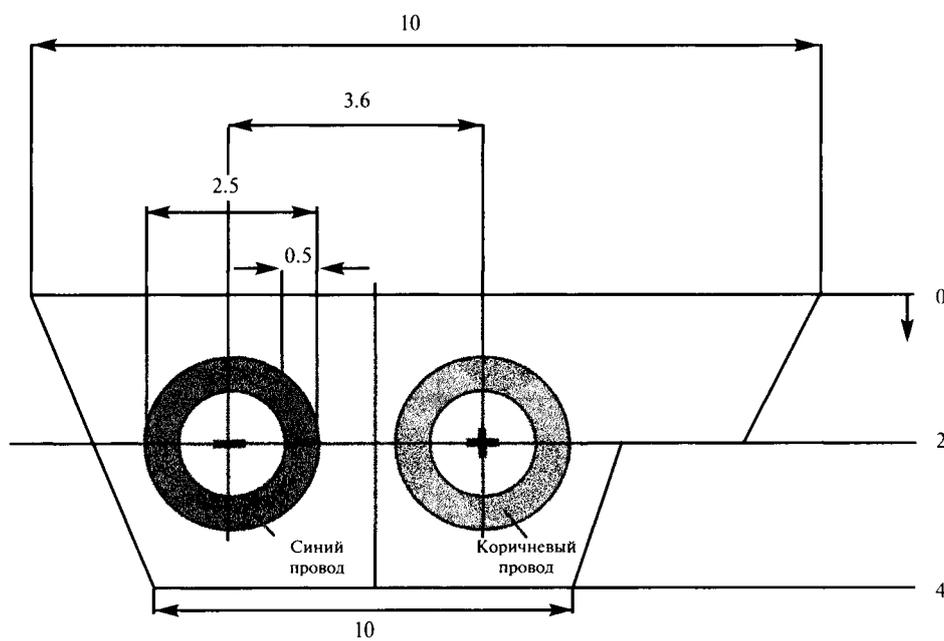


Рис. 12.6. Поперечное сечение кабеля AS-i

Каждому подчиненному устройству разрешено отбирать не более 65 мА тока от 30-вольтового источника постоянного напряжения. Если устройству требуется больший ток, то для него должен быть предусмотрен отдельный источник питания. При полном комплекте подчиненных устройств (31) общий потребляемый ток должен составлять порядка 2 А, чтобы избежать излишнего падения напряжения на заданной 100-метровой длине сети. Для выполнения этого условия используется кабель типа 16 AWG (диаметр провода 1,3-1,5 мм).

Для подчиненных (полевых) модулей возможны четыре конфигурации:

- входные модули для двух- и трех-проводных датчиков постоянного тока или датчиков замыкания контактов;
- выходные модули для исполнительных устройств;
- входные и выходные (ввод/вывод) модули двойного назначения;
- соединительные полевые модули для прямого подключения AS-i совместимых устройств.

Модули ввода/вывода способны воспринимать до четырех каналов ввода/вывода на одном подчиненном устройстве, т.е. всего для сети необходимы 124 канала ввода/вывода.

Уникальная конструкция позволяет полевые модули подключать непосредственно к шине, не нарушая ее целостности (рис. 12.7). Полевой модуль состоит из верхней и нижней секций, скрепляемых вместе при установке кабеля. Специально сконструированные контакты протыкают самоуплотняющийся кабель, обеспечивая доступ **шины к контактам ввода/вывода** без нарушения работы сети. В соответствии с модульной концепцией имеются два типа нижних секций и три типа верхних секций, которые позволяют создавать различные комбинации для подключения разнообраз-

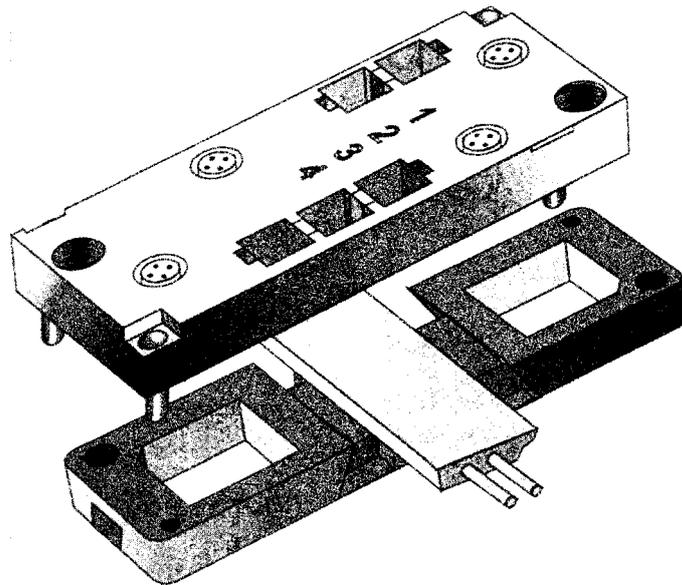


Рис. 12.7. Соединение AS-i кабеля с устройством (1)

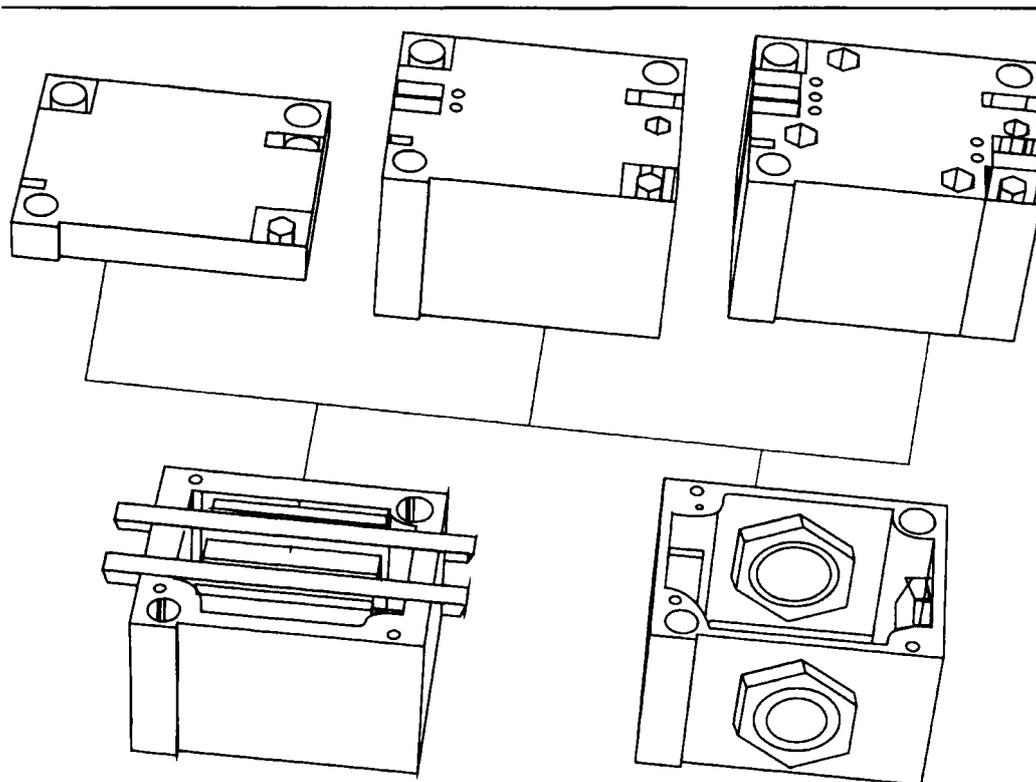


Рис. 12.8. Соединение AS-i кабеля с устройством (2)

ных типов устройств (рис. 12.8). Для подключения каналов ввода/вывода к подчиненному устройству (или к модульным клеммным коробкам) используются разъемы, а потом весь модуль герметизируется с помощью специальных уплотнений в местах ввода кабеля. Само уплотнение, если оно не используется, находится внутри модуля и не мешает работе.

AS-i сеть может передавать данные со скоростью 167 кбит/с. Используя процедуру доступа типа «главное/подчиненное устройство с периодическим опросом», во время заданного цикла главное устройство непрерывно опрашивает все подчиненные устройства, чтобы обеспечивать быстрое обновление информации. Например, при использовании 31 подчиненного устройства и 124 каналов ввода/вывода, сеть AS-i может обеспечить 5-миллисекундный цикл, что делает ее одной из самых быстрых.

Используемый способ модуляции, называемый **знакочередующейся импульсной модуляцией**, обеспечивает как высокую скорость передачи, так и целостность данных.

Этот метод описывается в следующем разделе.

Канальный уровень

Канальный уровень сети AS-i состоит из вызова главного устройства и ответа подчиненного устройства. Вызов главного устройства состоит точно из 14 битов, а ответ подчиненного устройства состоит из 7 битов. Пауза между каждой передачей используется для синхронизации, обнаружения и коррекции ошибок. Примеры кадров вызова и ответа приведены на рис. 12.9.



ST	Стартовый бит:	Метка начала вызова главного устройства 0 – действительный стартовый бит 1 – недопустимое значение
SB	Контрольный бит:	Метка данных/параметра/адреса вызова или команды 0 – данные/параметр/адрес 1 – команда
A0...A4	Адрес:	Адрес вызываемого подчиненного устройства (5 бит)
I0...I4	Информация:	Информационные биты содержат информацию, соответствующую каждому типу вызова и передаваемую к AS-i подчиненному устройству. Подробности описываются для каждого текущего сообщения.

Рис. 12.9. Формат пакета AS-i

В информационной части кадра вызова возможны любые комбинации кодов. Именно эти комбинации кодов используются для чтения и записи информации в подчиненные устройства. Примеры некоторых вызовов главного устройства приведены на рис. 12.10. Подробное описание пакетов вызовов можно получить в документации Ассоциации AS-i, а здесь описание приводится только для иллюстрации основных средств передачи информации по сети AS-i.

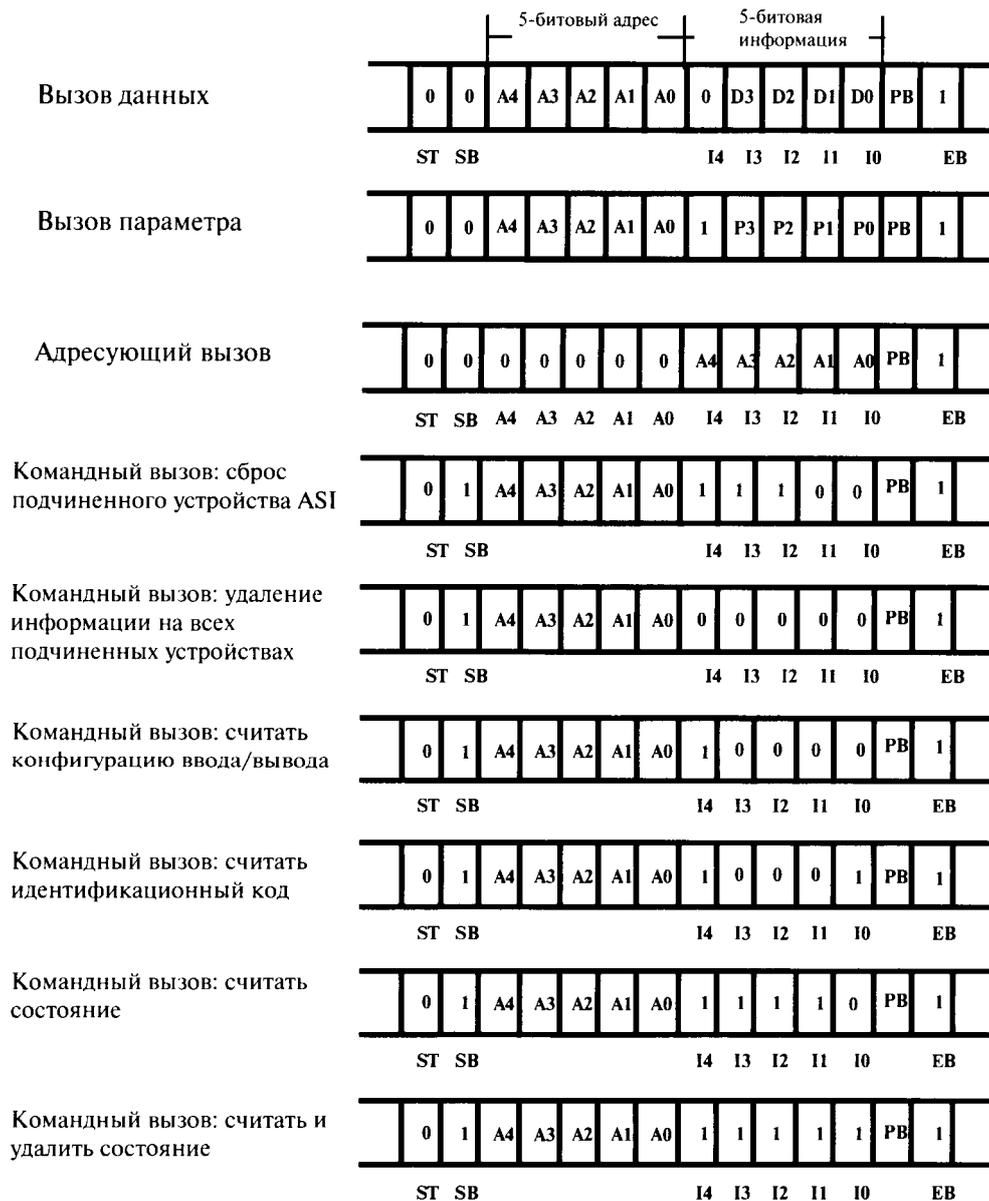


Рис. 12.10. Формат пакета AS-i (продолжение)

Способ модуляции, используемый шиной AS-i, известен как *знакочередующая импульсная модуляция* (APM). Поскольку информационный кадр имеет ограниченный размер и обычный контроль за ошибками невозможен, то разработчики AS-i выбрали другой способ модуляции, обеспечивающий высокую степень целостности данных.

Из рис. 12.11 можно видеть, что кодирование информации аналогично манчестерскому кодированию (Manchester II), но использует для каждого импульса функцию квадрата синуса. Эта форма сигнала имеет несколько уникальных электрических свойств, которые уменьшают ширину полосы передающей среды (позволяя более высокие скорости передачи) и уменьшают отражения от конца линии, обычные для сетей, использующих прямоугольные импульсы. Кроме того, ко второй половине периода каждого бита привязан импульс, который используется в качестве битового уровня контроля за ошибками AS-i устройств. Схожесть с манчестерским кодированием обусловлена тем, что этот способ использовался много лет для передачи к приемнику вместе с данными синхронизирующей информации.

Кроме того, разработчики AS-i установили набор внутренних правил для АРМ-кодированного сигнала, который используется для дальнейшего увеличения целостности данных. Например, стартовый (или первый) бит в AS-i сообщении должен быть отрицательным импульсом, а столовый бит – положительным. Два последующих импульса должны иметь противоположную полярность, а пауза между двумя последующими импульсами должна быть 3 мс. Уровень кадра поддерживает также проверку на четность и заданную длину кадра. Таким образом, сигнал несколько странного вида в сочетании с правилами образования кадра, набором правил для АРМ-кодированного сигнала и проверкой на четность обеспечивает для AS-i сети синхронизирующую информацию и высокий уровень целостности данных.

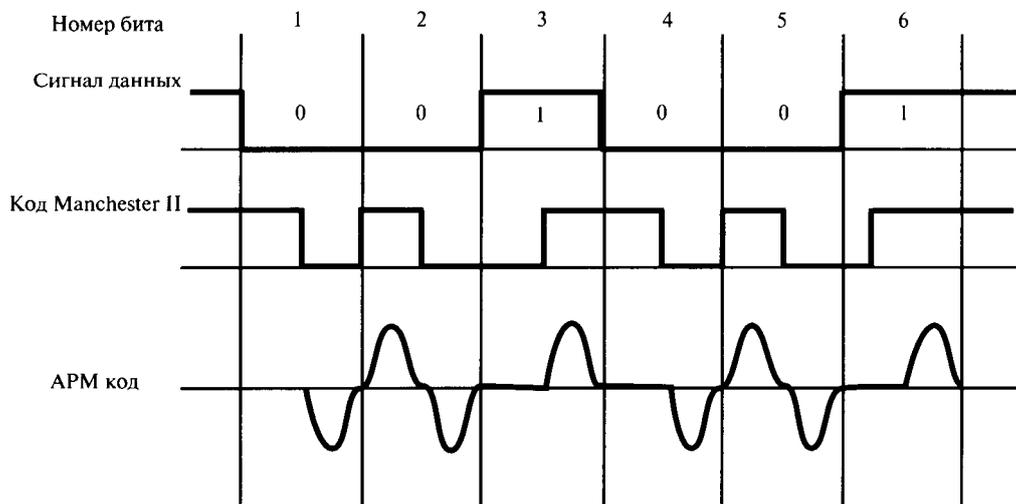


Рис. 12.11. Знакопередающая импульсная модуляция

Рабочие характеристики

Адреса узлов AS-i хранятся в энергонезависимой памяти и могут назначаться либо главному устройству, либо одним из адресующих или сервисных блоков. В случае от-

каза узла AS-i имеет возможность автоматически переназначить адрес замененного модуля и в некоторых случаях перепрограммировать сам узел, обеспечивая быстрое время ответа и ремонта.

Поскольку AS-i был разработан в качестве интерфейса между устройствами нижнего уровня, то подключение к системе высокого уровня обеспечивает возможность передачи данных и диагностической информации. В настоящее время существуют сменные платы ПК и PLC. PLC платы разрешают прямое соединение с различными PLC производства компании Siemens. Имеются также преобразователи последовательного интерфейса, обеспечивающие подключение AS-i к обычным каналам связи RS-232, 422 и 485. Подключение к полевой сети Profibus возможно также с помощью специального коммутационного устройства, обеспечивающего доступ нескольких сетей AS-i к цифровой сети высокого уровня.

На основе ПК существуют портативные инструменты, а также приборы, обеспечивающие начальное программирование при запуске системы и служащие в качестве диагностических инструментов после аттестации сети. С помощью этих устройств возможен онлайн-мониторинг, помогающий определить состояние сети и локализацию возможных источников ошибок.

12.4. Интерфейс Seriplex

Компания Automated Process Control, Inc. разработала в 1987 году управляющую шину Seriplex, специально предназначенную для промышленных применений. Была организована Seriplex Technology Organization Inc., чтобы обеспечивать информацию о шине Seriplex, распространять инструменты разработки и интегральную схему Seriplex Application Specific Integrated Circuit (AS-iC), а также предоставлять необходимую техническую помощь разработчикам. Как и остальные бит-ориентированные сети датчиков, Seriplex была разработана для обеспечения связи с устройствами ввода/вывода нижнего уровня по специализированной кабельной системе, в то же время предоставляя возможность подключения к главному компьютеру или цифровым сетям высокого уровня. Уникальные возможности сети Seriplex позволяют с помощью простых управляющих функций создать конфигурацию, подходящую для работы в двухточечном режиме, который не требует главного устройства или наблюдающего контроллера.

Шина Seriplex обеспечивает реализацию простых управляющих схем без необходимости иметь контролирующий процессор. Это все производится с помощью интеллектуальных модулей, обеспечивающих связь между входами и выходами, аналогичную действию логических стробов, т.е. выходы могут программироваться на основе состояния отдельных входов. Если требуется более сложный контроль или необходима функция мониторинга, то с помощью интерфейсных адаптеров шина Seriplex может быть подключена к главному процессору. Для этого интерфейса имеются различные вставные платы с PLC и ПК (рис. 12.12).

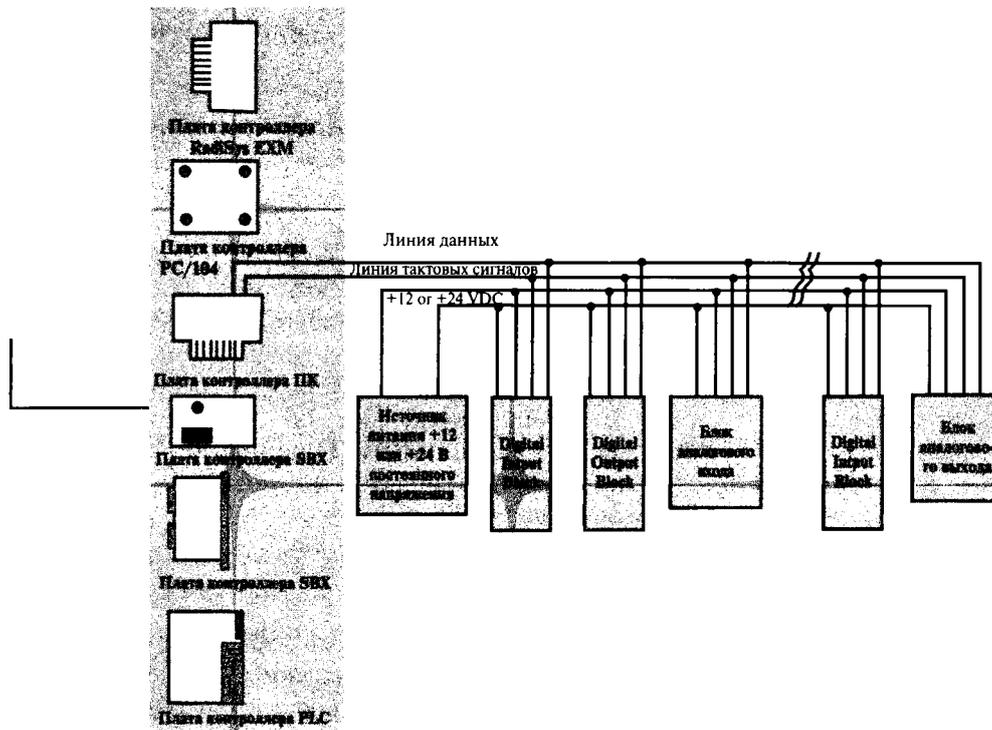


Рис. 12.12. Пример системы Seriplex:
 + 12 or +24 VDC – +12 или +24 В постоянного напряжения
 Digital Input Block – блок цифрового входа
 Digital Input Block – блок цифрового выхода

Для модульных компонентов сети Seriplex, подключаемых с помощью пятижильного провода, передающего питание, данные и тактовый сигнал, возможны различные физические топологии. С помощью такой кабельной системы шина Seriplex может поддерживать более 7000 двоичных точек ввода/вывода или 480 аналоговых каналов (240 входов, 240 выходов). Базовая конфигурация сети без мультиплексирования может поддерживать 255 цифровых вводов/выводов, 32 аналоговых ввода/вывода или их комбинацию.

В следующем разделе сеть Seriplex описывается более подробно.

Физический уровень

Кабельная система Seriplex состоит из одного четырехжильного кабеля, содержащего экранированные провода AWG 22 (диаметр провода 0,65-0,75 мм) для передачи данных и тактовых сигналов и два провода AWG 16 (диаметр провода 1,3-1,5 мм) для питания и общего провода. Предусмотрен также провод для заземления экрана. Тактовая частота выбирается в пределах от 16 до 100 кГц, а с более новыми кабелями мож-

но использовать частоту до 200 кГц. Для всех коммуникационных систем очень важна емкость кабеля, поэтому несколько производителей поставляют кабели с низкой погонной емкостью, позволяющие увеличить скорости передачи. При использовании специальных кабелей с низкими емкостями (50 пФ/м) длиной 160 м шина Seriplex позволяет работать на частотах до 100 кГц. Однако кабели с емкостью 60 пФ/м ограничивают это расстояние при работе на частоте 100 кГц расстоянием 120 м. Важность использования кабелей с небольшой емкостью невозможно переоценить ни для какой системы.

В системах Seriplex первого поколения для питания устройств ввода/вывода кабель обеспечивает питание 12 В постоянного напряжения. Системы второго поколения работают либо от 12, либо от 24 В постоянного тока, причем напряжение выбирается пользователем в зависимости от конкретной системы. Полевые подключения производятся с помощью Seriplex-модулей, расположенных рядом с устройствами.

Индивидуальные адреса ввода/вывода программируются в модуле, чтобы обеспечить доступ по сети к любой точке системы. Всего для модулей имеется 255 адресов. Цифровые входы и выходы используют по одному адресу. Каждый 8-разрядный аналоговый модуль использует восемь адресов (для одного аналогового входа или выхода). Для увеличения суммарного количества цифровых вводов/выводов до 7706 или аналоговых вводов/выводов до 480 (или их комбинации) используются методы мультиплексирования.

Сигналы данных и тактовые сигналы передаются по сети в виде цифровых импульсов с перепадами от 0 до +12 В.

Канальный уровень

Шина Seriplex допускает два различных режима работы, выбор которого зависит от выполняемых операций. Оба режима работы используют специальный метод контроля доступа, описанный ниже в разделе «Режим 2».

В режиме 1 (двухточечный режим) модули могут логически связываться без необходимости участия главного контроллера. В этом случае логические функции реализуются непосредственно между модулями. Для этого режима необходим отдельный тактовый модуль, поскольку главное устройство, обеспечивающее тактовую информацию, отсутствует. Выходы модуля могут быть логически запрограммированы на работу, определяемую состоянием входов других модулей. На основе этой возможности простые логические функции могут быть реализованы без участия главного контроллера.

Режим 2 требует, чтобы главный контроллер обеспечивал тактовые синхронизирующие сигналы. Приемник каждого модуля считает тактовые импульсы. Когда отсчет для тактового сигнала будет равен адресу приемника, то приемнику предоставляется доступ к линии, чтобы считать данные из главного контроллера и потом произвести в нем запись.

Этот способ контроля доступа уникален тем, что через систему непрерывно проходит пачка тактовых импульсов и импульсов данных. Доступ к линии данных для конкретных адресов (состояние бита) обеспечивается в течение определенного временного интервала (рис. 12.13). Это «непрерывное опрашивание» начинается с синхронизирующего сигнала длиной восемь тактовых периодов, который служит

индикатором того, что начинается «опрос». В начале цикла линия данных «пуста». Когда счет импульсов сравнивается с адресным счетом каждого модуля, модули выводят значения их битов на линию данных таким образом, чтобы конец цикла всей информации был доступен главному устройству. Размер кадра может быть в пределах от 16 до 256 бит (кратным 16), чтобы вместить информацию для систем различных размеров. Корректно заданный размер системы и соответствующий размер кадра могут обеспечить для небольших сетей чрезвычайно быстрое время обновления информации.

Эхоконтроль данных обеспечивает обнаружение ошибки на уровне битов. Приемник повторно «отражает» сообщения (обычно один бит на адрес), чтобы подтвердить правильность принятых данных. Это происходит не автоматически, а реализуется программистом на прикладном уровне программного обеспечения.

Рабочие характеристики

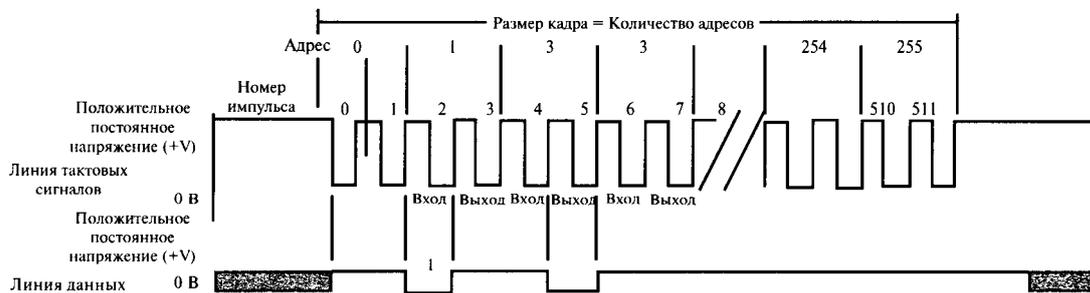


Рис. 12.13а. Режим 1 для сети Seriplex

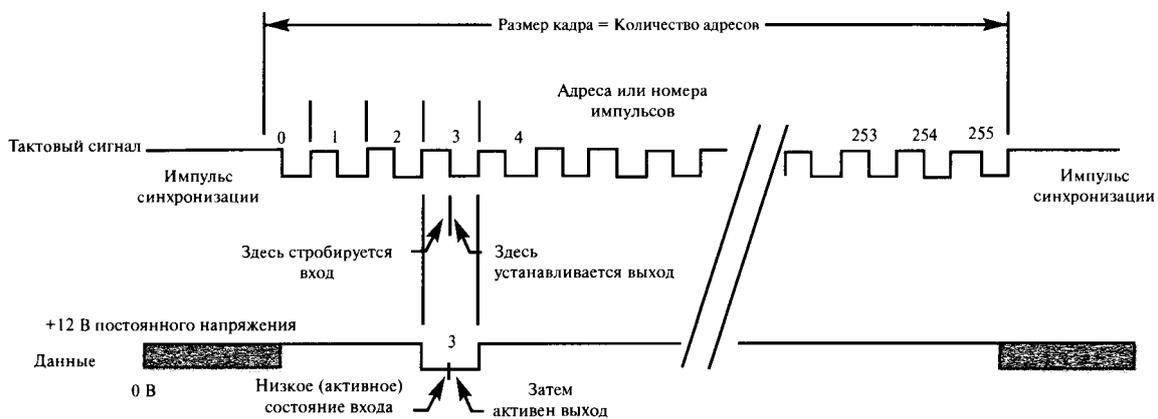


Рис. 12.13 б. Режим 2 для сети Seriplex

Serialplex является бит-ориентированной сетевой системой, предназначенной для связи устройств низкого уровня как физически, так и логически (режим работы 1). Эти свойства обеспечивает ИС AS-I-C, устанавливаемая во всех устройствах Serialplex. Для конфигурации устройств сети Serialplex имеются портативные программирующие приборы.

Связь устройств с полевыми сетями более высокого уровня возможна через главные контроллеры или специальные шлюзы.

12.5. Системы CANbus, DeviceNET и SDS

CANbus

Сеть CANbus была разработана для автомобильной промышленности в ответ на быстро растущее использование электронных устройств в автомобилях. По мере увеличения требований к эффективности расхода топлива и безопасности движения все большее количество электронных устройств становилось частью этой системы. Необходимость в быстрой передаче информации между многочисленными устройствами стала насущной необходимостью. Компанией Bosch была разработана последовательная шина для передачи данных, удовлетворяющая этим требованиям. Она называлась сетью промышленных контроллеров (CAN). Спецификации CAN определены в следующих выпусках: 1) спецификация BOSCH CAN - версия 2.0, Часть А и 2) ISO 11898: 1993 - автомобильные транспортные средства - Обмен цифровой информацией - сеть промышленных контроллеров (CAN) для быстрой передачи данных. Сеть CAN была быстро приспособлена для применения в промышленности.

CAN является сетью шинного типа, которая не использует главное шинное устройство или схемы передачи маркера, чтобы получить доступ к шине. Вместо этого сеть использует уникальный метод контроля доступа, называемый **порядный арбитраж без разрушения информации**. Этот тип контроля доступа к шине использует бит идентификатора станции, как это показано на рис. 12.14. Приоритет станции определяется назначением адресов, производимым при конфигурации сети, при этом первоочередной доступ предоставляется станции с наивысшим приоритетом. В отличие от схем арбитража с передачей маркера или типа главное/подчиненное устройство, схемы CAN не являются детерминированными, а подчиняются станции с наивысшим приоритетом, заставляя ждать доступа станциям с более низким приоритетом.

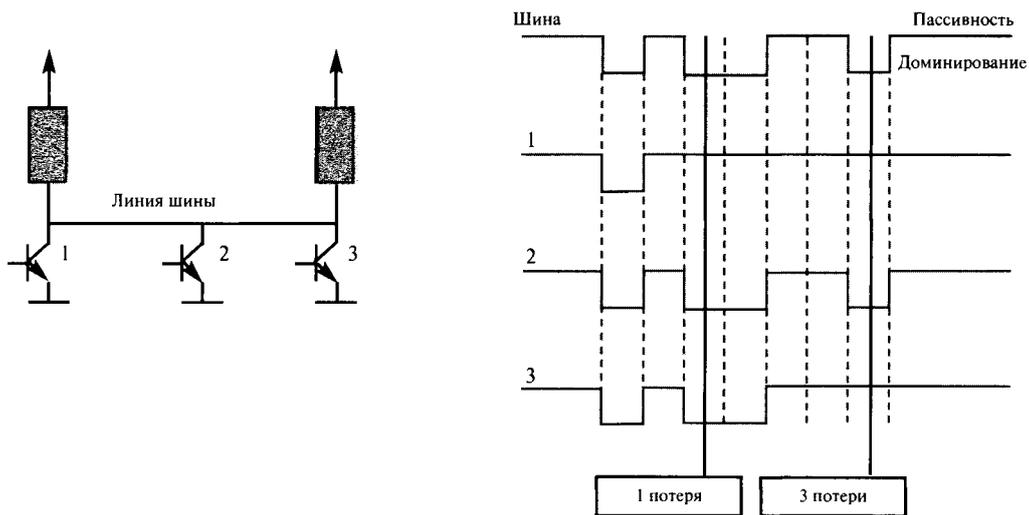


Рис. 12.14. Пример битового арбитража

Рисунок 12.14 демонстрирует битовый арбитраж систем типа CAN. Устройства 1, 2 и 3 пытаются передать сигнал одновременно. Активность проявляется нулевым уровнем «0». **Результаты** можно видеть на верхней части графика. Поскольку устройство 1 выставляет «1», а над ней преобладает «0» устройства 2 и 3, то оно теряет информацию и прекращает передачу. Затем устройство 3 выставляет «1» и над ней доминирует устройство 2. Таким образом, устройство 2 продолжает передавать, пока устройства 1 и 3 ожидают освобождения линии.

Станция CAN, которая выигрывает арбитраж, продолжает непрерывно передавать свой кадр сообщения, который не портится попытками передач других станций. Это обеспечивает высокую эффективность передачи данных по сети. Типичный кадр сообщения CAN показан на рис. 12.15. Необходимо отметить, что поле данных может иметь переменную длину – до 8 байтов. Это свойство делает CAN подходящей для использования с более сложными устройствами, которые для адекватной передачи своей информации могут потребовать нескольких байтов. Для обеспечения целостности данных, передаваемых по шине, используется контроль за ошибками CRC, специфические требования к длине кадра, а также отдельные подтверждения сообщений.

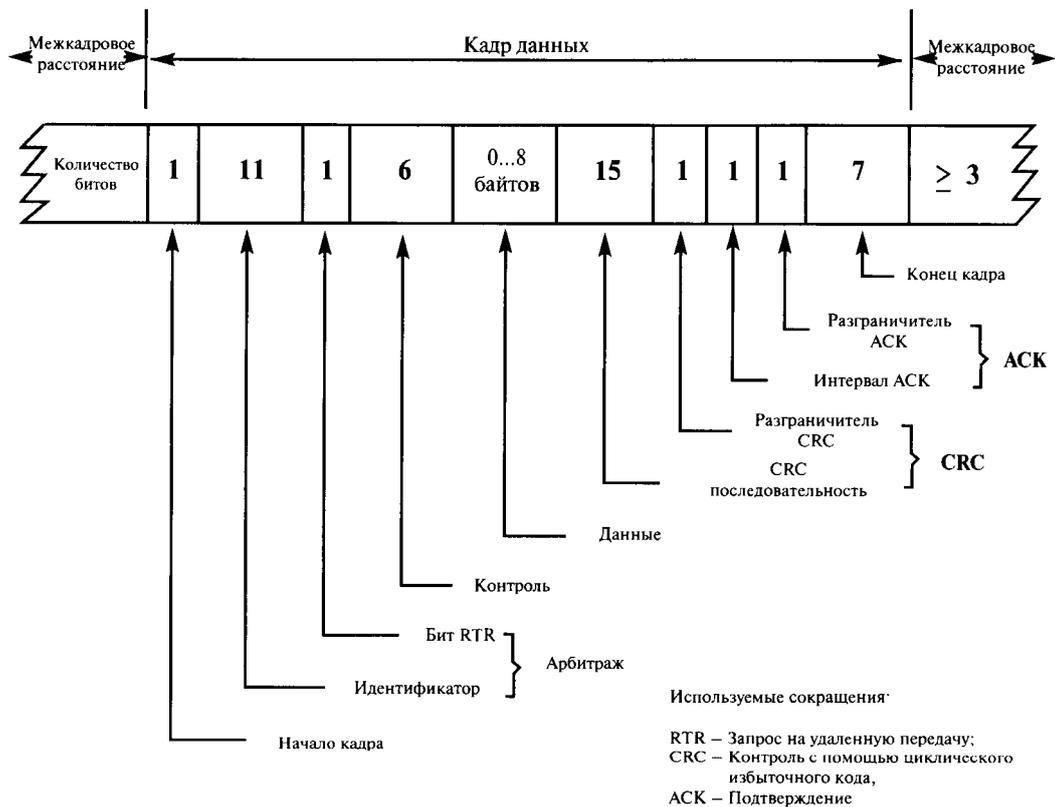


Рис. 12.15. Пакет CANbus

Спецификации протокола CAN охватывают только физический (уровень 1) и канальный (уровень 2) уровни модели ISO/OSI. Параметры, относящиеся к физической среде канала связи и прикладного уровня (уровень 7), предоставлены разработчикам систем, как это описывается ниже.

DeviceNet

DeviceNet, разработанная Allen-Bradley, является низкоуровневой приборно-ориентированной сетью на основе сети CAN. Она разработана для соединения устройств нижнего уровня (датчиков и исполнительных механизмов) с устройствами высокого уровня (контроллерами). Для этой задачи хорошо подходит многобайтный формат кадра сообщения CAN, поскольку сообщения такого формата передают больше информации, чем бит-ориентированные системы.

Для выпуска спецификаций DeviceNet, обеспечения совместимости со спецификациями и выработки предложений для производителей, желающих реализовать DeviceNet, была сформирована организация Open DeviceNet Vendor Association Inc.

(ODVA). Более 125 фирм либо формально присоединились, либо подписали протокол о намерениях стать членами этой организации. Спецификация DeviceNet является открытой и ее можно получить через ODVA.

DeviceNet поддерживает до 64 узлов, а всего до 2048 устройств. Питание и передачу данных обеспечивает единственный четырехжильный кабель. Для взаимного соединения устройств ввода/вывода имеются различные модули, а настраивать конфигурацию позволяет сетевая магистраль.

Поскольку DeviceNet разработана для обеспечения связи устройств нижнего уровня с контроллерами верхнего уровня, был разработан уникальный вариант базового протокола CAN. Он аналогичен методам опрос/ответ или главное/подчиненное устройство, но использует скоростные достоинства оригинальной сети CAN.

На рис. 12.16 показан профиль DeviceNet и его связь с моделью ISO/OSI. Важно отметить, что спецификацией протокола CAN охватываются только уровни 1 и 2, хотя для сети DeviceNet были разработаны и остальные уровни.

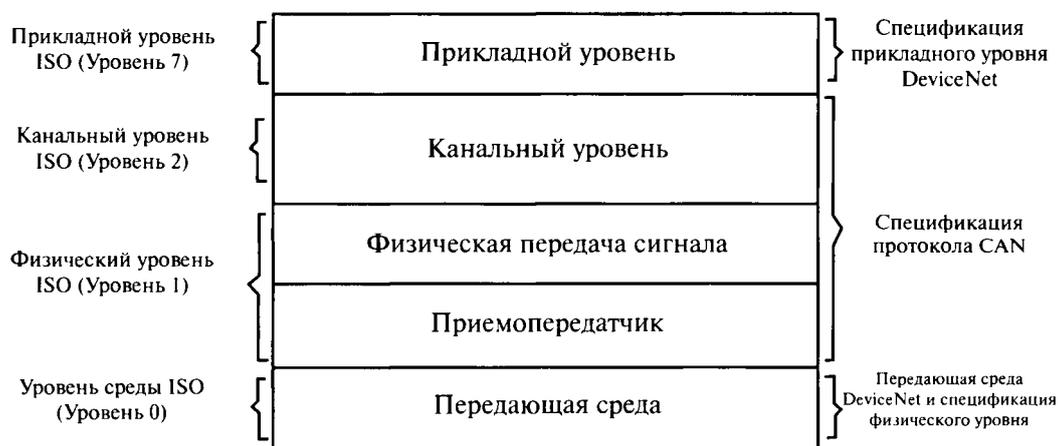


Рис. 12.16. DeviceNet и модель OSI

В следующих разделах подробно рассматриваются возможности сети DeviceNet и ее протокол.

Физический уровень

Кабельная система DeviceNet состоит из одного четырехжильного кабеля, обеспечивающего питание и передачу данных. Данные передаются по витой паре 18 AWG (диаметр провода 1,0 – 1,2 мм), а питание по витой паре 15 AWG (диаметр провода 1,4 мм). Обе пары имеют экран из фольги, а поверх всего оплетку и общий провод 18 AWG. На обоих концах магистральной линии необходимы согласующие резисторы. Для питания шины используется 24 В постоянного напряжения; всего для тонкого

кабеля DeviceNet может отбираться ток 3 А, а для толстого кабеля – 8 А. Максимально допустимая длина магистрали зависит от типа используемого кабеля, количества поддерживаемых устройств и скорости передачи данных. Напряжение на каждом устройстве должно быть не менее 11 В (постоянное).

Для конфигураций сетей, показанных на рис. 12.17, возможна скорость передачи данных 125, 250 и 500 кбит/с. Подключение устройств к сети можно производить с помощью различных соединителей, таких как винтовые клеммы или герметизированные соединительные коробки.

Чтобы разрешить поразрядный арбитраж без разрушения информации во время одновременной передачи от двух или большего количества узлов, спецификация BOSH CAN определяет два возможных логических уровня – доминирующий и пассивный. Доступ к шине во время арбитража обеспечивает доминирующее значение. Для

Скорость передачи данных (кбод/с)	Длина магистрали (м)	Расстояние между ответвлениями (м)	
		Максимум	Суммарное
125	500	3	156
250	200		78
500	100		39

Рис. 12.17. Длина и скорость передачи магистрали DeviceNet

DeviceNet доминирующий уровень представляется логическим «0», а пассивный уровень – логической «1». Уровни электрического напряжения для этих логических уровней взяты из стандарта ISO 11898. CAN использует симметричную систему передачи, когда сигналы данных являются разницей между CANH и CANL.

Чтобы избежать паразитных контуров заземления, спецификации DeviceNet требуют развязки. Поскольку напряжение для схем всех устройств в конечном счете берется относительно сигнала шины V-, то соединение сети должно быть заземлено только у источника питания шины. Для всех подключенных к сети устройств напряжение должно измеряться либо относительно V-, либо общий провод должен быть изолирован.

Чтобы устройство DeviceNet использовать на физическом уровне или уровне среды передачи, от него требуется:

- использование технологии CAN;
- поддержка толстой и тонкой промежуточных линий;
- способность работать не менее чем с тремя скоростями передачи данных;
- 125 кбод для расстояний до 500 метров (макс);
- 250 кбод для расстояний до 200 метров (макс);

- 500 кбод для расстояний до 100 метров (макс);
- линейная топология шины;
- кабель с низкими потерями и задержками;
- экранированная витая пара, содержащая пары для питания и сигнала;
- небольшой размер и низкая стоимость;
- поддержка до 64 узлов;
- поддержка промежуточных линий до 6 м;
- удаление узла без нарушения или прерывания работы сети;
- одновременная поддержка изолированных и неизолированных физических уровней.

DeviceNet использует два типа стандартных кабелей: толстый и тонкий. Толстый кабель является большим серым кабелем, используемым для длинных магистральных звеньев между устройствами. Тонкий кабель является небольшим и обычно желтым, который соединяет толстый кабель с устройствами. Толстый и тонкий кабели соединяются вместе с помощью большого черного тройника. Все кабели и соединения имеют резьбовые разъемы.

Канальный уровень

Канальный уровень определен в спецификации протокола CAN (см. рис. 12.16). Этой спецификацией определяется формат канального уровня (формат кадра). Однако способ, используемый для кодирования полей идентификатора и данных в пакете сообщения CAN, предоставлен разработчику прикладного уровня, как это описывается в следующем разделе. Метод коммуникации основан на принципе производитель/потребитель, при котором одна станция (*производитель) выставляет данные на шину с регулярными интервалами, которые затем считываются станцией-потребителем сети.

Прикладной уровень

Спецификация CAN не определяет, как следует интерпретировать информацию в полях кадра сообщения CAN – это все оставлено на разработчиков конкретного программного обеспечения. Для сети DeviceNet был разработан уникальный метод, позволяющий существовать двум типам сообщений.

Главное устройство отличается от подчиненного использованием специальных кодов-идентификаторов (битовая комбинация). Кроме того, части этого поля сообщают подчиненному устройству, как реагировать на сообщение главного устройства. Например, от нескольких подчиненных устройств может быть затребована одновременная выдача информации, и в этом случае схема арбитража шины CAN обеспечивает наиболее подходящий последовательный ответ всех подчиненных устройств в порядке, соответствующем их приоритету. Или же подчиненные устройства могут опрашиваться индивидуально с помощью задания различных идентифицирующих кодов. Этот способ предоставляет средствам реализации системы большую гибкость путем задания приоритетов узлов и адресов устройств.

Работа системы

Для подключения шины DeviceNet к устройствам высокого уровня имеется несколько модулей. Например, компания Allen-Bradley разработала сменные PLC платы, работающие как DeviceNet сканер. Такие устройства поддерживают конфигурацию типа главное/подчиненное устройство, обеспечивающую связь с подчиненными устройствами. Связь может также обеспечиваться путем использования строба либо путем опроса. Могут поддерживаться два отдельных канала DeviceNet (или сети). Модули производят ограниченную диагностику сети, а канал связи передает эту информацию к контроллерам высокого уровня. Имеется также интерфейс, который позволяет в качестве узла сети использовать ПК.

С помощью адаптера ввода/вывода DeviceNet flex с вводом/выводом сети DeviceNet и PLC контроллерами могут связываться до 128 устройств, не совместимых с DeviceNet. На рынке имеются и другие типы DeviceNet-совместимых устройств, которые подключаются непосредственно к сети с минимальными усилиями по конфигурации.

Интеллектуальные распределенные системы (SDS)

Интеллектуальная распределенная система (SDS) была разработана компанией Honeywell и является прибор-ориентированной сетью на основе шины CAN. Она предназначена для взаимного соединения устройств нижнего уровня (датчики и исполнительные механизмы) с устройствами высокого уровня (контроллеры). Многобайтный формат кадр сообщения CAN хорошо подходит для такой задачи, поскольку более **интеллектуальные устройства скорее могут общаться с помощью сообщений**, чем с помощью отдельных битов.

Стандартизацию и техническое содействие производителям, желающим реализовать SDS, обеспечило образование специальной партнерской SDS программы в сочетании с выпусками Honeywell спецификаций SDS. Спецификация SDS является открытой и ее можно получить от Honeywell или через партнерскую программу SDS.

Сеть SDS может соединять по одной шине до 126 устройств. Каждая группа из 16 устройств ввода/вывода подключается к устройству высокого уровня (например, PLC) с помощью специального интерфейсного соединителя (ITS). ITS обеспечивает физический интерфейс между сетевой шиной и отдельной точкой ввода/вывода на плате PLC. Имеются также сменные платы для подключения шины непосредственно к ПК. Этот выбор интерфейсов предоставляет разработчику различные способы интеграции SDS с существующими PLC системами.

SDS использует сеть CAN, позволяющую устройствам передавать информацию только тогда, когда в этом есть необходимость, например при изменении состояния входа контроллера. Такой подход уменьшает сетевой трафик путем минимизации количества запросов от контроллера к подчиненным устройствам.

Как и для других систем на основе CAN, сеть SDS использует OSI уровни 1 и 2 (физический и канальный) протокола CAN и разрабатывает уровень приложения SDS (OSI, уровень 7) в соответствии с конкретным приложением, объединяя устройства низкого уровня с контроллерами высокого уровня.

В следующих разделах подробно рассматриваются особенности сетей и протокол небольших распределенных систем (SDS).

Физический уровень

Кабельная система SDS состоит из одного четырехжильного экранированного кабеля, образующего шину для передачи питания и данных. Пары проводов питания и данных являются витыми, а для защиты от помех имеется общий экран. На обоих концах линии должны быть согласующие резисторы. Для питания полевых устройств шина питания обеспечивает от 12 до 24 В. Суммарная максимальная длина магистральной линии зависит от типа используемого кабеля, количества подключенных устройств и скорости передачи данных.

Возможны различные скорости передачи данных с соответствующим ограничением конфигурации сети. Для подключения устройств к сети могут использоваться несколько типов соединителей, такие как винтовые клеммы или герметизированные клеммные коробки.

Канальный уровень

Канальный уровень определен спецификациями CAN протокола (см. рис. 12.16). Этой спецификацией определен формат данных канального уровня (формат кадра), однако метод, используемый для кодирования полей идентификатора и данных в пакете сообщения CAN, оставлен на разработчика прикладного уровня.

Прикладной уровень

Спецификация CAN не определяет, как должна интерпретироваться информация в полях кадра CAN сообщения; это все предоставлено разработчиками программ для конкретного применения. В случае SDS для связи между **подчиненными устройствами** и контроллерами в кадре-идентификаторе допустимо использование различных кодов.

С помощью специальных кодов-идентификаторов (битовая комбинация) каждому устройству назначается уникальный адрес. Адреса источника и назначения сообщения различаются по установке старшего бита-идентификатора CAN (0 или 1), называемого битом направления SDS. Нуль обозначает, что следующий адрес является местом назначения, а единица обозначает, что это источник сообщения. Прикладной протокол обеспечивает любому устройству, которому необходимо прочитать сообщение («потребителю»), доступ к информации, когда она появляется в сети. Для одного сообщения может быть несколько потребителей.

И наоборот, когда устройство обнаруживает изменение состояния, оно может выставить информацию в сеть, как только ему дадут доступ к шине в соответствии с процедурой арбитража CAN. Это устройство называется в протоколе CAN **производителем**.

С помощью этих уникальных идентифицирующих кодовых полей SDS обеспечивает функционирование и реализацию всех возможностей этой гибкой и быстрой сети, работающей на уровне устройств.

Работа системы

Некоторые особенности SDS реализуются на системном уровне и позволяют ускорить пуск и мониторинг состояния устройств и сети. Одной из этих особенностей является функция Autobaud. Используя эту функцию, устройство, управляющее шиной (специальный контроллер сети, обычно главный контроллер), передает сообщение сразу же после первоначальной подачи питания на шину. Это позволяет всем остальным устройствам контролировать продолжительность кадра и определить скорость передачи данных контроллера. Каждое устройство может затем настроить свою скорость, чтобы все устройства работали с одной скоростью.

Непрерывный мониторинг «отсутствующих» и неисправных устройств производится путем периодического опроса. Если устройство не отвечает в пределах заданного временного интервала, то главное устройство выставит флаг, предупреждающий об отсутствии устройства. Опрос будет производиться до тех пор, пока устройство не появится вновь.

Другой особенностью мониторинга является периодический контроль за диагностикой устройства. Вместо опроса устройства главное устройство будет периодически выдавать команду на самодиагностику и изучать диагностические регистры устройства на предмет наличия ошибок.

Прямое подключение SDS к различным устройствам более высокого уровня, таким как PLC, ПК, VMEbus-системы, пускатели и прочие экспериментальные системы, обеспечивается несколькими модулями, разработанными в рамках партнерской программы SDS. Интерфейсы SDS к новым устройствам, несомненно, будут появляться в будущем, поскольку эта сеть постоянно продолжает находить все новые применения в промышленности.

12.6. Interbus-S

Interbus-S является открытой сетью уровня устройств, которая позволяет подключать до 4096 цифровых точек ввода/вывода на расстоянии до 400 м. С помощью уникального протокола передачи кадров информацию этих точек можно обновлять за 14 мс, хотя возможна и более высокая скорость, если использовать меньшее число точек ввода/вывода. Interbus-S имеет синхронную кольцевую топологию с ответвлениями для подключения подсистем (структура типа «дерево»), позволяющую подключить до 256 станций. Скорость передачи данных составляет 500 кбит/с.

Формат с переменной длиной кадра позволяет использовать кадры сообщений длиной до 512 байтов и обеспечивать связь между интеллектуальными устройствами ввода/вывода. Возможности этой сети допускают интеграцию с сетями более высокого уровня типа Fieldbus.

В 1993 году была основана организация Interbus-S Club, предназначенная для поддержки и развития сетевого стандарта Interbus-S. Эта организация обеспечивает спецификации Interbus-S всем потенциальным разработчикам и помогает с технической информацией.

В следующих разделах рассматриваются особенности сети и протокола Interbus-S (IBS).

Физический уровень

Спецификация кабельной системы Interbus-S позволяет для соединения станции по кольцевой топологии использовать либо медную витую пару, либо оптоволоконную пару. Передача данных является последовательной; передача кадра производится с помощью специальной процедуры, использующей сдвиговый регистр, разработанный для сети Interbus-S. Два типа коммуникационных шин действуют, как части одной сети – местная и удаленная шина. Каждый тип шины передает те же сигналы, но с разными электрическими уровнями. Местная шина работает с TTL-уровнями напряжения и предназначена для коротких расстояний, обычно в пределах помещения, в котором производится контроль. Удаленная шина использует уровни напряжения интерфейса RS-485 и предназначена для связи на более дальние расстояния – до 400 м. Обе шины работают со скоростями 500 кбит/с и для преобразования этих двух уровней сигналов требуется специальный модуль ВК (рис. 12.18).

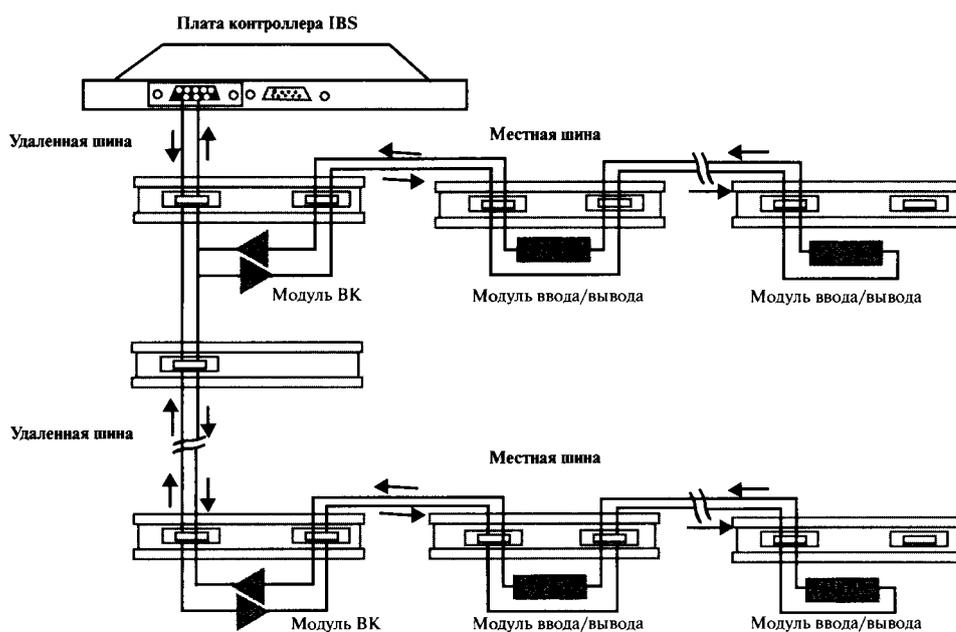


Рис. 12.18. Пример схемы включения Interbus-S

Коммуникация производится во время циклов сканирования. Каждый цикл сканирования сдвигает сообщения через каждую станцию сети в возрастающем порядке. Данные считываются из сообщения и записываются в сообщение во время каждого цикла, что обеспечивает быстрые времена ответа (рис. 12.19).

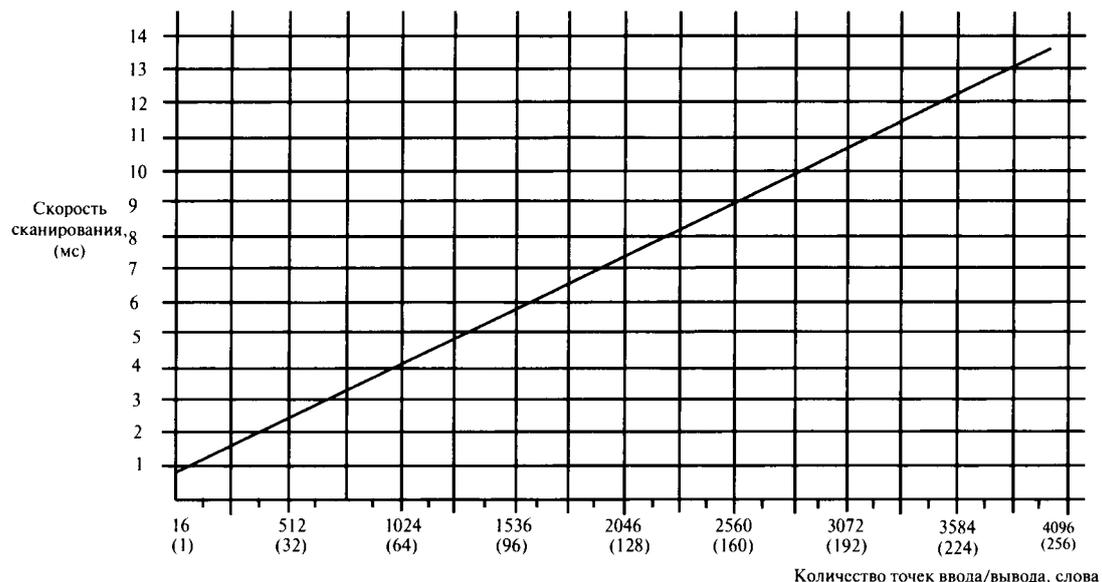


Рис. 12.19. Скорость сканирования шины Interbus-S в зависимости от количества точек ввода/вывода

Канальный уровень

Протокол канального уровня обеспечивает полнодуплексную передачу. Весь кадр сообщения передается по сети с каждым тактом. Для доступа к сети арбитраж не требуется, поскольку каждая станция имеет доступ во время каждого цикла. Все входные и выходные данные обновляются и передаются во время каждого цикла. Для каждого сетевого подключения производится контроль с помощью циклического избыточного кода, позволяющего идентифицировать источник ошибки. Поддерживаются как цифровые, так и аналоговые сообщения, а также сообщения типа клиент/сервер.

Сеть производит индивидуальную адресацию станции автоматически во время инициализации сети, устраняя необходимость ручного назначения адресов при запуске системы. Это производится с помощью идентификационного цикла, который сообщает контроллеру тип и физический порядок станций сети (рис. 12.20).

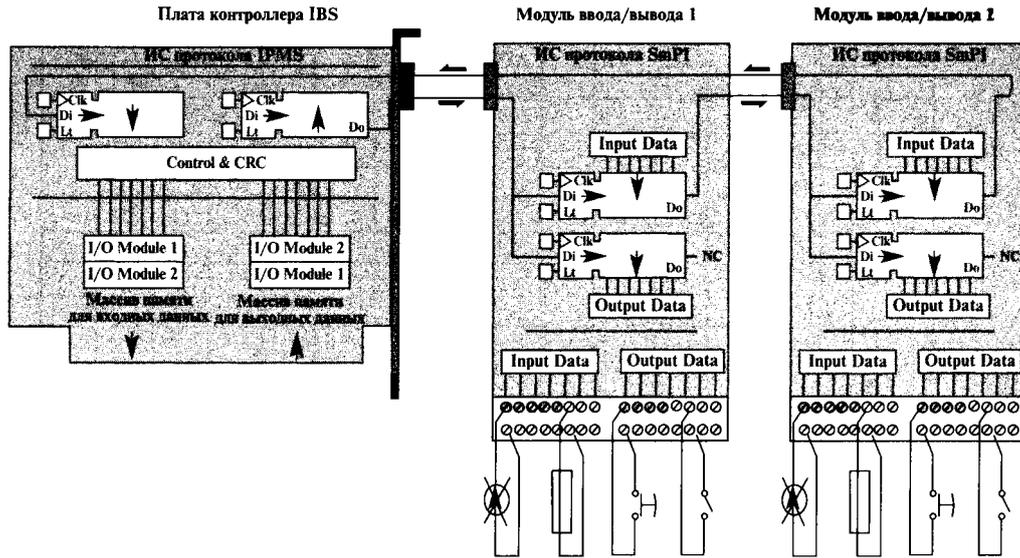


Рис. 12.20. Пример блок-схемы подключения Interbus

I/O Module – Модуль ввода/вывода

I/O Module – Модуль ввода/вывода 2

Input Data– Входные данные

Output Data – Выходные данные

Control & CRC – Управление и контроль с помощью циклического избыточного кода

Прикладной уровень

Interbus-S обеспечивает диагностику модулей и мониторинг сети с помощью специального сообщения типа «телеграмма», передаваемого после сдвига каждого байта. Все станции отслеживают это сообщение одновременно. Эта уникальная функция осуществляется с помощью ключа «управление телеграммой», имеющегося на каждой станции (рис. 12.21). Ключ автоматически активизирует каждый 8-разрядный сдвиг, обеспечивая не только одновременный прием сообщения всеми станциями, но и синхронизацию информации.

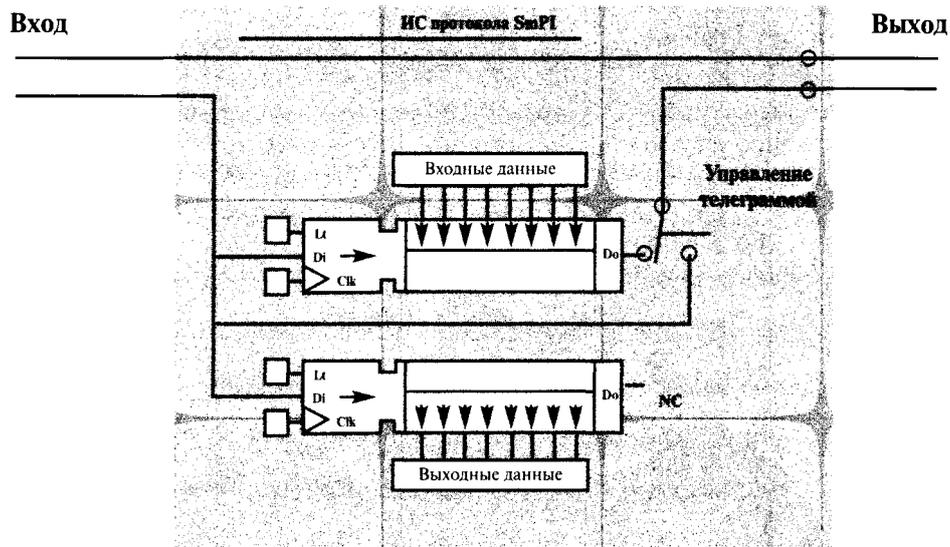


Рис. 12.21. Схема потока информации для регистров Interbus-S

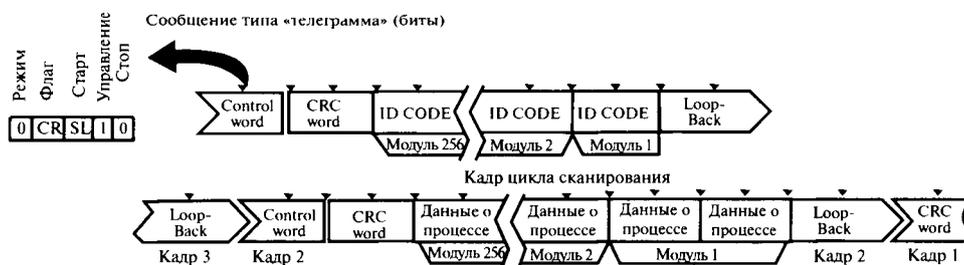


Рис. 12.22. Конфигурация пакета Interbus-S

ID CODE – код идентификации

Control Word – управляющее слово

CRC Word – слово CRC (контроль с помощью циклического избыточного кода)

Loop-Back – возврат к началу цикла

На рис. 12.22 показаны кадры идентификации и передачи с отметкой положения параметров различных полей.

12.7. Profibus

Введение в стандарт Profibus

Profibus является открытым стандартом Fieldbus, определенным немецкими спецификациями DIN 19245, Часть 1 и Часть 2. Он основан на системе маркерная шина/плавающее главное устройство. Имеются три разновидности Profibus - FMS, DP и PA. Для общих систем сбора данных используется спецификация сообщения Fieldbus (FMS). Версия DP используется в тех случаях, когда требуется быстрая передача информации, а PA используется в тех ситуациях, когда необходимы надежная работа и надежные сообщения. Рисунок 12.23 показывает общую структуру различных версий Profibus.

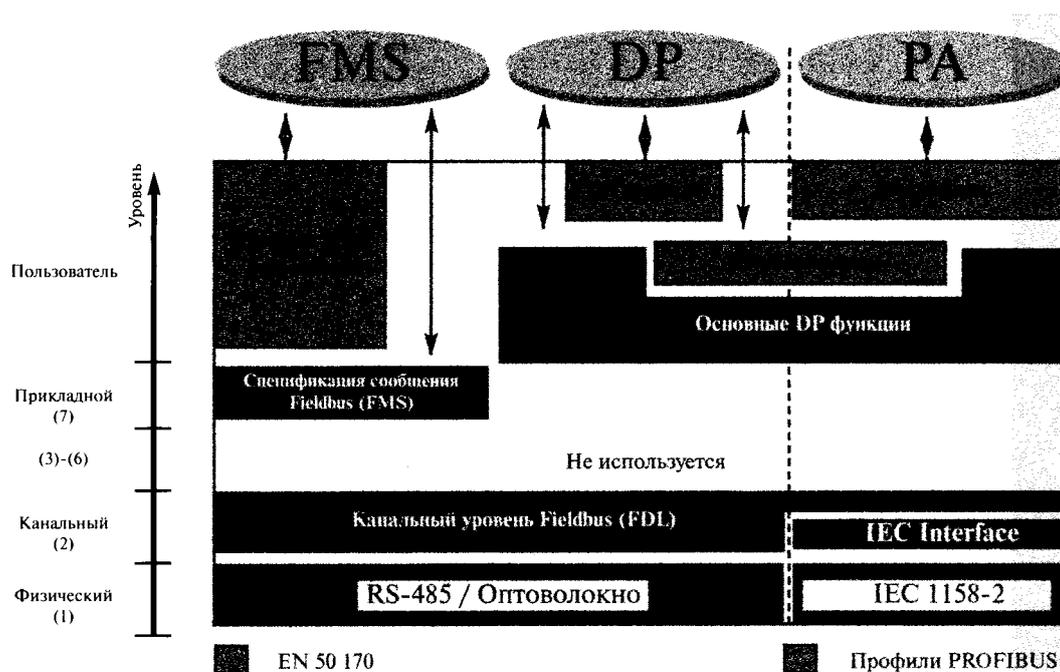


Рис. 12.23. Структура протокола Profibus

Физический уровень

Физический уровень определяет тип передающей среды Profibus. Для FMS и DP версий Profibus использует стандарт напряжений интерфейса RS-485. Для версии PA используется стандарт IEC 1158-2. Максимальное количество станций, поддерживаемое FMS и DP, составляет 255.

• FMS (RS-485)	187,5 кбит/с	Общее назначение
• DP (RS-485)	500 кбит/с, 1,5 Мбит/с, 12 Мбит/с	Быстродействующие системы
• PA(IEC 1158-2)	31,25 кбит/с	С внутренней защитой

Основные параметры интерфейса RS-485, используемые для Profibus

Топология:	Линейная шина, согласованная на обоих концах
Среда:	Витая экранированная пара
Провод:	18AWG(0,8 мм)
Затухание:	3 дБ/км (на частоте 39 кГц)
Количество станций:	32 станции без повторителей (расширяется до 127)
Длина шины:	Не более 1200 м с возможностью расширения до 4800 м (при низких скоростях передачи)
Разъем:	Винтовой, типа Phoenix, или 9-контактный D-sub

IEC 1158-2 является современным стандартом, используемым для специальных площадей фабрик и заводов, требующих устройств с внутренней защитой. IEC 1158-2 работает с использованием манчестерского кодирования биполярного NRZ ± 10 мА сигнала на уровне 9–32 В постоянного напряжения. Ток 10 мА создает сигнал ± 1 В, **который считывается каждым устройством шины.**

FMS, DP и PA версии Profibus очень легко соединять между собой в одной системе, поскольку основные различия между этими версиями представляет физический уровень. Это позволяет компании использовать менее дорогие устройства на большей части предприятия (FMS) и быстродействующие устройства (DP) в той части предприятия, где необходима скорость. Устройства с внутренней защитой (PA) используются только в тех частях предприятия, где они действительно нужны.

Канальный уровень

Канальный уровень определяет Profibus как канальный уровень Fieldbus (FDL).

Часть протокола управления доступом к среде (MAC) для FDL регламентирует, когда станция может передавать данные. MAC обеспечивает, чтобы в любой момент времени данные передавала только одна станция.

Канал Profibus имеет гибридный доступ к среде. Он использует два режима работы:

- передача маркера;
- главное/подчиненное устройство.

Метод передачи маркера (который при перемещении от узла к узлу обеспечивает этому узлу право передачи) с помощью программы, предоставляет доступ к шине в

пределах точно определенного временного интервала. Маркер циркулирует с максимальной (настраиваемой) скоростью обращения между всеми главными устройствами. Передача маркера особенно удобна для обеспечения коммуникаций между сложными автоматизированными главными устройствами, которые требуют равных прав на шине. Маркер передается в определенной последовательности (в порядке увеличения адресов). Способ главное/подчиненное устройство позволяет главному устройству, которое в данный момент имеет маркер, общаться с соответствующими подчиненными устройствами. Главное устройство может с них считывать или записывать в них данные.

Типичная конфигурация системы Profibus показана на рис. 12.24

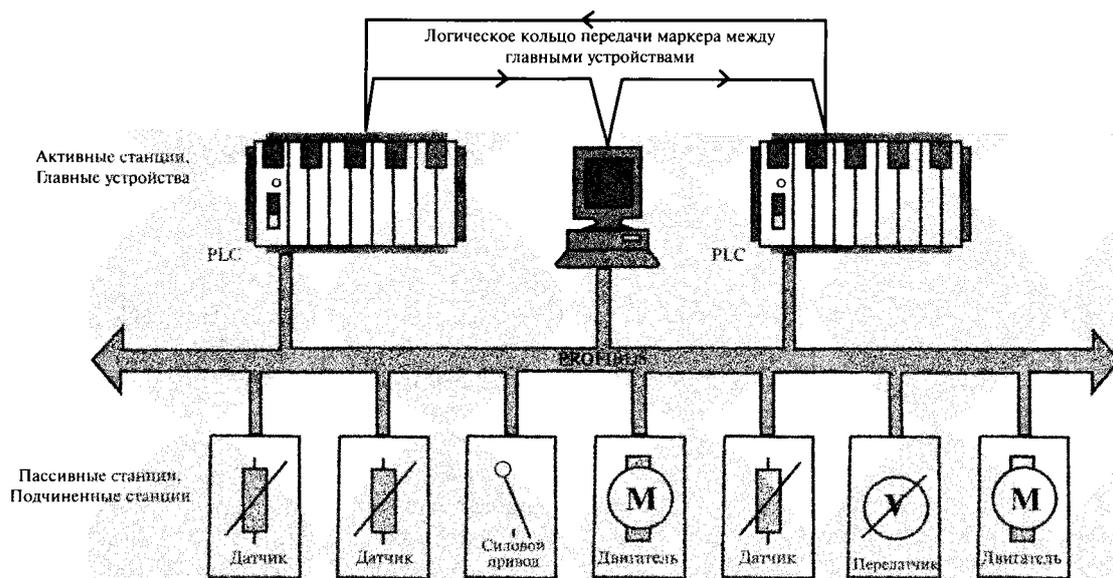


Рис. 12.24. Типичная конфигурация системы Profibus

Во время фазы запуска системы задачей протокола управления доступом (MAC) активной станции к среде является обнаружение логического назначения и создание кольцевой сети с маркерным доступом. MAC также занимается добавлением или удалением станций (которые становятся неактивными), удаляя узлы с одинаковыми адресами и многочисленные или потерянные маркеры.

Прикладной уровень

Он состоит из двух частей:

- спецификация сообщения Fieldbus (FMS);
- интерфейс нижнего уровня (LLI).

Прикладной уровень определяется стандартом DIN 19245, Часть 2.

Коммуникационная модель Profibus

Часть прикладного процесса полевого устройства, которая готова к обмену данными, называется **виртуальным полевым устройством** (VFD). VFD содержит объекты коммуникации, которые могут управляться службами прикладных уровней. Объекты реального устройства, которые готовы к коммуникации (переменные, программы, области данных) называются **объектами коммуникации**.

Все объекты коммуникации станции Profibus вводятся в ее локальный словарь объектов (словарь объектов источника). Существуют два типа объектов:

- статические объекты коммуникации;
- динамические объекты коммуникации.

Статические объекты коммуникации определяются в статическом словаре объектов. Они могут быть определены заранее производителем устройства или определены во время конфигурации шины. Статические объекты коммуникации используются, главным образом, для передачи данных в полевых условиях. Profibus распознает следующие статические объекты коммуникации:

- простые переменные;
- массив – последовательность простых переменных одного типа;
- запись – последовательность простых переменных (не обязательно одного типа);
- домен – диапазон данных;
- событие.

Динамические объекты коммуникации вводятся в динамическую часть словаря объектов (перечень списков обращений к программе). Они могут быть предопределены или определены, удалены или изменены прикладными службами во время работы.

Profibus поддерживает следующие динамические объекты коммуникации:

- вызов программы;
- список переменных (последовательность простых переменных, массивов или записей).

Существуют два способа получения доступа к переменным:

- адресация по имени (с помощью символического имени);
- физическая адресация (доступ к физической ячейке памяти).

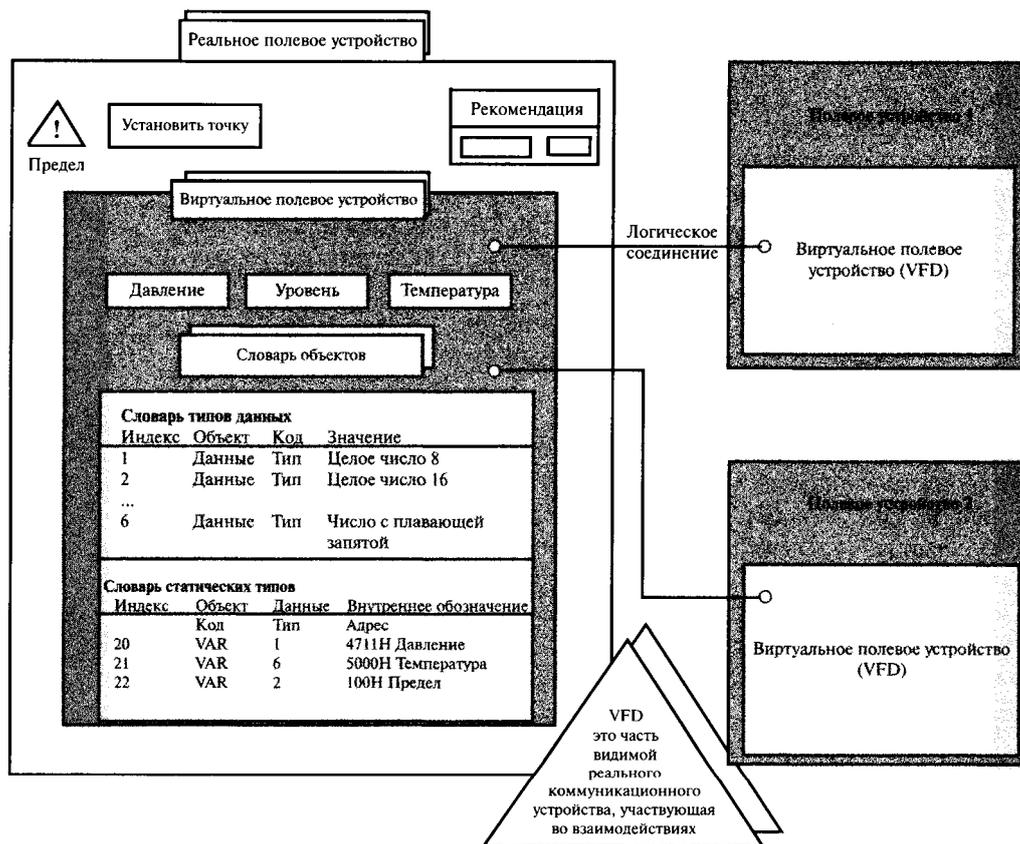


Рис. 12.25. Виртуальное полевое устройство (VFD) со словарем объектов (OD)

Profibus определяет логическую адресацию (по символическому имени) как предпочтительный метод, который увеличивает скорость доступа.

Прикладные службы

С точки зрения прикладного процесса коммуникационная система является провайдером, предлагающим различные прикладные службы – службы FMS. FMS описывает объекты коммуникации, прикладные службы и результирующие модели с точки зрения коммуникационного партнера.

Имеются два типа сервисных функций:

- **подтверждаемые сервисные функции:**
используются только для коммуникационных связей, ориентированных на соединение;
- **неподтверждаемые сервисные функции:**
используются для коммуникационных связей без установления соединения, таких как широкое вещание или многоабонентская доставка сообщений.

Примечание. Объяснение этих терминов приводится в пунктах «Коммуникационные связи без установления соединения» и «Коммуникационные связи, ориентированные на соединение» в приводимом ниже разделе «Нижний уровень интерфейса».

Сервисные примитивы стандарта Profibus описывают выполнение сервисных функций. Сервисные функции могут быть разделены на следующие группы:

- службы управления контекстом, позволяющие устанавливать и отменять логические соединения;
- службы доступа к переменным, обеспечивающие доступ к простым переменным, записям, массивам и спискам переменных;
- службы управления доменами, разрешающие передачу больших областей памяти;
- службы управления выполнением программ, позволяющие управлять ходом выполнения программы;
- службы управления событиями, выполняющие передачу сигнализирующих сообщений;
- службы поддержки VFD, позволяющие идентифицировать устройства и сообщать об их состоянии;
- службы управления словарем объектов, позволяющие читать или записывать в словари объектов.

Интерфейс нижнего уровня (LLI)

Интерфейс нижнего уровня производит управление потоком данных и мониторинг соединения, а также **устанавливает соответствие служб FMS с уровнем 2 для различных типов устройств.**

Пользователь взаимодействует с другими прикладными процессами через логические каналы, которые представляют собой коммуникационные связи. Для выполнения служб FMS и FMA7 интерфейс нижнего уровня представляет разные типы коммуникационных связей.

Имеются два типа коммуникационных связей:

- **Коммуникационные связи, ориентированные на соединение.**
Прежде чем соединение может использоваться для передачи данных, связи такого типа требуют фазы установления соединения (функция инициации обслуживания). Когда соединение больше не требуется, оно может быть отменено службой прекращения (функция завершения обслуживания). Атрибут соединения зависит от типа соединения: определенное соединение, когда коммуникационный партнер назначается во время конфигурации и не может изменяться, и открытое соединение, когда коммуникационный партнер задается динамически на стадии установления соединения.
- **Коммуникационные связи без установления соединения.**
Циклическая передача данных означает чтение или запись точно одной переменной. Типичным применением циклической передачи данных является периодическое обновление удаленных входов и выходов PLC.

Нециклическая передача данных означает, что приложение получает доступ к различным объектам коммуникации по каналу связи время от времени.

Список коммуникационных ссылок (CRL)

Список коммуникационных ссылок содержит описание всех коммуникационных связей устройства независимо от времени их использования.

Управление сетью

Помимо прикладных служб и FMS моделей, Profibus включает спецификации для управления сетью (уровень 7 управления Fieldbus, FMA7).

Функции FMA7 подразделены на три группы:

- **Управление контекстом.**
Установление и прекращение управляющих соединений.
- **Управление конфигурированием.**
Загрузка и считывание CRL, доступ к переменным, статистическим счетчикам и параметрам уровней 1 и 2, идентификация компонентов соединения станций и регистрации станций.
- **Обслуживание отказов.**
Индикация отказов и событий, а также сброс станций.

Профили Profibus

Для различных полевых приложений функции системы необходимо приспособить к конкретным требованиям. Профиль включает специфические значения коммуникационных функций применительно к конкретной задаче, а также интерпретацию информации о состоянии системы и ошибках.

Возможны профили для следующих областей применений:

- автоматизация зданий.
- управление движением.
- датчики и приводы.
- программируемые логические контроллеры.
- ткацкое оборудование.

Это позволяет разным производителям, которые используют одинаковый профиль, обеспечивать полную взаимозаменяемость различных устройств, подключаемых к общей системе Profibus.

Шлюз

Для связи других протоколов с системой Profibus необходимо использовать шлюзы. Некоторые шлюзы, такие как связь Profibus с более высоким уровнем MAP, реализовать не сложно. Это обусловлено тем, что оба стандарта придерживаются модели OSI и Profibus хорошо соответствует определениям функций уровня 7 MAP (с помощью MMS).

Особенности реализации

Для реализации протокола Profibus не требуются никакие специальные аппаратные компоненты при условии, что микропроцессор имеет последовательный интерфейс UART. Реализация протокола может заключаться в использовании простого подчиненного устройства, имеющего один микропроцессор (например, Intel 8051). Эта конфигурация выполняет как протокол, так и прикладную задачу; но она может использовать сложное главное устройство, обеспечивающее связь и выполнение функций (и протокол) с помощью процессора. Прикладные задачи решаются отдельным процессором. Для приложений, которым важно быстродействие, реализация функций уровня 1 и 2 возможна с помощью специального аппаратного обеспечения (например, ИС AS-iC или Motorola 68302).

12.8. Промышленная информационная шина (FIP)

Промышленная информационная шина является результатом работы, проводимой компаниями, находящимися в основном во Франции, Италии и Бельгии. Совместно с французскими производителями по разработке стандарта World FIP работает также такая компания, как Honeywell (США)(см. следующий раздел).

Стандарт FIP ориентирован на очень высокие скорости передачи и строго определенные периоды сканирования.

Способ доступа к шине

Шина использует способ передачи информации, при котором передачу координирует центральное устройство (называемое шинным арбитром). Это означает, что нет необходимости назначать каждому устройству уникальный адрес. Переменная величина (обрабатываемая только передатчиком) передается по шине одним передатчиком и считывается несколькими приемниками, подключенными к одной линии.

Шинный арбитр имеет три рабочих цикла:

- **Циклический трафик.**

Шинный арбитр вызывает набор переменных, использующих табличную команду.

- **Апериодический трафик.**

Шинный арбитр вызывает с каждого прибора необходимую переменную.

- **Обслуживание сообщения.**

Арбитр предоставляет право на передачу тому устройству, которое затребо-вало его во время циклического трафика

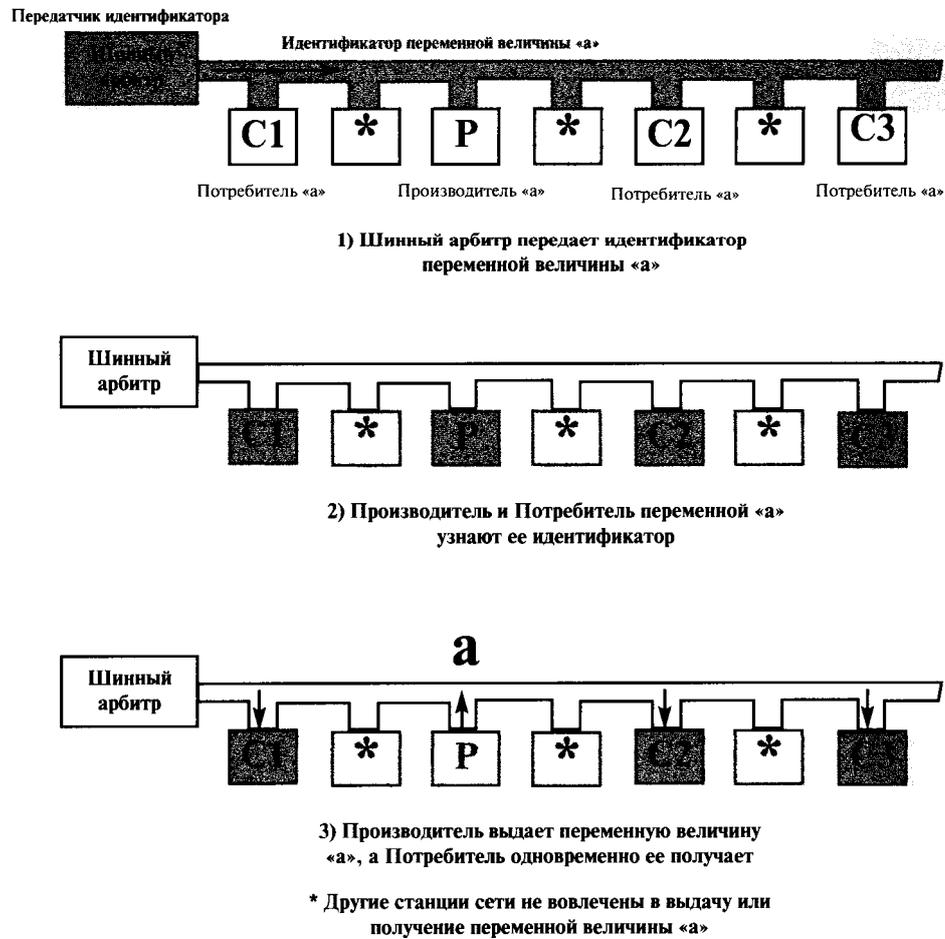


Рис. 12.26. Работа FIP

Физический уровень

Стандарт FIP допускает для топологии шины использование витых пар, оптоволоконна или коаксиального кабеля на расстоянии до 2 км. Скорость передачи может изменяться от 31,25 до 1000 кбит/с. Максимальное количество подключаемых приборов к шине составляет 256.

Канальный уровень

Канальный уровень не является проприетарной FIP.

Установки

Существует ряд установок во Франции и Италии, которые используются для оценки стандарта FIP.

Стандарт FIP эволюционировал в стандарт WorldFIP, который обсуждается в следующем разделе.

12.9. Стандарт WorldFIP

WorldFIP является стандартом современной ассоциации европейских производителей, которые поддерживают использование и международную стандартизацию промышленного информационного протокола (FIP). FIP является коммуникационным протоколом, разработанным и в настоящее время используемым в Европе.

Физический уровень FIP совместим со стандартом IEC S50.02, который в качестве передающей среды **допускает использование витой пары или оптоволоконна**. Скорость передачи может быть 31,25 кбит/с, 1 или 2,5 Мбит/с и обозначается, соответственно, как стандарты скорости S1, S2 и S3. Для оптоволоконного канала связи предназначена дополнительная скорость 5 Мбит/с. Устройства могут питаться от шины или от независимых источников питания.

Для обеспечения быстрой передачи информации по сети FIP использует связь типа производитель–распределитель–потребитель и модель контроля доступа. Устройства и их переменные обозначаются либо производителями, либо потребителями специфических переменных. Одно устройство может быть как производителем одной переменной, так и потребителем другой переменной, расположенной в другом месте сети.

Вместо опроса и ответа, используемого для интеграции всей сети и передачи данных в конкретное место, шинный арбитр FIP просто помещает в сети запрос на переменную, обращенный ко всем устройствам. Все устройства «слышат» эту передачу. Затем производитель этой переменной помещает ее в сеть в режиме трансляции (для всех), и эта переменная становится доступной всем ее потребителям (см. рис. 12.26). Подобная процедура обеспечивает своевременный доступ ко всем переменным в определенное время и определенным образом, не создавая никаких конфликтов и, следовательно, обеспечивает очень эффективное использование возможностей сети.

Для работы арбитра и устройств необходимо создание конфигурации и таблицы расписаний. Некоторые переменные могут нуждаться в более частом опросе, чем другие, и это должно быть отражено в таблице расписания. Фактически, таблица может быть настроена для конкретного применения и для временных требований процесса, что позволяет легко настроить FTP при изменении условий работы или для новых

приложений. Таблица задается во время начальной конфигурации сети. Пример таблицы приведен на рис. 12.27.

Для передачи данных и синхронизации информации FIP использует манчестерское кодирование. Чтобы помочь приемникам четко отличить начало и конец кадра данных от случайных помех, имеющихся в сети, используются уникальные последовательности начала и окончания кадра. Необычная битовая комбинация явно отличается от какого-либо набора случайных битов, возникающих из-за помех.

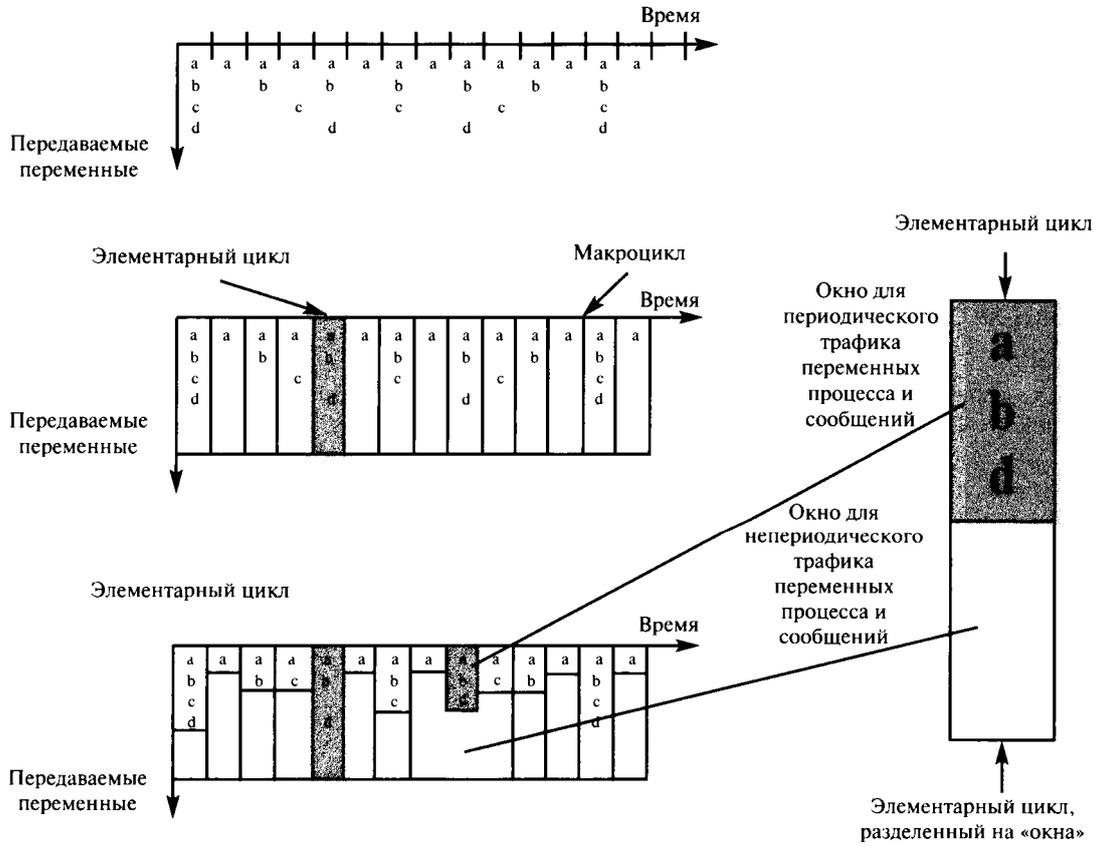


Рис. 12.27. Конфигурация и таблица расписания FIP

12.10 Foundation Fieldbus

Введение в Foundation Fieldbus

До 1994 года коммуникационный стандарт для управления промышленными процессами независимо пытались разработать две организации. Этими организациями были WorldFip (Северная Америка) и Interoperable Systems Project (ISP). В сентябре 1994 года обе организации слились и стали называться Foundation Fieldbus (FF).

Foundation Fieldbus использует все достоинства появляющихся интеллектуальных полевых устройств и современных цифровых коммуникационных технологий, что обеспечивает для конечного пользователя следующее:

- уменьшенное количество проводов;
- передачу от одного устройства нескольких переменных процесса;
- расширенную диагностику;
- взаимозаменяемость между устройствами различных производителей;
- улучшенный контроль на полевом уровне;
- уменьшенное время запуска;
- упрощенную интеграцию.

Концепцией Foundation Fieldbus является сохранение полезных свойств имеющегося стандарта токовой петли 4-20 мА (такого как стандартизованный интерфейс, питание шины от канала связи и опции внутренней защиты) при использовании преимуществ новых цифровых технологий. Это обеспечивает отмеченные выше **функциональные свойства, с помощью следующего:**

- уменьшенное количество проводов путем обеспечения многоточечных соединений;
- гибкость в выборе поставщиков, обеспечиваемая взаимозаменяемостью устройств;
- уменьшенное количество контрольного оборудования из-за распределения функций контроля на уровне приборов;
- улучшенная надежность и целостность данных, обусловленные использованием цифровых коммуникаций.

Чтобы понять, как этот стандарт работает, полезно рассмотреть Foundation Fieldbus (FF) с точки зрения модели OSI. FF состоит из трех частей, которые соответствуют уровням 1, 2, 7 и 8 OSI. Уровень 8 модели OSI соответствует уровню пользователя.

Физический уровень и правила подключения

Стандарт физического уровня был одобрен и детализирован в IEC 1158-2 и ISA стандарте S50.02-1992. Он поддерживает скорости передачи 31,25 кбит/с и 10 Мбит/с. Все эти стандарты используют манчестерское двухфазное L-кодирование с четырьмя кодируемыми состояниями, показанными на рис. 12.28. Использование кодируемых состояний N+ и N- показано на рис. 12.29. При некоторых условиях устройство может питаться от шины (опционально) (подробнее описывается ниже). При скоро-

сти передачи 31,25 кбит/с (Н1, или низкоскоростная шина) могут поддерживаться от 2 до 32 устройств, которые питаются не от шины; от 2 до 20 устройств, которые питаются от шины; или от 2 до 6 устройств, которые питаются от шины в зоне с внутренней защитой. Допустимо использование повторителей, которые увеличивают длину канала связи и количество приборов, подключаемых к шине. Опции Н2, или скоростной шины, в настоящее время не реализованы, но они были заменены стандартом скоростного Ethernet (HSE). Это обсуждается ниже в данном разделе.

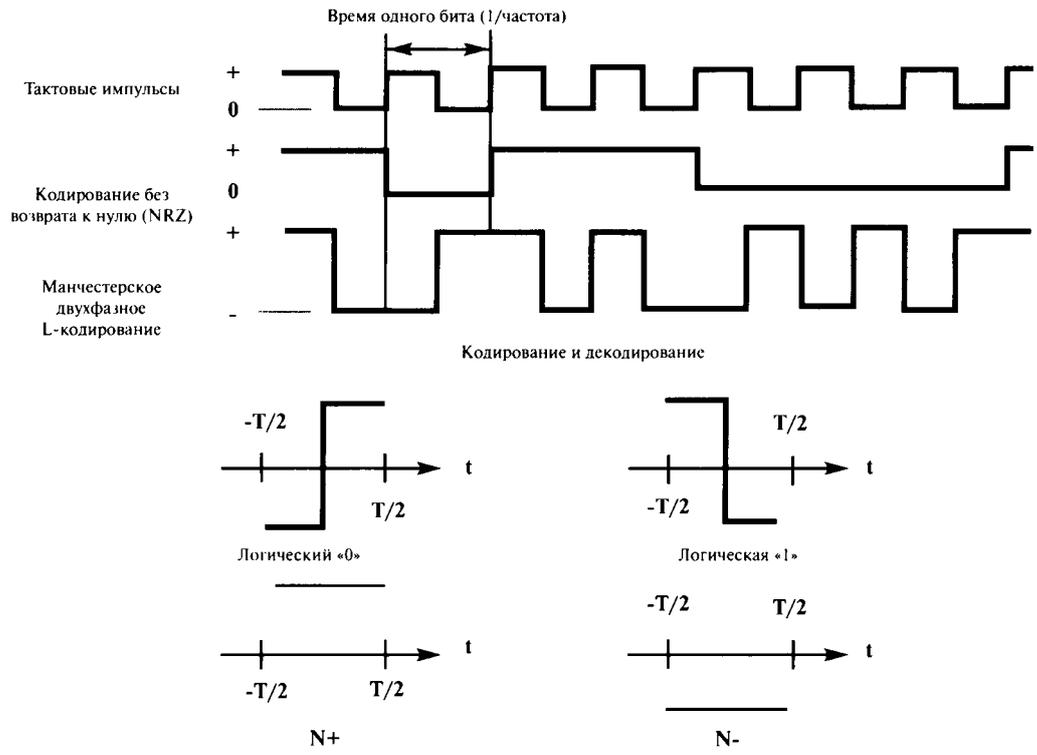
Низкоскоростная шина предполагает применение существующей кабельной системы предприятия и называется проводкой типа В (экранированная витая пара). При использовании проводов 22 AWG (диаметр провода 0,7 мм) шина может поддерживать сегменты до 1200 м. Более высокие скорости требуют кабелей лучшего качества, называемых типом А. Кабели типа А (экранированная витая пара), использующие для опции Н1 провод 18 AWG (диаметр провода 1,1 мм), могут поддерживать сегменты длиной до 1900 метров. Определены два дополнительных типа кабелей, называемых типом С (несколько витых пар без экрана) и типом D (многожильный провод без экрана). Тип С использует провод 26 AWG (диаметр провода 0,4 мм) и поддерживает сегменты до 400 метров, а тип D использует провод 16 AWG (диаметр провода 1,4 мм) и поддерживает сегменты не более 200 метров:

• Тип А, провод 18 AWG	1900 м
• Тип В, провод 22 AWG	1200 м
• Тип С, провод 26 AWG	400 м
• Тип D, многожильный провод 16 AWG	400 м

Шина Foundation Fieldbus реализуется с помощью плавающего симметричного подключения и нуждается в согласующих нагрузках, подключаемых на каждом конце линии передачи. Ни один из проводов не должен соединяться с землей. Согласующая нагрузка состоит из резистора с номиналом 100 Ом мощностью 0,25 Вт и конденсатора, пропускающего частоту 31,25 кГц. В качестве варианта согласующие нагрузки могут подключаться к центру линии и заземляться, чтобы избежать накопления напряжения на шине. Сопротивление источника питания должно соответствовать импедансу FF. Готовые источники питания должны соответствовать этим условиям. Если к линии подключить обычный источник питания, то он будет сильно нагружать линию из-за его низкого сопротивления. Это приведет к тому, что передатчики работать не будут.

Одной из целей FF является быстрое время отклика. Например, на скорости 31,25 кбит/с для шины Н1 время отклика должно быть порядка 32 микросекунд (оно зависит от нагрузки системы и обычно составляет от 32 мкс до 2,2 мс, а в среднем 1 мс).

К внутреннему сегменту шины могут подключаться отводы. Длина отводов зависит от типа провода и от количества подключенных отводов. Максимальной длиной линии является полная длина отводов и внутреннего сегмента.



Правила кодирования

Символы	Кодирование
1 (один)	Переход состояния высокое–низкое (середина бита)
0 (нуль)	Переход состояния низкое–высокое (середина бита)
N+ (Не данные плюс)	Высокое состояние (Перехода нет)
N- (Не данные минус)	Низкое состояние (Перехода нет)

Рис. 12.28. Физический уровень Fieldbus

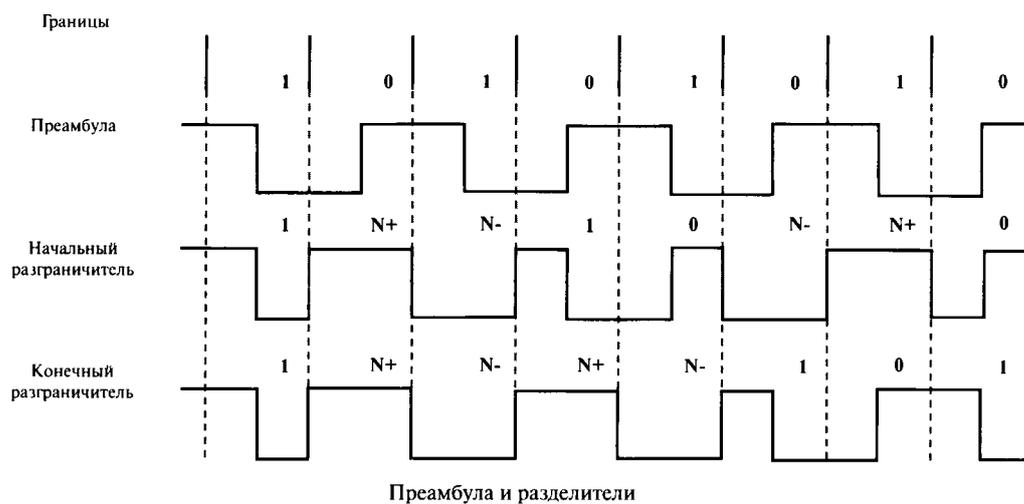


Рис. 12.29. Использование состояний кодирования 7V+ и N-

Стандарт физического уровня существует уже некоторое время. Самая последняя работа была сосредоточена на верхних уровнях, определенных FF как коммуникационный стек и уровень пользователя. Эти уровни рассматриваются в следующих разделах. Последующие рассуждения помогает понять рис. 12.30.

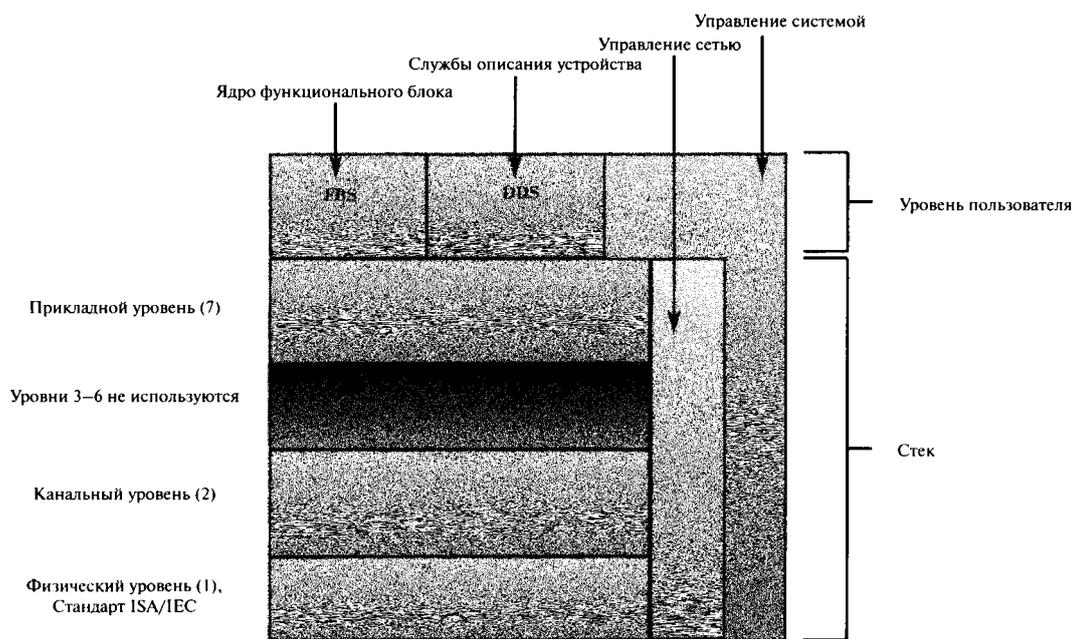


Рис. 12.30. Модель OSI стека протоколов FF

Канальный уровень

Коммуникационный стек, определенный FF, соответствует второму и седьмому уровням модели OSI – канальному и прикладному. Канальный уровень (DLL) контролирует доступ к шине через активный планировщик связей (LAS). Формат пакета DLL показан на рис. 12.31.

Схема общего пакета

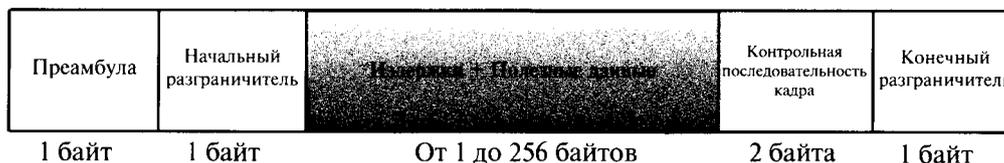


Рис. 12.31. Формат пакета канального уровня

Активный планировщик связей управляет доступом к шине путем выдачи разрешения каждому устройству в соответствии с predetermined «расписанием». Никакое устройство не может получить доступ к шине без разрешения LAS. Обычно выполняются два типа расписаний: периодическое (запланированное) и случайное (незапланированное). Может показаться странным, что может быть незапланированное «расписание», но эти названия фактически относятся к сообщениям, которые имеют периодический и непериодический характер, или «расписание».

Периодические сообщения используются для информации (переменные процесса и управления), которая требует регулярного (периодического) обновления от устройств, подключенных к шине. Способ, используемый для передачи информации по шине, известен как модель «публикация и подписка». Основанный на заданном пользователем (запрограммированном) расписании, LAS предоставляет каждому устройству доступ к шине поочередно. Когда устройство получает разрешение на доступ к шине – оно «опубликовывает» имеющуюся информацию. Все другие устройства могут в это время слушать «опубликованную» информацию и считывать ее в память (подписка), если она им необходима. Устройства, которым не нужны конкретные данные, просто игнорируют «опубликованную» информацию.

Непериодические сообщения используются в специальных случаях, которые в обычном режиме могут и не произойти. К ним относятся подтверждения экстренных ситуаций или специальные команды, такие как получение диагностической информации от конкретного устройства шины. LAS обнаруживает имеющиеся временные промежутки между циклическими сообщениями и использует их для передачи непериодических сообщений.

Прикладной уровень

Прикладной уровень в спецификации FF состоит из двух подуровней – подуровня доступа к Foundation Fieldbus (FAS) и спецификации сообщений Foundation Fieldbus (FMS).

Возможность предварительного программирования «расписания» в LAS обеспечивает для конечного пользователя мощный инструмент в конфигурировании системы, поскольку при этом может быть задано время обращения между устройствами, а для более важных устройств может быть составлено более частое «расписание» опроса, обеспечивающее назначение приоритетов отдельных точек ввода/вывода. Это все возлагается на FAS. Программирование расписания с помощью FAS позволяет реализовывать (а фактически имитировать) различные «службы» между LAS и устройствами шины.

Вот пример трех таких очевидных «служб»:

- Клиент/сервер: с назначенным клиентом (LAS) и несколькими серверами (устройствами шины);
- Публикация/подписка: см. описание этой модели выше;
- Распределение событий: с устройствами, отвечающими только при возникновении запускающего события, или другого predetermined критерия.

Эти варианты зависят, конечно, от фактического приложения, и одна схема не обязательно должна подходить для всех применений, хотя из этого примера легко понять гибкость Foundation Fieldbus.

Второй подуровень, спецификация сообщений Foundation Fieldbus (FMS), содержит словарь объектов, являющийся базой данных, доступ к которой производится с помощью кодового имени или индексного указателя. Словарь объектов содержит полный перечень всех типов данных, описание типов данных и объектов коммуникации, используемых приложением. Службы обеспечивают доступ к словарю объектов (база данных приложения) и выполнение с ним операций. Информация может быть прочитана или записана в словарь объектов, что обеспечивает управление приложением и предусмотренными службами.

Уровень пользователя

Foundation Fieldbus определяет восьмой уровень, называемый уровнем пользователя, который расположен «над» прикладным уровнем модели OSI; этот уровень обычно называют уровнем 8. В Foundation Fieldbus этот уровень отвечает за три главные задачи – управление сетью, управление системой и работа служб блока функций/описания устройства. На рис. 12.32 показано, как все информационные пакеты этого уровня передаются на физический уровень.

Служба управления сетью обеспечивает доступ к другим уровням для мониторинга и координации коммуникаций между уровнями и удаленными объектами (объектами

на шине). Управление системой отвечает за назначение адресов устройств, синхронизацию с тактовыми сигналами и работу блока расписаний. В основном к этому относятся временное согласование работы устройств и программного обеспечения и синхронизация всех событий шины.

Пример кодирования/декодирования сообщения

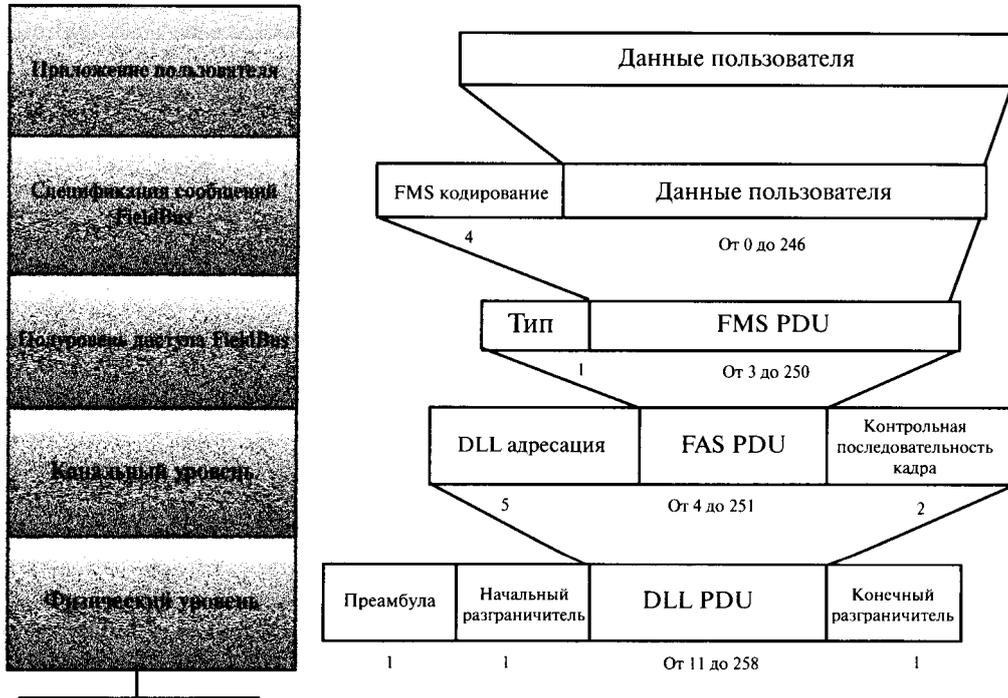


Рис. 12.32. Передача пакетов информации на физический уровень

Блоки функций и службы описания устройства обеспечивают предварительно программируемые «блоки», которые могут использоваться конечным пользователем для устранения избыточной или медленной конфигурации. Понятие блока обеспечивает во время конфигурирования и программирования системы выбор основных функций, алгоритмов и даже обобщенных устройств из библиотеки объектов. Этот процесс может значительно сократить время конфигурации, поскольку большие «блоки» уже сконфигурированы и их нужно только выбрать. Конечной целью является обеспечение открытой системы, которая поддерживает взаимозаменяемость и язык описания устройств (DDL) и которая позволит расширить круг поставщиков; устройства в этой системе описываются как «блоки» или «символы». Пользователь должен выбирать обобщенные устройства, а затем уточнять этот выбор путем определения DDL объекта, чтобы использовать конкретный продукт поставщика. Ввод «блока» контура

управления с соответствующими параметрами практически завершит начальную конфигурацию контура. Для более сложных систем имеются дополнительные функции управления и математические «блоки».

Обнаружение ошибок и диагностика

Шина FF была разработана как чисто цифровая коммуникационная шина для обрабатывающей отрасли промышленности и включает обнаружение ошибок и диагностическую информацию. Она использует компоненты от многих поставщиков, а ее конструкция обеспечивает расширенную диагностику по стеку от физического канала до сетевого уровня и уровней управления системой.

Сигнальный метод, используемый для синхронизации физического уровня и общей синхронизации, является частью коммуникаций. Повторяемые сообщения и причина повтора могут регистрироваться и выводиться для интерпретации.

Для верхнего уровня управление сетью и системой являются неотъемлемой частью процедуры диагностики. Она позволяет администратору системы анализировать сеть в оперативном режиме и поддерживать трафик. При добавлении или удалении устройств оптимизация процедуры активного планировщика связей (LAS) обеспечивает динамическую оптимизацию коммуникаций без полного выключения системы. Это обеспечивает также оптимальную синхронизацию и выдачу устройствами ответов, предоставляя больше времени устройствам с более высоким приоритетом и удаляя или сводя к минимуму избыточность или передачу сообщений с низким приоритетом.

Имея библиотеку описаний на все устройства (DD), запомненные в главном контроллере (требование для обеспечения реальной взаимозаменяемости устройств разных поставщиков), диагностические возможности устройства от каждого поставщика могут быть точно известны и зарегистрированы (и/или выдано предупреждение), чтобы обеспечить их непрерывный мониторинг.

Скоростной Ethernet (HSE)

Скоростной Ethernet (HSE) является базовой сетью Fieldbus Foundation и обеспечивает передачу данных со скоростью 100 Мбит/с. Полевые устройства HSE подключаются к базовой магистрали через сопрягающие устройства HSE. Сопрягающее HSE устройство используется для подключения сегментов HI Fieldbus к HSE, чтобы получить более крупную сеть. HSE коммутатор является Ethernet устройством, используемым для объединения нескольких HSE модулей, таких как сопрягающие и полевые HSE модули, с целью образования более крупной HSE сети. Главные HSE устройства (хосты) используются для конфигурирования и мониторинга согласующих модулей и модулей HI. Каждый сегмент HI имеет свой активный планировщик связей (LAS), расположенный в согласующем модуле. Это свойство позволяет сегментам HI работать даже в тех случаях, когда хосты отключены от базовой магистрали HSE. К базовой HSE магистрали через согласующие модули могут быть подключены несколько сегментов HI (31,25 кбит/с) Fieldbus (рис. 12.33).

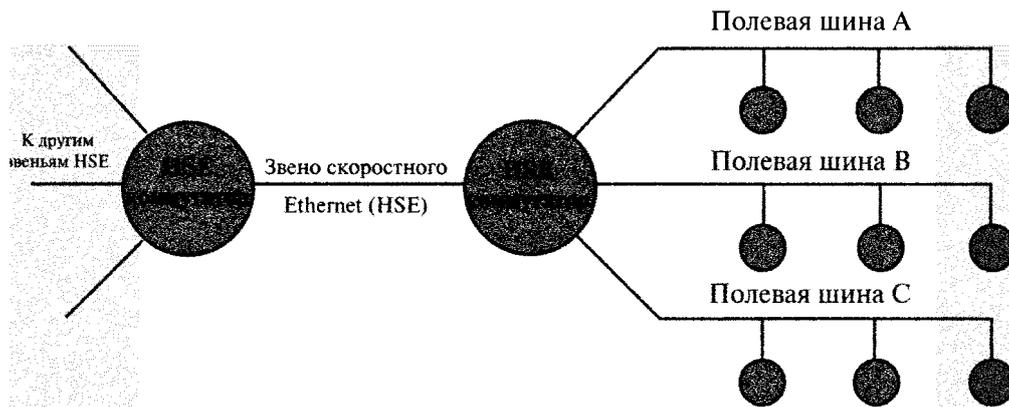


Рис. 12.33. Скоростной Ethernet и Foundation Fieldbus

Лекция 13

Локальные сети (LAN)

Сеть является системой, предназначенной для взаимного соединения различных устройств, обычно таким образом, чтобы все пользователи имели доступ к общим ресурсам (например, принтеру) и могли обмениваться сообщениями друг с другом. Первоначально сети были разработаны в 1970 году для связи терминалов с главным компьютером, что послужило фундаментом для создания общих компьютерных сетей. Эта глава посвящена локальным сетям (LAN), причем особое внимание уделено их использованию для передачи данных в промышленности.

Цели

Завершив изучение, вы сможете:

- объяснить разницу между сетью с коммутацией каналов и сетью с коммутацией пакетов;
- описать различные сетевые топологии:
 - звезда
 - кольцо
 - шина
- обсудить физические проблемы и проблемы протокола, возникающие при разных подходах к построению сетей;
- описать сеть с немодулированной передачей и широкополосную сеть;
- описать стандарт Ethernet:
 - топологию
 - предотвращение конфликтов
 - работу протокола

—требования к аппаратному обеспечению

—производительность

- описать стандарт сети с маркерным доступом;
- описать стандарт шины с маркерным доступом;
- описать межсетевые подключения;
 - обсудить сетевые операционные системы и их архитектуру.

13.1. Обзор

Существуют три широких класса сетей, хотя различие между ними весьма условно и они имеют тенденцию перекрываться:

- **Локальные сети (LAN).**

Локальные сети обычно ограничены одним зданием или группой зданий, расположенных в пределах нескольких сотен метров. Все устройства локальной сети подключены к общей среде передачи, например коаксиальному кабелю. Скорости передачи обычно составляют сотни мегабит в секунду.

- **Региональные (городские) сети (MAN).**

Региональная сеть охватывает город или район и к ней может быть подключено несколько локальных сетей. Скорости передачи обычно составляют сотни мегабит в секунду, и в качестве среды связи почти всегда используется оптоволоконный кабель.

- **Глобальные сети (WAN).**

Глобальные сети обычно покрывают расстояния в тысячи километров и включают различные среды передачи (такие как оптоволокно, спутниковые каналы связи, микроволны и коаксиальный кабель). Скорости передачи имеют очень большой разброс. Например, глобальной сетью является телефонная система, которая использует для связи между столичными городами и главными центрами 200-мегабитное оптоволокно. Однако многие глобальные сети (телефонные линии, использующие витую пару) могут быть ограничены скоростями в несколько сотен бит в секунду.

В пункте 13.17 «Межсетевые подключения» главы кратко рассматривается использование глобальных сетей для соединения локальных сетей.

13.2. Коммутация каналов и пакетов

Двумя основными типами сетей являются сети с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов. В сетях с коммутацией каналов соединение устанавливается между двумя концами, которое поддерживается в течение всего обмена сообщениями (примером является обычная телефонная система). Достоинством такой сети является гарантия неразрывности, а недостатком - стоимость. Линия подключена даже тогда, когда никто не говорит, а скорость передачи может быть небольшой.

Сеть с коммутацией пакетов не устанавливает прямого соединения. Вместо этого сообщение разбивается на несколько пакетов, или кадров, иногда называемых протоколными единицами обмена (PDU). Пакеты передаются по одному, причем каждый из них содержит адрес назначения. В зависимости от условий работы сети, чтобы прибыть в место назначения, пакеты могут идти разными маршрутами и по дороге они могут быть искажены. Работа по восстановлению исходного вида пакета возлагается на программное обеспечение протокола. Коммутация пакетов дешевле, поскольку при этом лучше используются ресурсы; физические каналы связи передают пакеты от нескольких источников одновременно.

Сеть с коммутацией пакетов может предложить передачу данных либо без установления соединения, либо с установлением соединения – это зависит от используемого протокола. В передачах без установления соединения обеспечивается создание пакета данных и связанной с ним адресной информации. Поскольку передача данных без установления соединения не может гарантировать доставку сообщений, то получение подтверждения возлагается на протокол более высокого уровня. В противоположность этому, виртуальный канал является временным соединением между двумя точками. Он образуется как выделенная линия, но фактически для передачи использует коммутацию пакетов. Виртуальный канал поддерживается до тех пор, пока существует соединение.

В этой книге внимание уделено сетям с коммутацией пакетов, поскольку в подавляющем большинстве именно они используются в сетях передачи данных.

13.3. Топология сетей

Топологией сетей называется способ взаимного соединения узлов сети. Наиболее распространены три следующих способа:

- Звезда.
- Кольцо или петля.
- Шина (многоточечное соединение).

Топология «звезда»

При использовании этой топологии имеется центральный узел, или хаб (концентратор), а все внешние узлы связаны с ним отдельными каналами связи. Типичным примером сети, выполненной по топологии звезды, является главный компьютер, работающий в режиме разделения времени, где центральным узлом является сам компьютер, а внешними узлами являются терминалы пользователей. При использовании звездообразной топологии каждый внешний узел соединен с центральным узлом своим кабелем. На рис. 13.1 показана сетевая топология в виде звезды.

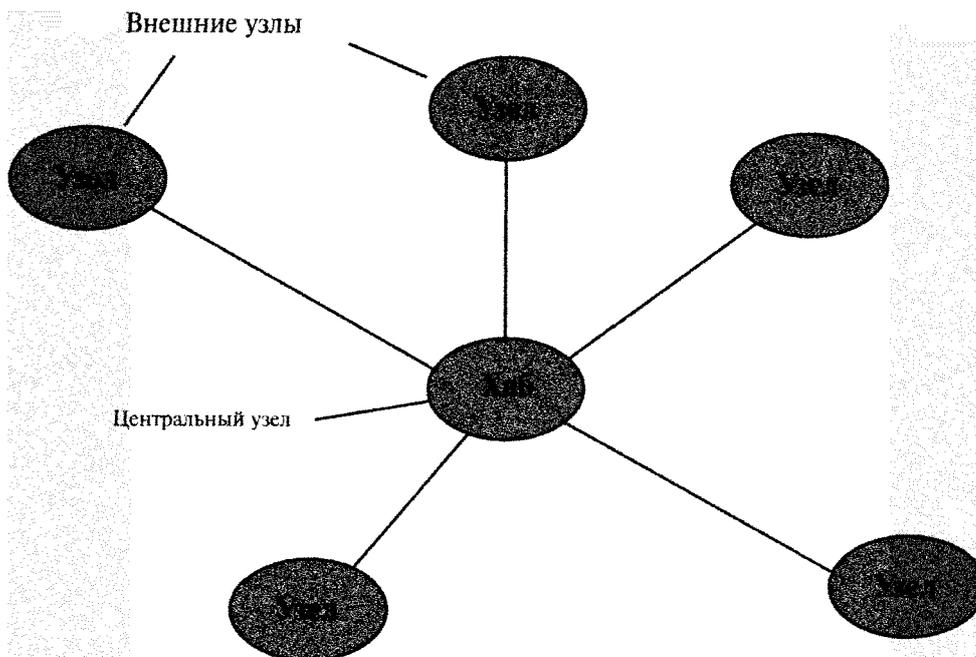


Рис. 13.1. Пример звездообразной сетевой топологии

Центральный хаб должен иметь пропускную способность, позволяющую одновременно передавать и получать сообщения. Конфликтные ситуации преодолеваются путем использования буферов в компьютере хаба.

Основными недостатками звездообразной топологии являются:

- если центральный хаб отключен, то вся система не работает;
- в зависимости от физического расположения устройств, стоимость звездообразной кабельной сети несколько выше некоторых других топологий.

Кольцевая топология

Узлы кольцевой сети соединены друг с другом таким образом, что в конечном итоге образуется петля. Поток данных часто распространяется в обе стороны, при этом каждый узел передает данные к следующему узлу и т.д. Важно, что каждый узел, принимая данные, способен извлечь их из кольца, чтобы они не циркулировали по сети бесконечно.

Базовая сетевая топология неспособна функционировать, если отключен какой-либо узел или кольцо разорвано. Следовательно, если эту сеть необходимо видоизменить

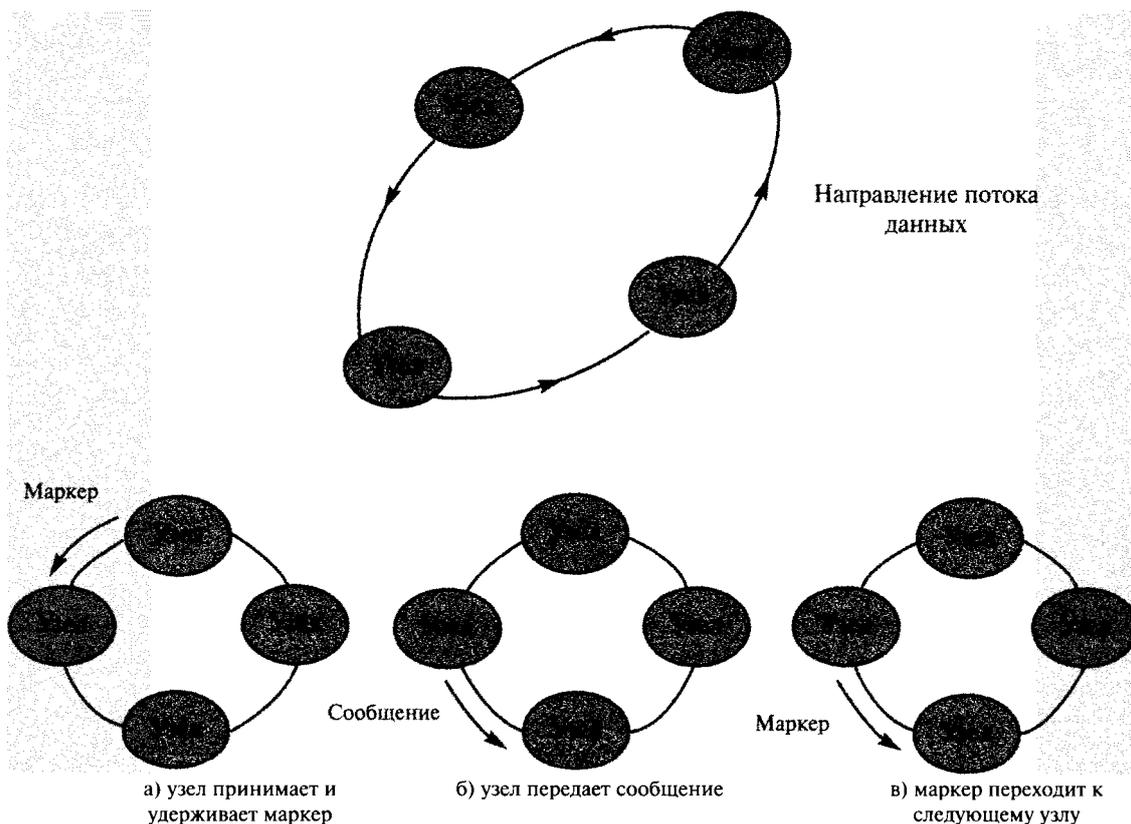


Рис. 13.2. Пример кольцевой топологии сети

или дополнить, то для этого требуется полное выключение системы. Кольцевая топология сети показана на рис. 13.2.

Шинная топология

Шинная топология состоит из коммуникационного канала, к которому подключены узлы, подобно листьям ветки. Физически узлы не являются частью шины, как это имеет место в кольцевой топологии, а являются «ответвлениями» от шины.

Шинные сети могут быть как двунаправленными, так и иметь только одно направление. На рис. 13.3 представлена топология типичной шинной сети.

Данные в этой шине можно «видеть» на всех узлах, но скопировать информацию может только узел (узлы) назначения.

В случае отключения узла из-за его неисправности либо вследствие нарушения контроля доступа (т.е. узел назначения не забирает информацию из шины) сеть может работать без неисправного узла, как и прежде.

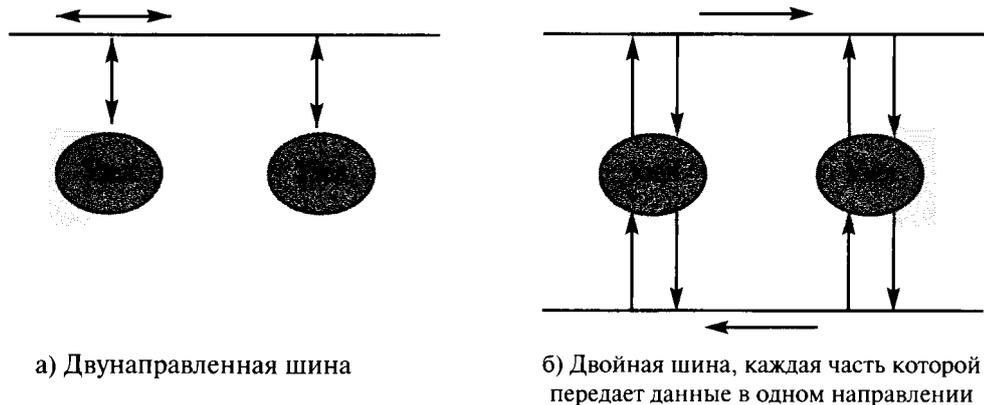


Рис. 13.3. Пример шинной топологии сети

Поскольку любое устройство сети может передать данные в любой момент времени, то имеется потенциальная проблема управления трафиком. Для урегулирования доступа устройств к шинной сети и устранения конфликтов данных был разработан ряд протоколов. Одним из наиболее известных и наиболее успешных типов локальной сети, использующей шинную топологию, является Ethernet. Более подробно эта сеть описывается в следующих разделах.

13.4. Механизмы контроля доступа к сети

Тремя основными способами контроля доступа к передающей среде являются:

- принцип главное/подчиненное устройство (или запрос-ответ);
- передача маркера;
- коллективный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов (CSMA/CD).

Принцип главное/подчиненное устройство (или запрос-ответ)

Этот принцип является распространенным способом сбора данных от измерительных устройств, подключенных к шине. Когда один главный узел подключен к нескольким подчиненным узлам, то принцип главное/подчиненное устройство реализуется следующим образом:

- главный узел посылает сообщение, адресованное первому подчиненному устройству (из последовательности узлов), запрашивающему данные (или производит запись данных в подчиненное устройство);
- все подчиненные узлы, подключенные к шине, читают это сообщение, но если адрес назначения сообщения не соответствует их адресу, они игнорируют это сообщение;

- подчиненное устройство с соответствующим адресом считывает сообщение и проверяет его на наличие ошибок (например, размер кадра и ошибки CRC или BCC);
- если адресуемый подчиненный узел сразу не ответит, то главный узел обычно пытается передать три запроса на чтение (всего) прежде, чем оно будет снова пытаться передать сообщение следующему подчиненному узлу (по порядку);
- затем главный узел циклически проходит все узлы шины, запрашивая данные (или записывая данные) из каждого из них. Полный цикл называется циклом опроса.

Главный узел может попробовать возобновить передачу на неответивший узел в течение нескольких циклов опроса, чтобы проверить, не восстановился ли этот узел и не может ли он передать данные.

В зависимости от конфигурации физический канал может использоваться в полудуплексном или полнодуплексном режиме. Например, использование интерфейса RS-232 обеспечит полнодуплексный режим только для двух узлов (на каждом конце канала связи).

Достоинством этого подхода является удобная настройка программного обеспечения, поскольку полное управление принадлежит главному узлу и он никогда не примет незатребованные сообщения.

Подход с циклом опроса очень эффективен в следующих ситуациях (одна или все сразу):

- каждое подчиненное устройство имеет предсказуемое число данных, которые необходимо считать или записать;
- нет необходимости передавать данные между подчиненными узлами (а только от подчиненного устройства к главному узлу);
- у подчиненного узла никогда не возникает необходимость опередить очередь опроса, чтобы передать срочные данные к главному узлу;
- существует очень небольшая вероятность отказа подчиненного или главного узла.

Недостатком такого подхода является то, что подчиненный узел может иметь непредсказуемое число данных и он не может получить доступ к шине в произвольное время, чтобы передать критические данные к главному или любому другому узлу.

Принцип опроса обычно используется для измерительных приборов, подключенных к центральному узлу (например, PLC или компьютеру), при этом обычно используется шинная топология.

Передача маркера

Передача маркера является распространенным способом контроля доступа к среде для промышленных систем управления, требующих гарантированной передачи данных между равноправными узлами.

Существуют два типа сообщений:

- маркерные сообщения (которые передают управление сети от одного узла к другому);
- прикладные сообщения (которые передают реальные данные от одного узла к другому).

Для группы узлов, подключенных к шинной сети, этот подход работает следующим образом:

- узел принимает маркерное сообщение от соседнего узла, указывающее на то, что теперь контроль принадлежит ему;
- маркер будет оставаться на этом узле в течение заданного максимального времени или до тех пор, пока он не передаст сообщение - в зависимости от того, что получится быстрее;
- этот узел теперь передает сообщения к другим узлам, с которыми он хочет связаться;
- затем маркер передается к следующему узлу и процесс повторяется.

Использование маркера **обеспечивает то, что каждому узлу сети будет разрешена передача в течение отведенного промежутка времени. Это называется *детерминистической операцией*.**

Маркеры можно использовать в сети с любой топологией. Вот примеры таких сетей:

- Arcnet (звезда).
- Modbus (шина).
- Сеть с маркерным доступом IBM (кольцо).

Эти сети являются самым общим примером, когда важна передача данных (например, чрезвычайные ситуации) и доступ к среде гарантирован в течение заданного времени даже в наихудшем случае.

Коллективный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов (CSMA/CD)

CSMA/CD является простейшим способом передачи данных по шине между узлами, которые хотят передавать данные в режиме соединения равноправных узлов. Этот способ становится особенно популярным в промышленных системах, поскольку его легко реализовать и он недорог.

Система, состоящая из узлов, подключенных к шине, работает следующим образом:

- узел, который хочет осуществить передачу, сначала проверяет активность на линии. Если активность не обнаружена, то узел передает сообщение;
- когда узел передает сообщение, он сравнивает посылаемое сообщение с тем, что присутствует на шине. Если он обнаруживает несоответствие, то он немедленно прекращает передачу, так как это означает наличие ошибки в системе (либо вследствие помех, либо вследствие одновременной передачи одного или нескольких других узлов);
- если имеется конфликт, то узел, на который подействовал другой узел, прекращает передачу и ждет случайный промежуток времени, прежде чем начать повторную передачу;
- узел выжидает в течение случайного времени. Это уменьшает риск конфликта, когда узел будет пытаться снова передать сообщение.

Достоинствами **CSMA/CD** является его простота и скорость, если только шина загружена несильно.

Недостатками **CSMA/CD** является то, что вся активность на шине непредсказуема (и чем сильнее загружена шина, тем более непредсказуемой она становится). Фактически, во время периода с очень высокой активностью шина может почти прекратить функционировать, и данные не будут передаваться.

CSMA/CD использует шинную топологию и работает в полудуплексном режиме. Самым простым примером **CSMA/CD** является Ethernet (или стандарт IEEE 802.3). Сеть **Canbus** (или **DeviceNet** и **SDS**) используют аналогичную версию, называемую множественным доступом с контролем несущей и предотвращением конфликтов (**CSMA/CA**), рассмотренную в разделе 12.5. Разница заключается в том, что здесь конфликты не пагубны и что продолжает передавать узел с наивысшим приоритетом, а все остальные узлы прекращают передачу.

13.5. Способы передачи

Для передачи информации по локальным сетям используются два способа – сеть с модулированной передачей и широкополосная сеть.

Сеть с немодулированной передачей

Такая передача известна также как мультиплексная передача с временным разделением (**TDM**). В любой момент времени может передавать только одно устройство, используя всю полосу пропускания системы. Несущая при этом не используется, поэтому сигнал (например, выход с универсального асинхронного приемопередатчика) напрямую передается в среду.

Поскольку во время передачи одно коммуникационное устройство занимает всю среду, то должны быть временные ограничения на доступ отдельного устройства к сети, чтобы и другие устройства получили свою очередь.

Широкополосная сеть

Широкополосная сеть называется также системой с частотным уплотнением (FDM). Полоса пропускания системы разделена на неперекрывающиеся каналы, означая, что многие пары устройств могут общаться одновременно, при этом они обычно сохраняют их каналы до завершения передачи сообщения. Поскольку любому устройству доступна только часть полосы пропускания системы, то скорости передачи данных для отдельных устройств меньше, чем для такой же сети TDM.

Данные передаются в передающую среду путем введения несущей волны (синусоидальной) и ее модулирования данными – это может быть частотная, амплитудная или фазовая модуляция.

Для FDM предпочтительно использование коаксиального кабеля или оптоволокна, поскольку ширина полосы витой пары для этого способа передачи обычно недостаточна. Однако новые специальные кабели, использующие витую пару, такие как TwistLAN, обеспечивают скорость передачи до 16 Мбит/с, что вполне подходит для FDM.

13.6. Сводка стандартов локальных сетей

Наиболее важным стандартом для интерфейсов локальных сетей и протоколов является IEEE 802 – группа стандартов, выпускаемая Комитетом по стандартизации технологий локальных сетей. Этот комитет состоит из нескольких секций, каждая из которых имеет свой собственный координационный совет. Некоторые стандарты были заменены стандартами ISO, показанными ниже в скобках.

- IEEE 802.1 (ISO 8802.1)

Детализирует отношение других стандартов 802 друг к другу и к эталонной модели ISO/OSI. Как и для модели ISO/OSI, спецификация IEEE 802.1 описывает уровни интерфейса или коммуникационные интерфейсы между различными иерархическими уровнями устройств и активности.

- IEEE 802.2 (ISO 8802.2)

Этот стандарт поделит канальный уровень ISO/OSI на два подуровня - он определяет функции логического канального подуровня (LLC) и подуровня протокола управления доступом к среде (MAC). Интерфейс IEEE 802.2 определяет службы, которые подразделяются на следующие категории.

Интерпретация пакетов сообщений

Общая реакция на ошибки и подтверждение пакетов сообщений для Ethernet и кольцевой сети с маркерным доступом компании IBM одинаковы и описываются приведенными ниже стандартами.

- IEEE 802.3 (ISO 8802.3)

Этот стандарт определяет протокол множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов (CSMA/CD), который используется Ethernet и приводится в соответствующем разделе.

- IEEE 802.4 (ISO 8802.4)

Этот стандарт определяет способ доступа к шине с маркером. Физически это похоже на шинную сеть, которая работает, как кольцевая локальная сеть с передачей маркера. Узлы этой сети видят себя включенными в виде логической петли, и каждому узлу назначен адрес. Этот стандарт успешно решает проблему конфликтов, которые происходят в CSMA/CD, поскольку в любой момент времени может существовать только один маркер и маркером может владеть только один узел. Чтобы узел не завладевал маркером на слишком длительное время, задано максимальное время удержания маркера. Для сетей с большими нагрузками маркерная шина подходит лучше, чем CSMA/CD, поскольку время для передачи данных отводится каждому узлу.

- IEEE 802.5 (ISO 8802.5)

Стандарт определяет метод доступа к кольцевой сети с маркерным доступом, аналогичный тому, который использовала IBM для своего стандарта такой же сети.

13.7. Ethernet

Сеть Ethernet была разработана компанией Xerox в начале 1970-х годов и стандартизована компаниями Xerox, Digital Equipment и Intel в 1978 году. В качестве способа управления доступом к среде используется протокол CSMA/CD.

Сеть Ethernet описывается следующими стандартами:

- Ethernet V2 (Синяя книга).
- IEEE 802.3 (ISO 8802.3).

Необходимо отметить, что Ethernet – это торговая марка запатентованной локальной сети Ethernet версии 2, обычно называемой «Синяя книга Ethernet» и хотя фактически это уже отдельный стандарт, он не является только локальной сетью. Стандарт IEEE «802.3 LAN» имеет небольшое отличие в формате кадра, но обычно называется как Ethernet. Это соглашение и используется в книге.

Для обеспечения каждого узла уникальным адресом IEEE определяет для производителей блоки адресов, которые отвечают за то, чтобы адреса не дублировались. Встроенное программное обеспечение определяет 48-разрядный адрес. В конечном итоге в локальной сети никогда не должно быть конфликтов из-за адреса.

Ниже перечислены некоторые аппаратные варианты Ethernet, которые более подробно описываются в разделах 13.10 и 13.13, определяющих требования к аппаратному обеспечению Ethernet.

- Стандартный (толстый) Ethernet (10Base5) использует немодулированную передачу данных и по коаксиальному кабелю с максимальной длиной сегмента 500 м обеспечивает скорость передачи 10 Мбит/с.

- Тонкий Ethernet (10Base2) использует немодулированную передачу данных и по коаксиальному кабелю с максимальной длиной сегмента 185 м обеспечивает скорость передачи 10 Мбит/с.
- 10BaseT использует неэкранированную витую пару и обеспечивает скорость передачи 10 Мбит/с, используя в каждом узле коммутационный концентратор.
- 100BaseT аналогичен 10BaseT, но работает со скоростью 100 Мбит/с.
- 1000BaseT (гигабитный Ethernet) аналогичен Fast Ethernet, но работает со скоростью 1000 Мбит/с.
- 1BaseT аналогичен 10BaseT, но ограничен скоростью передачи 1 Мбит/с (устаревшая сеть).
- Широкополосный Ethernet (10Broad36) использует FDM с максимальной длиной сегмента 3600 метров (устаревшая сеть).
- 10BaseF использует оптоволокно и имеет скорость передачи 10 Мбит/с.

Топология Ethernet

Стандартный и тонкий Ethernet используют шинную топологию. Коммуникационные кабели подключаются к каждому узлу, как показано на рис. 13.4. В такой конфигурации удаление любого узла не влияет на работу локальной сети – узел просто не будет отвечать на адресованные к нему кадры.

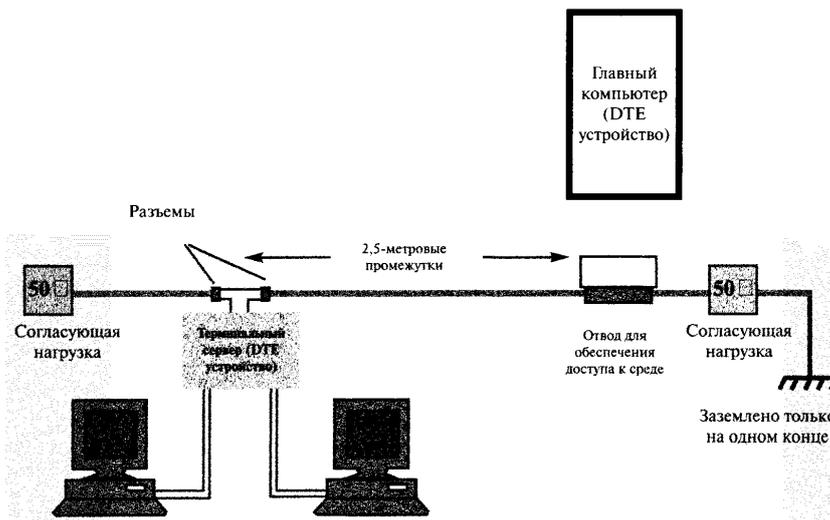


Рис. 13.4. Шинная топология стандартного Ethernet (10Base5)

10BaseT (Ethernet) использует звездообразную конфигурацию, в которой каждый узел подключается к коммутационному концентратору (хабу с помощью витой пары, как показано на рис. 13.5). Хаб может быть подключен к другому типу Ethernet; работа при этом аналогична работе при использовании шинной конфигурации.

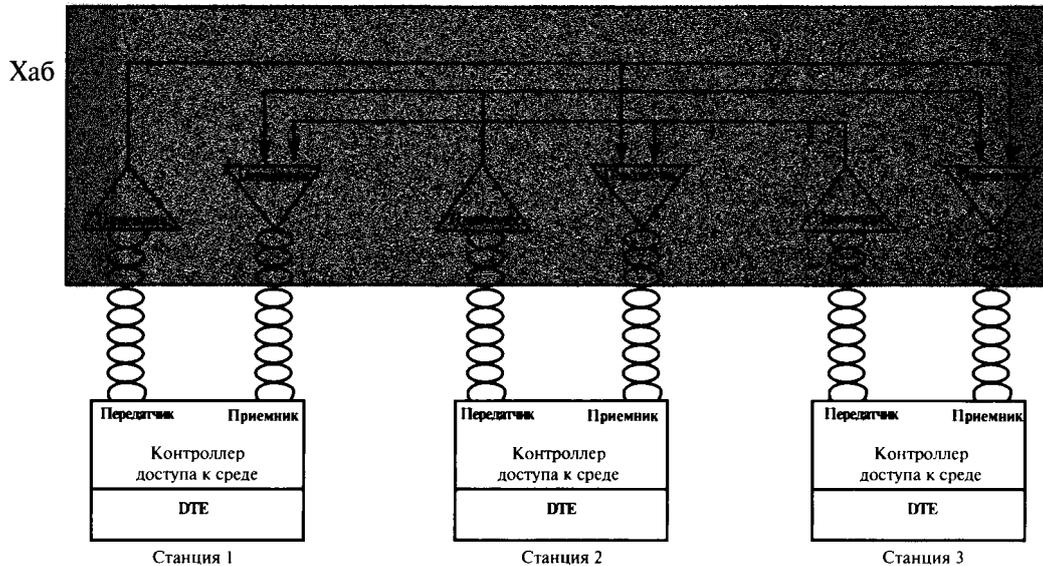


Рис. 13.5. Звездообразная топология 10BaseT

13.8. Протокол управления доступом к среде

Поскольку каждый узел имеет доступ к локальной сети все время, то возможна такая ситуация, когда два узла начнут передачу одновременно, нарушая тем самым коммуникацию. Ethernet использует множественный доступ с контролем несущей и определением конфликтов, который обнаруживает и минимизирует конфликты между кадрами.

Перед передачей сообщения узел всегда ожидает до тех пор, пока на линии не будет несущей (что указывает на то, что ни один узел не передает). Затем во время передачи он контролирует кабель, и любое различие между сигналами, которые он передает, и теми, которые он принимает, будет указывать на наличие конфликта (т.е. на то, что другой узел начал передачу).

Если обнаружен конфликт, то узел реагирует на это путем передачи случайного набора битов (незначащая последовательность), затем, прежде чем снова попытаться передавать, узел ожидает небольшое время, задаваемое случайным образом. Поскольку каждый из двух узлов ожидает разное время, то имеется вероятность того, что в следующий раз конфликт не произойдет.

Прежде чем произойдет конфликт, узлу, возможно, придется ожидать, пока сигнал достигнет другого конца шины, т.е. имеется ограничение на минимальную длину сообщения, обеспечивающую обнаружение конфликта во всех ситуациях. Для дополнения коротких сообщений, чтобы они достигали минимальной длины, требуется соответствующее аппаратное обеспечение.

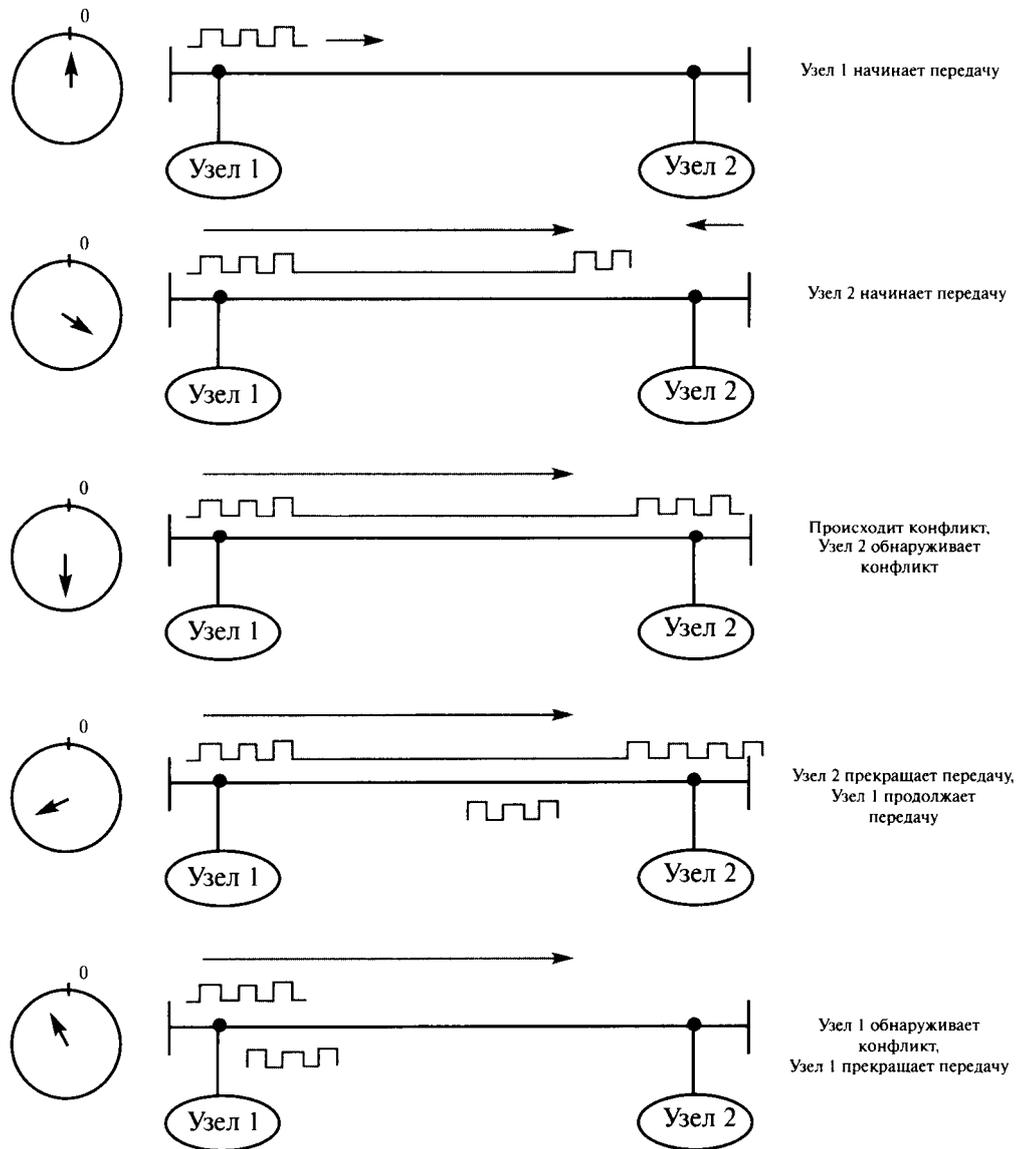


Рис. 13.6. CSMA/CD конфликт

Рис. 13.6 иллюстрирует последовательность событий при образовании конфликта. Следует отметить, что узел 1 должен ожидать в течение времени, вдвое большего времени распространения сигнала до узла 2, и все это время он должен передавать, чтобы вовремя обнаружить конфликт.

13.9. Протокол работы Ethernet

Кадр данных

Все данные передаются в виде пакета или кадра. Кадр состоит из оболочки, содержащей управляющую информацию (такую как байты синхронизации и адреса) и реальное сообщение. Каждый узел определяет адрес назначения и считывает данные, если кадр предназначен ему.

Кадр данных Ethernet имеет структуру, представленную на рис. 13.7.

Преамбула

Преамбула	Начальный разграничитель	Адрес назначения	Адрес источника	Индикатор длины	Данные	Контроль с помощью циклического избыточного кода
7 байтов	1 байт	2 или 6 байтов	2 или 6 байтов	2 байта	46 – 1500 байтов	4 байта

Рис. 13.7. Формат кадра IEEE 802.3

Это поле состоит из семи байтов, каждый из которых имеет двоичное значение 10101010. Целью поля является обеспечение синхронизации с кадром всех принимающих контроллеров доступа к среде.

Разграничитель начала кадра (SFD)

SFD отмечает начало кадра и имеет двоичное значение 10101011.

Адрес назначения

Он может состоять из 16 или 48 битов – это зависит от конфигурации системы. На практике адрес назначения почти всегда состоит из 48 битов. Адрес должен иметь одинаковую длину для всех узлов. Узел с этим адресом прочитает сообщение.

Адрес источника

Он может состоять из 16 или 48 битов – это зависит от конфигурации системы. На практике он почти всегда состоит из 48 битов. Это адрес узла, который отправил данные.

Индикатор длины

Двухбайтовый индикатор длины определяет, сколько байтов содержится в поле данных.

Данные

Это поле содержит реальные данные, которые могут иметь длину от 46 до 1500 байтов. Минимальная длина поля данных определяется необходимостью обнаружения конфликта, а максимальная длина ограничивает время доступа для любого узла 1,2 миллисекундами. Если длина реальных данных составляет меньше 46 байтов, то поле данных должно быть дополнено до 46 байтов.

Контрольная последовательность кадра

Это 32-разрядная величина, используемая для обнаружения ошибок с помощью циклического избыточного кода (CRC).

Последовательность передачи

1. Контроллер доступа к среде образует кадр данных.
2. Контроллер доступа к среде контролирует линию на предмет отсутствия несущей.
3. Приемопередатчик узла передает кадр в виде потока битов.
4. Приемопередатчик контролирует линию, чтобы обнаружить возможный конфликт.

В случае возникновения конфликта передатчик посылает незначущую последовательность, прекращает передачу и повторяет попытку, спустя короткий промежуток времени, определяемый случайным образом.

Последовательность приема

1. **Контроллер доступа к среде обнаруживает сигнал, поступающий от приемопередатчика.**
2. Включается сигнал обнаружения несущей, чтобы запретить любую передачу контроллером доступа к среде.
3. Контроллер доступа к среде использует поступающие байты преамбулы для обеспечения синхронизации.
4. Проверяется адрес назначения и если он совпадает с адресом узла, производится считывание данных.
5. Данные считаны, проверяется соответствие индикатора длины с длиной сообщения. Вычисляется FCS и сравнивается со значением поля FCS. Если оба сравнения положительны, то сообщение передается дальше.

Кодирование и передача данных

Тактовые сигналы кодируются в передаваемом потоке данных и извлекаются из него каждым приемником с целью обеспечения синхронизации, т.е. система «самотактируется». Процессы кодирования и декодирования показаны на рис. 13.8. Исходный поток данных изменяется между двумя уровнями и не возвращается к нулевым символам. Такой метод известен как метод без возврата к нулю (NRZ). Данные кодируются для передачи с использованием манчестерского (фазового) кодирования, при котором двоичная «1» кодируется переходом сигнала из низкого состояния в высокое посередине каждого бита, а двоичный «0» – переходом из высокого состояния в низкое. Посреди каждого бита всегда имеется переход, который используется для извле-

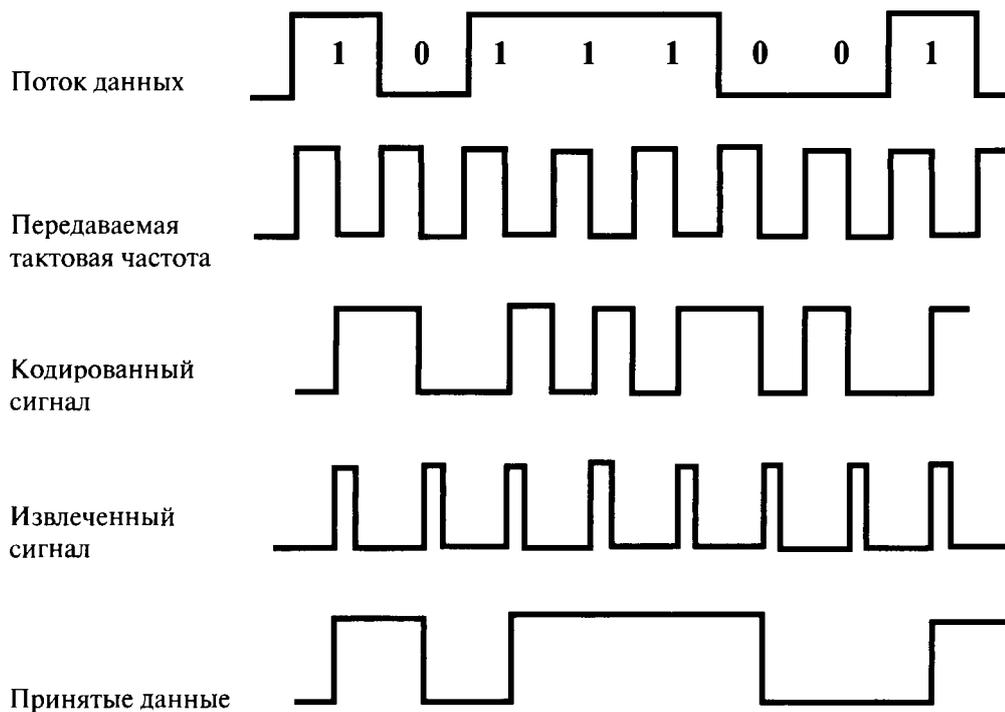


Рис. 13.8
Манчестерское кодирование и декодирование

чения принимаемого тактового сигнала. Принимаемый тактовый сигнал определяет, когда приемник должен производить выборку данных, которые имеют либо высокий уровень (соответствующий двоичной «1»), либо низкий уровень (соответствующий двоичному «0») и тем самым обеспечивает корректное воспроизведение исходных данных.

13.10. Требования к аппаратному обеспечению Ethernet

Требования к аппаратному обеспечению определяются разновидностью используемой сети Ethernet. Эти разновидности описываются ниже.

Стандартный (толстый) Ethernet

Стандартный 10Base5 Ethernet требует использования 50-омного кабеля с внешним диаметром 10,28 мм (RG-8), к которому для образования отвода может подключаться специальный тройник. С отводом соединяется модуль подключения к среде (MAU). Ответительный кабель приемопередатчика или интерфейс подключаемых устройств (AUI) соединяет MAU с контроллером доступа к среде (MAC). В случае измерительной системы блок MAC устанавливается на плате контроллера и содержит встроенное

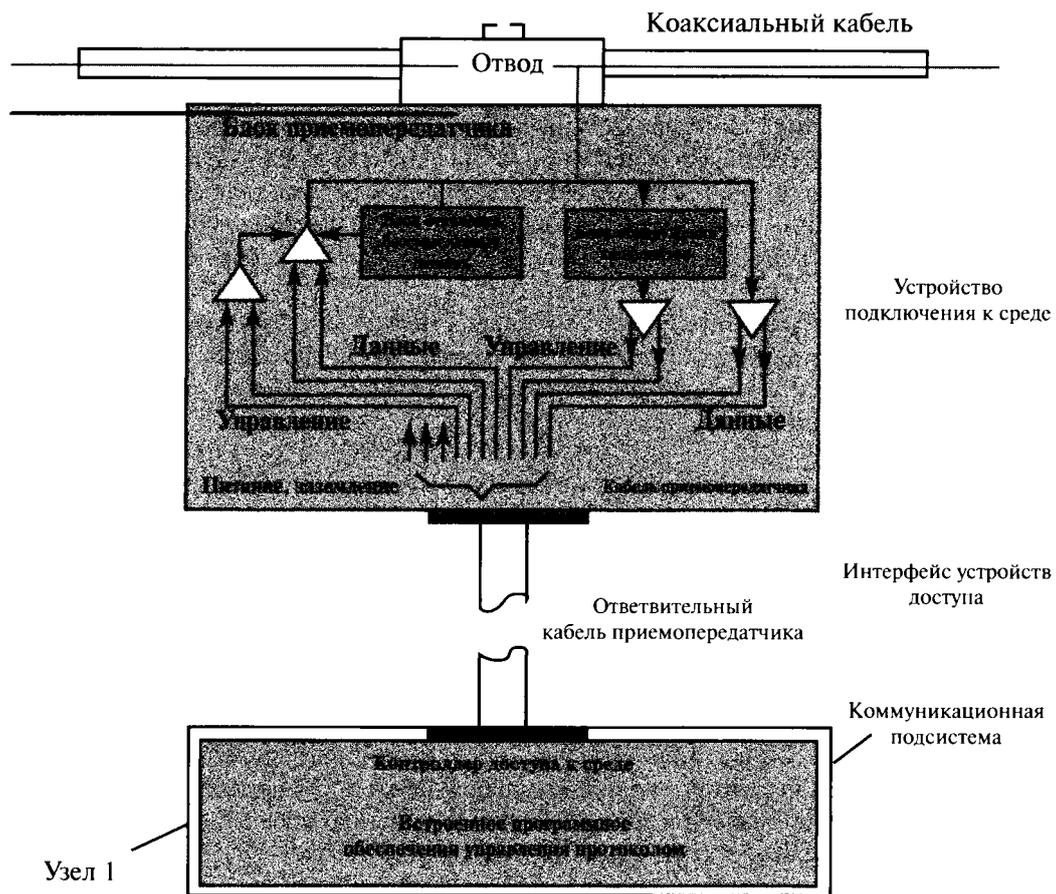


Рис. 13.9. Стандартное оборудование Ethernet

программное обеспечение для управления протоколом. Это позволяет коммуникационной системе работать как DTE устройство.

В приемопередатчике блок отсеечения бессмысленных данных отключает узел от шины, если он обнаруживает на линии избыточную активность. Это не позволяет неисправному узлу нарушать сетевые коммуникации. Блок обнаружения конфликтов реализует описанный ранее метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов (CSMA/CD).

Устройство подключения к среде (MAU)

MAU можно подключить к кабелю одним из двух способов:

- отвод типа «вампир». В старых системах для подключения к центральному проводнику коаксиального кабеля сначала нужно было просверлить отверстие. Современные системы используют метод простой деформации изоляции, посредством которого специальное острие проходит через экран и соединяется с центральным проводом с помощью небольшого ключа или отвертки;
- специальный тройник MAU с двумя гнездовыми разъемами. Кабель должен быть обрезан и заделан в гнездовые части тройника. Этот способ более предпочтителен в «грязных» окружающих условиях, например на предприятии.

Устройство подключения к среде может иметь один, два или четыре порта. Между MAU стандарт требует минимального интервала 2,5 м. К 500-метровому сегменту (максимальная длина) можно подключить до 100 MAU.

Интерфейс устройств доступа (AUI)

AUI представляет из себя 15-жильный экранированный кабель, состоящий из пяти отдельно экранированных пар и может иметь длину до 50 м. Интерфейс устройств доступа показан на рис. 13.10.

Все кабели системы рекомендуется брать с одной катушки, чтобы избежать отражений, вызываемых несоответствием импедансов кабелей. Сращивание кабелей производится с помощью разъемов, устанавливаемых на концах кабелей, которые соединяются цилиндрическими переходниками, типа гнездо-гнездо.

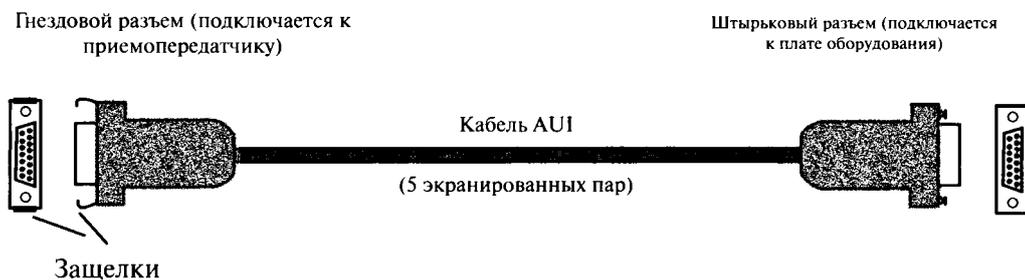


Рис. 13.10. Разъемы кабеля AUI

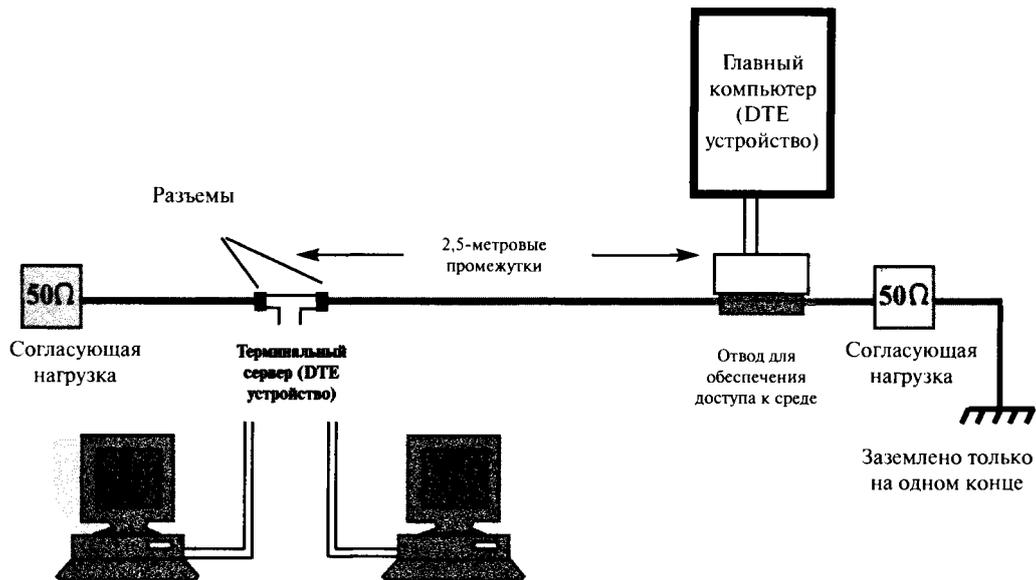


Рис. 13.11. Пример подключения кабелей стандартной сети Ethernet

Тонкий Ethernet

Система тонкого Ethernet использует 50-омный кабель RG-58 A/U или C/U и поддерживает максимальную длину сегмента, **равную 185 м. Он предназначен для более дешевой сети.**

Установка осуществляется так же, как и для стандартного Ethernet, за исключением того, что минимальное расстояние между MAU составляет 0,5 м, а на одном сегменте допускается подключение до 30 MAU. Сегментный кабель не следует сращивать – его необходимо соединять с помощью проходных разъемов.

MAU и AUI обычно встраиваются на плату контроллера, как показано на рис. 13.12.

Компоненты 10Base5 могут использоваться для сети 10Base7, но устройство подключения к среде не может использовать отвод типа «вампир» или тройник. Кабель в данном случае другой, поэтому используется байонетный тройник.

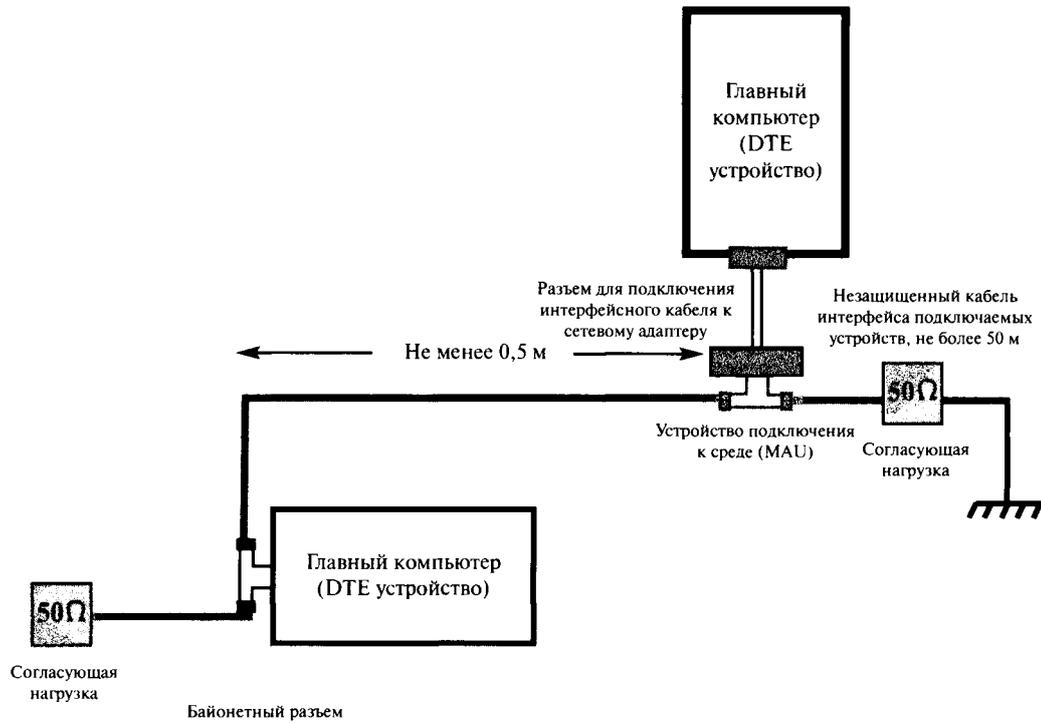


Рис. 13.12. Пример подключения кабелей тонкого Ethernet

10BaseT

Система 10Base5 имеет еще меньшую стоимость установки и использует витую пару. Каждый узел подключается к центральному хабу двумя парами (одна пара для приема, а вторая для передачи). Хаб может находиться на расстоянии 100 м. Подключение к интерфейсным платам производится с помощью модульных 8-контактных разъемов RJ-45, как показано на рис. 13.13.

Хаб обеспечивает работу шины между узлами и может иметь AUI разъемы для толстого Ethernet, тонкого Ethernet или оптоволоконных приемопередатчиков.

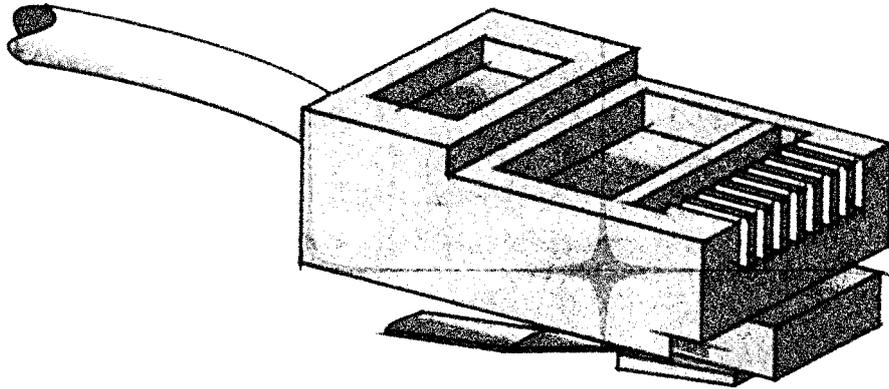


Рис. 13.13. Разъем Ю-45 для витых пар

13.11. Расчет производительности Ethernet

Далее будет приведен пример расчета некоторых параметров, относящихся к производительности, для сильно загруженной системы Ethernet.

Предположим, что в очереди на передачу пакета находятся N узлов. Число N представляет полную загрузку системы и предполагается, что оно больше 1.

В Ethernet-системе существует конфликтный интервал, или время, в течение которого узлы пытаются производить передачу, прежде чем им будет предоставлена гарантия на управление шиной. В течение этого времени, равного длительности 512 битов, возможны конфликты из-за задержки распространения сигнала по сети.

Если принять, что узел имеет вероятность передачи в любой интервал времени, равную $1/N$, то вероятность задержки составляет $[1 - 1/N]$.

Вероятность (P) того, что точно один узел попытается передавать в этом временном интервале и достигнет успеха в получении контроля над шиной, равна:

$$P = \left[1 - \left\{ \frac{1}{N} \right\} \right]^{N-1} .$$

То есть вероятность того, что ожидания не будет, прежде чем будет получен контроль над шиной, является P .

Вероятность ожидания только одного временного интервала составляет $(1 - P)$, а вероятность ожидания N временных интервалов - $P [(1 - P)^N]$. Это геометрическая последовательность со средним значением $(1 - P)/P$.

Следовательно, среднее количество временных интервалов, которые узел должен ожидать, прежде чем он получит доступ к шине, составляет:

$$S = \frac{1-P}{P}$$

Для двух станций, находящихся в очереди, $P = \left\{1 - \frac{1}{2}\right\}^{2-1} = 0,5$

и $S = \frac{1-P}{P} = \frac{0,5}{0,5} = 1$

Эффективность E определяется процентным соотношением времени, когда сеть передает полезные данные. Каждый пакет имеет максимум 192 служебных бита (издержки), состоящих из:

- 7 байтов преамбулы
- 1 байт SFD
- 6 байтов адреса назначения
- 6 байтов адреса источника
- 2 байта индикатора длины
- 4 байта CRC

Максимальный размер пакета составляет 1526 байтов, или 12208 битов, а минимальный размер пакета - 72 байта, или 576 битов. Между каждым кадром имеется промежуток, равный по времени 96 битам, что при скорости 10 Мбит/с составляет 9,6 микросекунд.

Для кадра максимального размера:

$$E = \frac{\text{Полезные данные}}{(\text{Полезные данные} + \text{Ожидание} + \text{Промежуток времени})}$$

$$E = \frac{12,208}{12,208 + 512 + 96} = \frac{12,208}{12816} = 95\%.$$

Для кадра минимальной длины: $E = \frac{656}{656 + 512 + 96} = 52\%.$

Уменьшение эффективности вызывается увеличивающейся частью времени фиксированных издержек и промежутка между кадрами.

Уменьшение количества конфликтов

Основной причиной конфликтов является время распространения сигнала между узлами. Фактически задержка в узле, регистрирующем факт конфликта, может составлять двойное время распространения между узлами. Это время двойного прохода сигнала называют конфликтным окном. Обычно оно довольно небольшое - порядка нескольких микросекунд. Для сети Ethernet максимальной конфигурации, состоящей из пяти 500-метровых кабелей, четырех повторителей, десяти приемопередатчиков и десяти их 50-метровых кабелей, задержка кругового обхода всех кабелей, приемопередатчиков и по-

вторителей может достигать 50 микросекунд. При скорости передачи 10 Мбит/с это время эквивалентно времени 500 битов. Следует отметить, что минимальная длина Ethernet-сообщений составляет 64 байта, или 512 битов, что соответствует времени 51,2 мс, поэтому конфликты всегда могут быть обнаружены в пределах одного пакета. Основными причинами роста конфликтов в Ethernet является следующее:

- количество пакетов, передаваемых в одну секунду;
- задержка распространения сигнала между передающими узлами;
- количество узлов, начинающих передачу пакетов;
- коэффициент использования полосы частот.

Имеется несколько предложений по уменьшению числа конфликтов в Ethernet:

- делать все кабели максимально короткими;
- располагать источники с высокой активностью и места их назначения максимально близко. Возможна развязка этих узлов от главной магистрали с помощью мостов/маршрутизаторов и коммутаторов, что позволит уменьшить трафик по основной магистрали;
- использовать буферизованные повторители, а не просто повторители потоков битов;
- проверить необходимость широковещательных пакетов, которые направляются к несуществующим узлам;
- необходимо помнить, что оборудование, контролирующее сетевой трафик, само добавляет трафик (и, естественно, конфликты).

13.13. Быстрый Ethernet

Системы быстрого Ethernet (Fast Ethernet) работают со скоростями 100 Мбит/с с различными видами физической передающей среды, и они сохраняют существующий MAC уровень Ethernet.

Стандарт IEEE 802.3 определяет:

- 100BaseTX, который использует две пары проводов категории 5 UTP или STP (он применяется наиболее часто).
- 100BaseFX, который использует две пары многомодового (или одномодового) волокна.
- 100BaseT4, который использует четыре пары проводов категории 3, 4 или 5 UTP (в настоящее время не применяется).

IEEE имеет также стандарт 802.3, который определяет 100BaseT2, использующий две пары проводов категории 3, 4 или 5 UTP. Эта система была разработана не для коммерческих целей.

Изначально MAC-уровень 802.3 был определен независимо от различных поддерживаемых физических уровней. MAC уровень определяет механизм доступа CSMA/CD и определяет большинство параметров через битовые временные интерва-

лы, которые не зависят от скорости передачи. Для системы со скоростью 100 Мбит/с межкадровый промежуток и время передачи кадра уменьшены в 10 раз по сравнению с системами со скоростями 10 Мбит/с.

Системы 100BaseTX, как и системы ЮBaseT, подключаются к хабу звездообразно. Современные системы передачи информации на основе медных проводов используют узлы и хабы 10/100. Здесь указаны скорости передачи данных узла и хаба (т.е. 10 Мбит/с или 100 Мбит/с).

При использовании между узлом и хабом кабеля категории 5, система обеспечивает связь на расстояниях более 100 метров. Максимальная длина сети, в которой могут быть обнаружены конфликты, составляет 250 метров, что в 10 раз меньше максимальной длины сети ЮBaseT. Это, по сути, означает, что сети длиннее 250 метров необходимо логически подключать через запоминающие и передающие устройства, такие как мосты, маршрутизаторы или коммутаторы. Этот вопрос обсуждается в разделе 13.17.

Быстрый Ethernet постоянно дешевеет и сейчас широко используется в промышленности. Гигабитный Ethernet коммерчески стал доступен с 1998 года.

13.14. Кольцевая сеть с маркерным доступом

Локальная кольцевая сеть с маркерным доступом была разработана компанией IBM в 1980 году и характеризуется передачей маркера - специального кадра - позволяющего избегать конфликтных ситуаций.

Сеть соответствует стандартам:

- Кольцевая сеть с маркерным доступом компании IBM
- IEEE 802.5 кольцевая сеть с маркерным доступом

Топология

Используется кольцевая топология, в которой передающая среда образует замкнутую петлю. Данные передаются в одном направлении, как показано на рис. 13.14.

Следует отметить, что отказ любого узла выведет из строя всю сеть, если только не предпринимать специальных мер предосторожности, поэтому простая кольцевая сеть с маркерным доступом для промышленных применений не подходит.

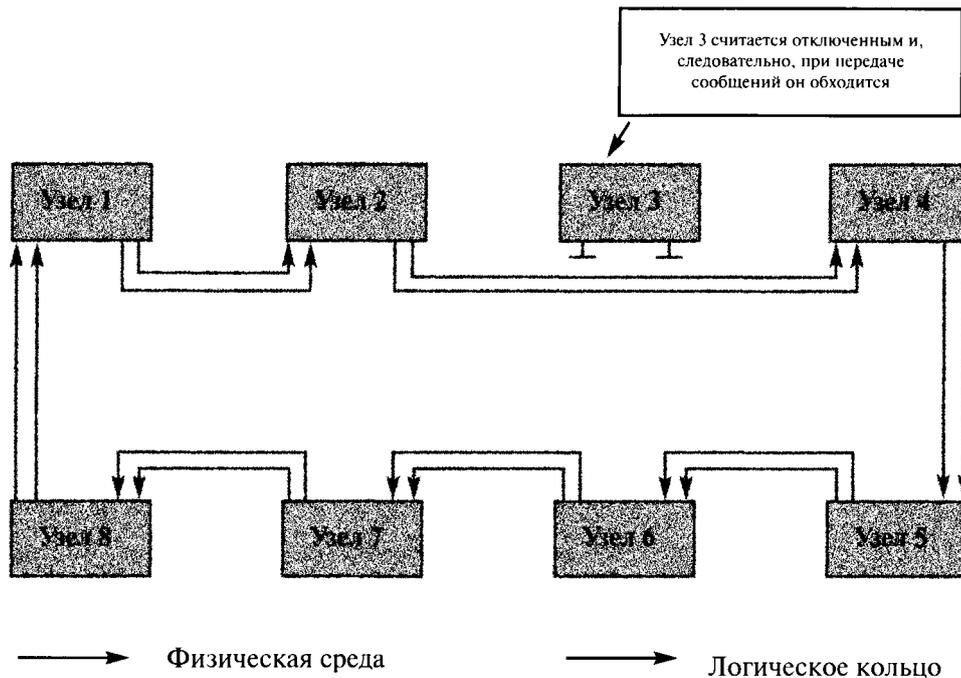


Рис. 13.14. Топология сети с маркерным доступом

Для увеличения надежности кольцо может быть модифицировано следующим образом:

- каждый узел может быть снабжен реле, которое включает обход узла и сохраняет неразрывность кольца в случае неисправности или отключения узла;
- кольцевая архитектура может быть продублирована, чтобы обеспечить два коммуникационных канала.

Управление доступом к среде

От одного узла к другому передается специальный пустой кадр, называемый маркером; узел может передавать данные только тогда, когда маркер находится у него. После подтверждения передачи кадра данных узел генерирует новый маркер и посылает его к следующему узлу. Это означает, что конфликты не могут происходить в принципе.

Работа протокола

Как было упомянуто выше, узел не может передать кадр данных до тех пор, пока не получит маркер. На время удержания маркера узлом накладывается ограничение.

Кадр данных

Структура кадра данных кольцевой сети с маркерным доступом представлена на рис. 13.15.

Начальный разграничитель	Управление доступом	Конечный разграничитель
1 байт	1 байт	1 байт

а) Управляющий маркер

Начальный разграничитель	Управление доступом	Управление кадром	Адрес назначения	Адрес источника	Информация	Контрольная последовательность кадра	Конечный разграничитель	Статус кадра
1 байт	1 байт	1 байт	2 или 6 байтов	2 или 6 байтов	0 или больше байт	4 байта	1 байт	1 байт

б) Кадр сообщения

Рис. 13.15. Кадр данных кольцевой сети с маркерным доступом

Начальный разграничитель

Это поле указывает на начало кадра и содержит неинформационные символы.

Управление доступом

Это поле содержит дополнительное подполе доступа и зарезервированное подполе; поле управляет доступом к кольцу.

Управление кадром

Это поле позволяет отличать обычные кадры данных от кадров управляющего протокола (МАС).

Адрес назначения

Он может иметь длину 16 или 48 битов - это зависит от конфигурации системы. Адрес должен иметь одинаковую длину для всех узлов. Узел с этим адресом будет считывать данные.

Адрес источника

Он может иметь длину 16 или 48 битов – это зависит от конфигурации системы. Адрес должен иметь одинаковую длину для всех узлов.

Информация

Это поле является реальным сообщением. Верхнего предела длины поля, обусловленного максимальным временем, в течение которого узлу разрешено удерживать маркер, нет.

Контрольная последовательность кадра

Это поле содержит 32-битовое значение, необходимое для контроля за ошибками с помощью циклического избыточного кода. Контрольное значение вычисляется для всего кадра, за исключением начального и конечного разграничителей.

Конечный разграничитель

Является индикатором окончания кадра.

Формат маркера

Формат маркера показан на рис. 13.15(а). Описание полей маркера такое же, как и для кадра данных.

Последовательность передачи

1. Контроллер доступа к среде (МАС) формирует кадр, готовый для передачи.
2. Когда узел принимает маркер с таким же приоритетом, что и кадр, МАС передает кадр.
3. МАС принимает кадр и проверят, чтобы он был считан узлом назначения.
4. МАС переправляет маркер дальше к следующему ближайшему активному соседу, который повторяет эту процедуру.

Последовательность приема

1. МАС принимает кадр от предыдущего ближайшего активного соседа.
2. Если адрес назначения соответствует адресу узла, то МАС копирует кадр и устанавливает флаг управления доступом, являющийся индикатором того, что узел считывает информацию. Далее узел передает кадр к следующему ближайшему активному соседу.
3. Если адрес назначения не соответствует адресу узла, то МАС передает кадр дальше, не предпринимая никаких действий.

Требования к аппаратному обеспечению

Схема подключения аппаратуры для кольцевой сети с маркерным доступом показана на рис. 13.16.

Хотя кольцевые сети с маркерным доступом используют структуру логического кольца, они фактически имеют звездообразную топологию, в которой каждый узел подключен к центральному хабу или к модулю множественного доступа (MAU). Модули множественного доступа могут быть соединены между собой с помощью специальных портов RI (вход кольца) и RO (выход кольца).

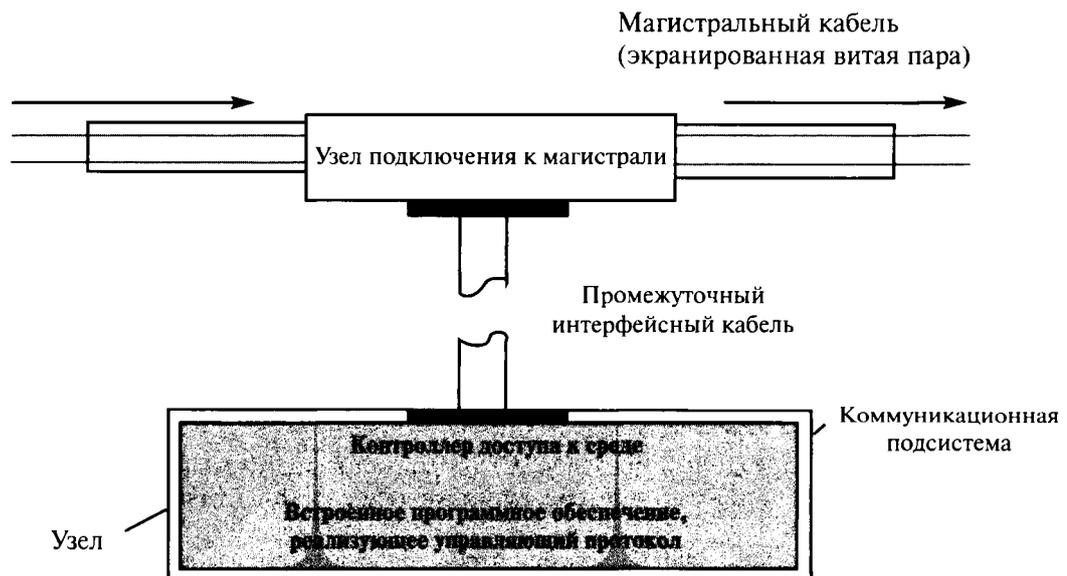


Рис. 13.16. Схема подключения аппаратуры для кольцевой сети с маркерным доступом

13.15. Маркерная шина

Сеть, построенная на основе маркерной шины, обеспечивает гарантированный доступ всем узлам через регулярные промежутки времени и может задавать приоритет передаваемому кадру. Операция производится либо в режиме широкополосной сети, либо в режиме одноканального диапазона с несущей. Архитектура маркерной шины поддерживает:

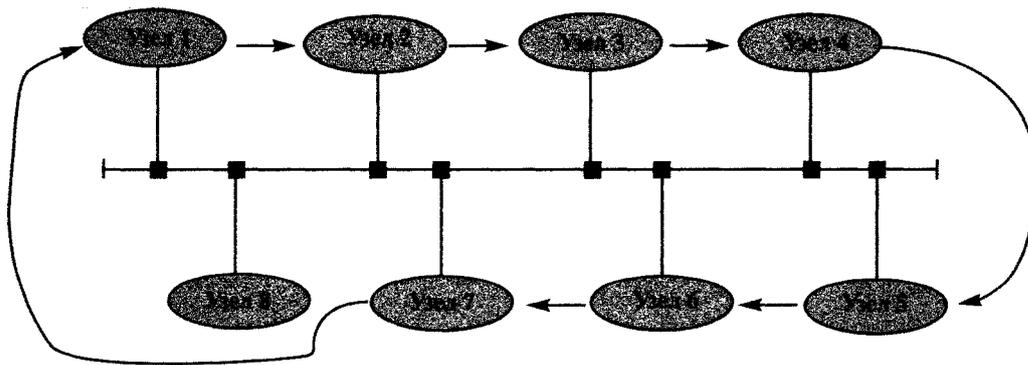
- несущий диапазон (один канал) и широкополосные сети;
- передачу с использованием либо 75-омного коаксиального, либо оптоволоконного кабеля;
- скорости передачи 1, 5, 10 и 20 Мбит/с (в зависимости от среды);

- четыре уровня приоритетов для регулирования доступа к сетевой среде;
- четыре физических уровня конфигурации среды: два несущих диапазона (полная ширина полосы), одна широкополосная сеть и оптоволокно.

Открытым стандартом для маркерной шины является IEEE 802.4. Однако большинство систем на основе маркерной шины являются собственными стандартами компаний, например, MAP, Allen Bradley, Data Highway Plus, Modbus Plus или Honeywell TDC300.

Топология

Физической топологией является шина, построенная на основе логического кольца (использующая адреса), как показано на рис. 13.17.



Примечание. Узел 8 находится в режиме обхода, поэтому он не является частью логического кольца и только принимает сигналы

——▶ Логическое КОЛЬЦО

┌─■─┐ Физическая среда

Рис. 13.17. Топология маркерной шины

Устранение конфликтов

Прежде чем узел сможет передать кадр, он должен обладать маркером – ситуация аналогична описанной для кольцевой сети с маркерным доступом.

13.16. Протокол маркерной шины

Узел ожидает, пока он получит маркер, который передается по логическому кольцу от одного узла к другому. Каждый узел знает своего предшественника и своего последователя; физическое положение узлов на шине не имеет значения, главное, чтобы все узлы читали все сообщения. Маркер передается от меньшего адреса к большему.

При инициализации каждый узел выставляет сообщение на шину, требующее маркера. Успеха достигает узел с наивысшим адресом. После этого начинается процедура, описанная в разделе «Добавление узлов», необходимая для настройки логического кольца и последовательной передачи маркера.

Если узел хочет передать сообщение, он может задержать символ в течение предопределенного времени и передать столько кадров, сколько необходимо, но только в течение отведенного времени. Если узел заканчивает передачу до окончания отведенного времени, то он должен сразу сгенерировать новый маркер и передать его следующему узлу логического кольца. Такая схема полезна для промышленных коммуникационных сетей, поскольку максимальное время, которое узел должен ожидать перед отправкой сообщения, известно.

Сообщениям может быть назначен один из четырех классов приоритетов, при этом первым всегда передается сообщение с наивысшим приоритетом. Это означает, что во время напряженного сетевого трафика сообщения с низким приоритетом будут задерживаться. Время обхода маркера увеличивается, поскольку каждый узел имеет тенденцию удерживать маркер в течение максимального времени, чтобы уменьшить количество невыполненных заданий.

Сообщения могут передаваться ко всем узлам сразу или к группе узлов.

Кадр данных

Структура кадра данных маркерной шины представлена на рис. 13.18.

Это поле позволяет приемнику контроллера доступа к среде синхронизироваться с кадром.

Начальный разграничитель

Это поле указывает на начало кадра и содержит неинформационные символы.

Управление кадром

Преамбула	Начальный разграничитель	Управление доступом	Адрес назначения	Адрес источника	Информация	Контрольная последовательность кадра	Конечный разграничитель
От 0 до n байтов	1 байт	1 байт	2 или 6 байтов	2 или 6 байтов	От 0 до 819 байтов	4 байта	1 байт

Рис. 13.18. Кадр данных маркерной шины

Поле преамбулы

Это поле позволяет отличать обычные кадры данных от кадров управляющего протокола (MAC).

Адрес назначения

Он может иметь длину 16 или 48 битов - это зависит от конфигурации системы. Адрес должен иметь одинаковую длину для всех узлов. Узел с этим адресом будет считывать данные. У адресов отдельных узлов младший бит (LSB) установлен в 0; у групповых адресов младший бит установлен в 1. При передаче сообщения для всех узлов все биты адреса установлены в 1.

Адрес источника

Он может иметь длину 16 или 48 битов – это зависит от конфигурации системы. Адрес должен иметь одинаковую длину для всех узлов.

Данные

Это поле является реальным сообщением и может иметь длину до 8191 байта.

Контрольная последовательность кадра

Это поле содержит 32-битовое значение, необходимое для контроля за ошибками с помощью циклического избыточного кода. Контрольное значение вычисляется для всего кадра, за исключением преамбулы, **начального и конечного разграничителей**.

Конечный разграничитель

Является индикатором окончания кадра и кодируется одинаково с начальным разграничителем.

Добавление узлов

Протокол содержит механизм для автоматического добавления узлов, когда они появляются на линии. С регулярными интервалами текущий держатель маркера посылает запрашивающий контрольный кадр, содержащий его собственный адрес и адрес узла, который числится его предшественником. При этом возможны три варианта:

- в течение отведенного периода ответа нет, что сигнализирует о том, что между передающим узлом и его последователем нового узла нет. Узел, как обычно, передает маркер своему следующему соседу.
- новый узел передает сообщение, давая свой адрес, как адрес нового следующего соседа. Узел, который инициировал запрос, обновляет свой список, чтобы сделать новый узел своим следующим соседом и передает ему маркер.
- два или большее количество узлов пытаются передать сообщение, указывающее на то, что они являются новыми узлами. Тогда следует процедура

арбитража, которая определяет адреса и логические назначения. При этом будет также разрешена проблема двух узлов с некорректно установленными одинаковыми адресами.

Поскольку на добавление узлов может потребоваться некоторое время, то его необходимо производить тогда, когда загрузка сети не слишком велика.

Удаление узлов

Если узел должен отключиться от сети, он ждет маркера, затем передает рекомендательное сообщение к своему предшественнику, давая ему адрес следующего узла. Тогда предшественник будет передавать следующие маркеры по адресу, оставленному последователем, а узел может отключаться от сети.

Отказ узла

Когда узел передает маркер, он ожидает ответа от своего последователя и действует следующим образом:

- если в течение отведенного периода времени передачи нет, узел снова посылает маркер.
- если ответа все равно нет, то последователь, по-видимому, не работает, и узел посылает общий запрос, чтобы определить последователя функционирующего узла. Если он отвечает, то передающий узел удаляет **неработающий узел из своего списка и заменяет его новым последователем**; затем он передает маркер.
- если ответа так и нет, узел предпринимает еще одну попытку. Если ответа по-прежнему не будет, то узел попытается создать новое логическое кольцо путем опроса всех активных узлов.

Требования к аппаратному обеспечению

Компоненты аппаратного обеспечения для узла маркерной шины показаны на рис. 13.19.

Для организации сети на основе маркерной шины используется коаксиальный широкополосный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом. Часто используется четырехжильный экранированный кабель, вокруг которого находятся следующие слои: фольга, оплетка, фольга, оплетка и диэлектрик, являющийся мерой защиты от окружающей среды.

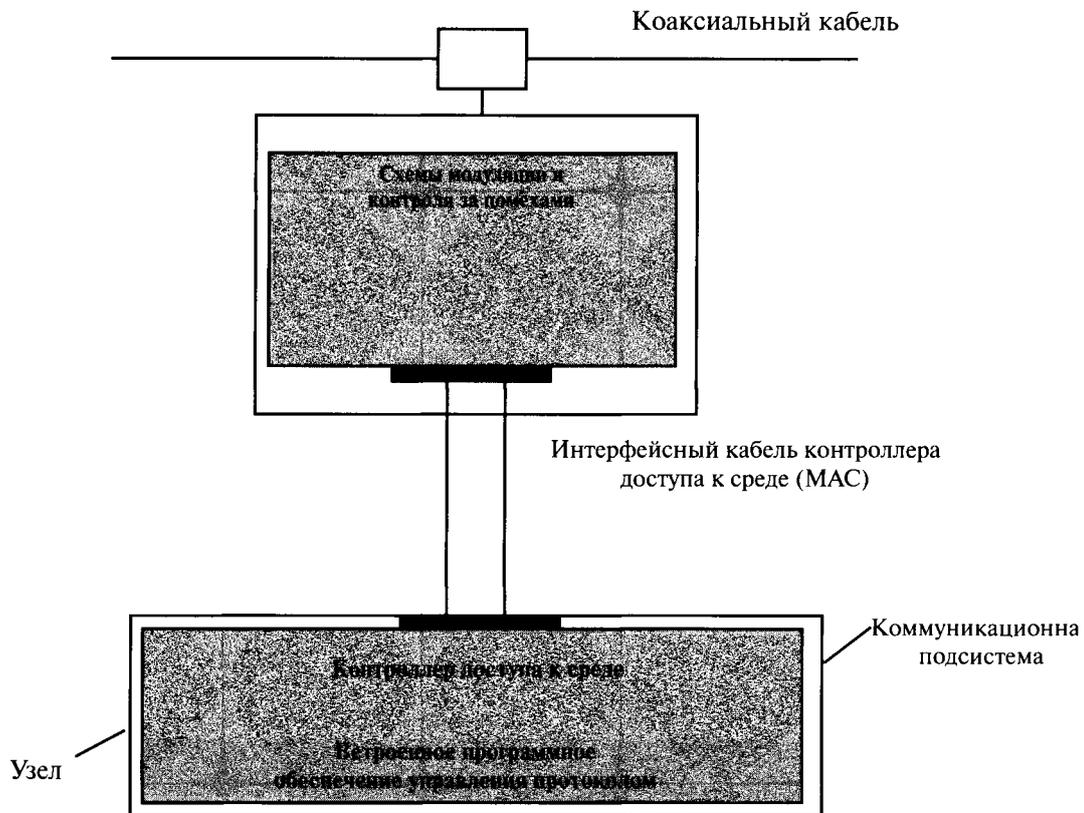


Рис. 13.19. Аппаратное обеспечение маркерной шины

Отдельные сегменты кабеля соединяются с помощью коаксиальных F-разъемов

Некоторые виды маркерной шины в качестве передающей среды используют оптоволокно. При этом реализуется звездообразная конфигурация, в центре которой может быть узел (активная звезда) или соединитель (пассивная звезда). В конфигурации на основе активной звезды каждый узел осуществляет передачу центральному узлу, который затем передает это сообщение всем остальным подключенным узлам.

При использовании пассивной звезды соединитель, или ридиректор, создается путем сплавления оптических волокон, поступающих от каждого узла. Это сплавление создает такие пути между всеми узлами, что передача от одного узла автоматически достигает всех остальных узлов.

13.17. Межсетевые подключения

Во многих случаях локальные сети необходимо подключать к другим сетям. Например, компания, имеющая офисы в каждом столичном городе, будет иметь локальные сети в каждом городе, которые обычно соединяются с помощью глобальной сети. Сообщения можно передавать к узлам любой локальной сети, при этом пользователям будет казаться, что существует просто одна большая сеть. Однако в зависимости от скорости звеньев глобальной сети операции между удаленными локальными сетями могут быть значительно медленнее, чем между узлами одной локальной сети.

Для подключений внутри сети и соединения сетей используется различное оборудование, которое описывается в следующих разделах.

Повторители (репитеры)

Повторитель используется для соединения двух сегментов одной локальной сети; он просто ретранслирует приходящие сигналы. Повторитель также осуществляет контроль за конфликтами. Каждый из удаленных сегментов может иметь повторитель между разными типами сегментов, например между коаксиальным и оптоволоконным кабелем. На рис. 13.20 показано использование повторителей в локальной сети Ethernet.

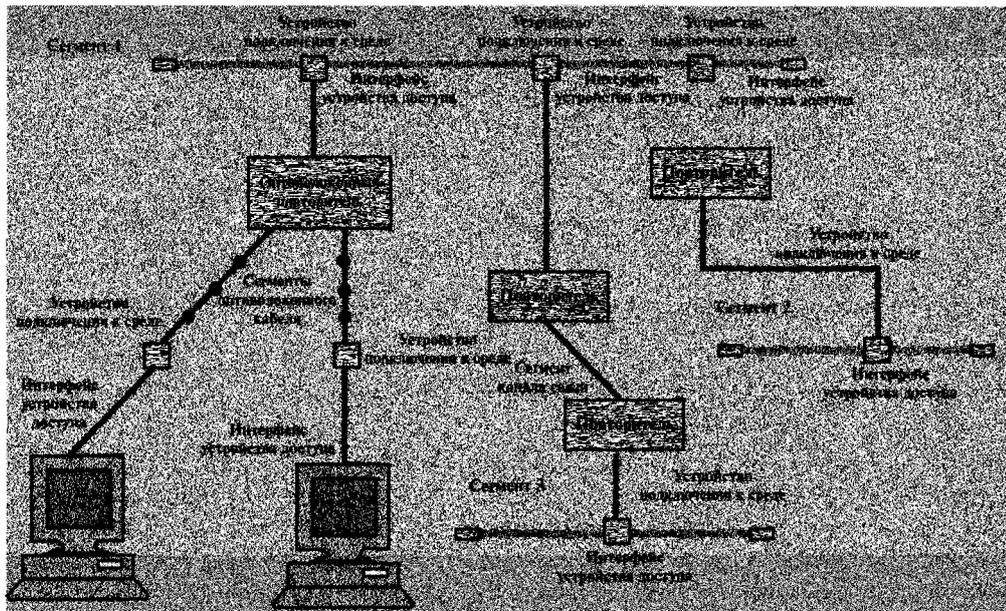


Рис. 13.20. Использование повторителей

Мосты

Мост соединяет две сети или два сегмента одной сети. Для каждой из сторон он действует как узел. На каждом конце должен использоваться одинаковый протокол канального уровня, хотя физическая среда может быть разной.

Мосты являются более интеллектуальными устройствами, чем повторители, и имеют программное обеспечение, которое позволяет отбрасывать помехи и усеченные пакеты. Самые распространенные мосты обычно сохраняют списки адресов, поэтому они ретранслируют только те пакеты, которые адресованы другой стороне. Кроме того, они обычно имеют алгоритмы самообучения, которые позволяют им создавать и сохранять полные списки адресов, реагирующих на изменения в сети. Разделение сети с помощью таких мостов может привести к значительному уменьшению интенсивности трафика.

Другим примером использования мостов является расширение сети. Две полностью укомплектованные сети (т.е. подключено максимальное количество узлов и сегментов) могут быть соединены мостом, в результате чего получится одна большая сеть. Фактически она будет более эффективной, чем одна эквивалентная сеть, поскольку мост обеспечивает передачу только необходимых сообщений на одну или другую сторону.

Коммутаторы

При использовании обычного хаба все порты соединены между собой и, следовательно, все пользователи, соединенные с этим хабом, разделяют одну имеющуюся полосу частот. Любой трафик, проходящий через этот порт, будет «виден» всеми пользователями, подключенными к хабу.

С другой стороны, **коммутирующий хаб (или коммутатор) только передает** дальше каждый пакет к соответствующему порту, определяемому содержащейся в заголовке адресной информацией. Таким образом, коммутатор действует как многопортовый мост.

Преимущество использования коммутатора для взаимного подключения нескольких локальных сетей заключается в том, что каждая локальная сеть сохраняет свою полную полосу пропускания, но в то же время обеспечивает коммуникацию между всеми главными устройствами.

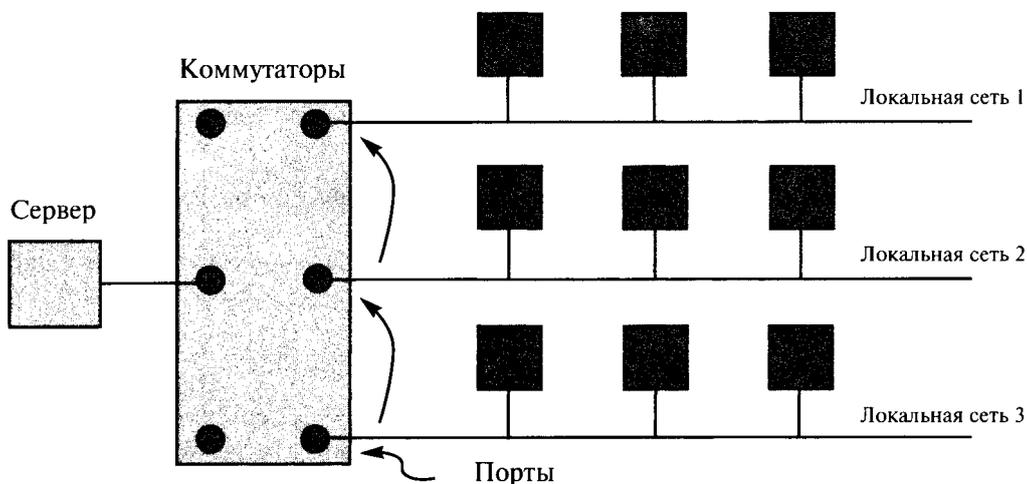


Рис. 13.21. Использование коммутаторов

Маршрутизаторы (роутеры)

Маршрутизатор передает данные между сетями, которые имеют одинаковые протоколы сетевого уровня (например, TCP/IP), но не обязательно одинаковые физические и канальные протоколы. Маршрутизаторы поддерживают таблицы адресов в сетях, к которым они подключены, и передают каждый пакет к соответствующей сети, в зависимости от его адреса назначения.

Когда пакет поступает на одну сторону, маршрутизатор, в случае необходимости, транслирует канальный протокол и затем посылает пакет к следующему узлу маршрута. Рисунок 13.22 иллюстрирует использование маршрутизаторов.

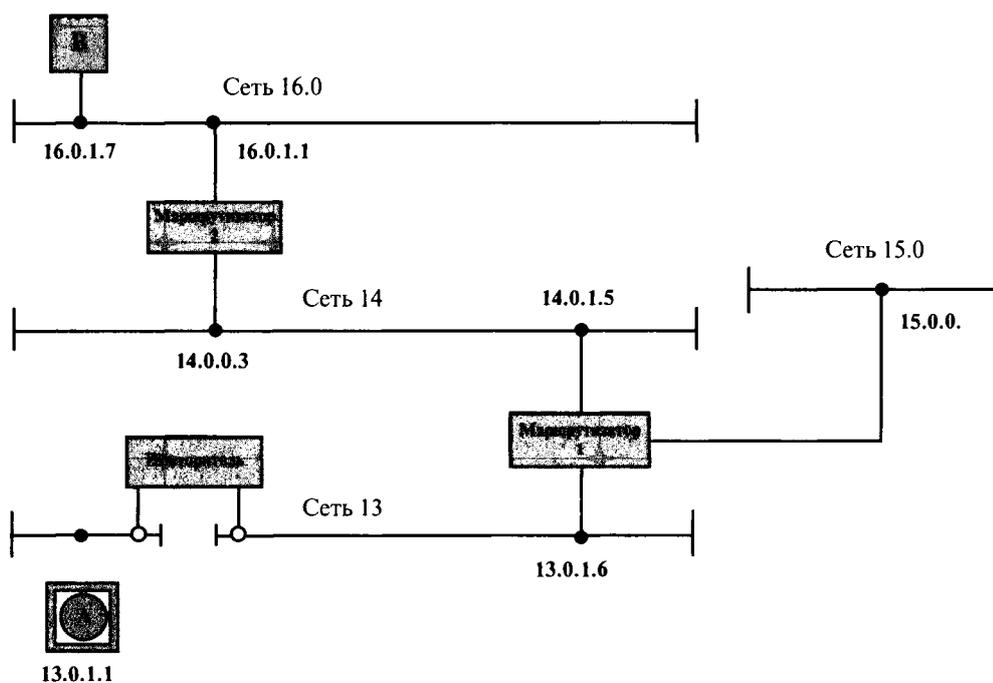


Рис. 13.22. Использование маршрутизаторов

Шлюзы

Шлюз может соединять совершенно разные сети и может потребоваться для трансляции всех семи уровней протоколов OSI. Таким образом, шлюзы имеют наибольшие служебные издержки и самую низкую производительность из всех устройств для соединения сетей.

13.18. Сетевые операционные системы

В этом разделе книги рассматриваются особенности сетевых операционных систем (NOS) и их связь с моделью OSI. Здесь также рассматриваются архитектуры различных систем и связанные с ними протоколы и, наконец, кратко описываются некоторые коммер-

ческие сетевые операционные системы. Хотя здесь не рекомендуется ни одна из сетевых операционных систем, но зато производится их сравнение с академической точки зрения.

В главе 9 было показано, что передача данных между любыми двумя системами может быть описана с использованием эталонной модели взаимодействия открытых систем (OSI/RM), предложенной Международной организацией по стандартизации (ISO). Эта модель закладывает базу, на основе которой может быть реализовано взаимодействие сетей. Модель описывает требования к различным логическим объектам, которые взаимодействуют друг с другом, но которые могут быть реализованы отдельно. Детали реализации содержат соответствующие протоколы.

Когда производители или поставщики программного обеспечения реализуют эти протоколы, результатом является операционная среда, которая делает всю сложность конкретной системы или взаимного соединения незаметной для пользователя.

Сетевая операционная система является программным обеспечением, необходимым для интеграции различных компонентов сети в единый объект, к которому имеет доступ пользователь. Она управляет ресурсами, составляет расписания для различных служб и старается обеспечить каждому пользователю сеанс связи без ошибок. Проще говоря, сетевая операционная система является менеджером сетевых ресурсов.

В идеальном случае пользователю нет необходимости знать о деталях соединения или о механизме, посредством которого выполняются различные процедуры. Например, чтобы скопировать файл 1 в файл 2, оба находящиеся на одном и том же физическом носителе (например, диске), необходимо набрать команду:

```
copy file 1 file2
```

Однако в случае различных физических дисков или томов может потребоваться в каком-либо виде указать адреса источника и назначения, чтобы их понял интерпретатор команд. Например, в операционной системе MSDOS файл может быть скопирован с одного диска на другой с помощью следующей команды:

```
copy c:myfile.dat a:yourfile.dat
```

Отсюда следует, что если источник и место назначения имеют уникальные адреса, то не имеет значения, к какой машине каждая среда физически подключена. Можно сделать так, что любой ресурс, подключенный к любому компьютеру сети, будет казаться общим, и способ достижения этого ресурса будет прозрачен для пользователя. Вот для чего обычно используется сетевая операционная система. Она представляет рабочую среду, в которой любой зарегистрированный пользователь может использовать ресурсы сети так, как если бы они были подключены к локальному узлу.

Итак, сетевая операционная система расширяет функции обычной операционной системы. На отдельном локальном компьютере операционная среда обеспечивает рабочую среду, которая производит следующее:

- управляет файлами;
- управляет памятью компьютера;
- управляет периферией, подключенной к компьютеру;
- управляет работой программ;
- осуществляет некоторые служебные действия.

Дополнительная функциональность обеспечивается при использовании более сложной аппаратной платформы, при этом и сами операционные системы становятся более сложными.

Кроме того, сетевая операционная система управляет коммуникациями между компонентами сети. Это может быть достигнуто двумя способами. Либо локальные ресурсы управляются локальной операционной системой, а управление коммуникациями производится с помощью дополнительных модулей, либо управление локальными и сетевыми ресурсами производится как интегрированным окружением.

Поскольку многие производители начали предоставлять сетевые службы до внедрения стандарта OSI/RM, то подходы, разработанные для удовлетворения сетевых нужд промышленности, оказались совершенно разными или даже несовместимыми. Однако большинство поставщиков позволяет реализовать большинство современных подходов, тем самым обеспечивая взаимозаменяемость устройств, хотя сейчас имеется тенденция к принятию однородного подхода на основе модели OSI/RM.

13.19. Сетевые архитектуры и протоколы

Хотя на рынке существует множество сетевых операционных систем Novell и Windows NT, наиболее распространены три следующие сетевые архитектуры:

- OSI/RM.
- TCP/IP.
- SNA.

Протокол управления передачей/протокол интернет (TCP/IP)

Этот протокол является результатом работы Министерства обороны США, изначально начатой для создания глобальной сети, соединяющей различные региональные сети или отдельные компьютеры. В этом смысле протокол является моделью открытой системы. Архитектура основана на четырехуровневой модели:

- Прикладной уровень.
Сюда входит сеансовый уровень, уровень представления и прикладной уровень модели OSI.
- Уровень служб (связь главных устройств).
Представляет транспортный уровень модели OSI.
- Уровень межсетевых обмена.
Представляет транспортный уровень модели OSI.
- Уровень сетевого интерфейса.
Представляет физический и канальный уровни модели OSI.

На рис. 13.22 показано, как протокол TCP/IP связан с моделью OSI/RM. Можно видеть, что хотя требования к коммуникации одинаковы, но классифицируются они для разных архитектур по-разному. Поэтому для разных архитектур точное соответствие уровней определить невозможно.

Вследствие поддержки Министерством обороны США, а позднее Национальным научным фондом, протокол TCP/IP стал фактически стандартом открытых систем. Он широко используется в интернете и поддерживается многими производителями PLC, предназначенных для промышленных целей.

Системная сетевая архитектура (SNA)

Системная сетевая архитектура также разделяется на уровни, аналогичные модели OSI/RM. SNA является частью философской концепции корпорации IBM, которая заложила основу для развития коммуникации данных для своих продуктов. Охват SNA настолько широк, что ни один из продуктов не реализует всю архитектуру. Каждый из продуктов реализует только те элементы SNA, которые относятся к функциям данного продукта. Поскольку SNA имеет уровневую архитектуру, то интеграция всех этих продуктов с целью образования сети сводится только к их правильной конфигурации.

Уровни SNA описаны ниже.

- **Уровень конечного пользователя.**
Описывает требования конечного пользователя коммуникаций и во многом похож на прикладной уровень OSI.
- **Уровень функционального управления.**
Описывает все требования трансляции в смысле кодирования или форматов файлов, а также их управление; этот уровень функционально эквивалентен уровню представления OSI.
- **Уровень управления потоком данных.**
Занимается вопросами управления соединения одного узла с другим/сеансом.
- **Уровень управления передачей.**
Описывает подробности передачи данных от узла к узлу, например надежность и целостность передачи.
- **Уровень выбора маршрута.**
Характеризует формирование пакетов информации и их маршрутизация по сети; узел функционально эквивалентен взятым вместе транспортному и сетевому уровням OSI.
- **Канальный уровень.**
Аналогичен канальному уровню OSI.
- **Физический уровень.**
Описание деталей физической среды, как и в OSI.

Когда архитектура SNA впервые была представлена на рынке, она имела только пять уровней и не имела уровня конечного пользователя и физического уровня. Это было потому, что все традиционные операционные системы универсальных вычислительных машин обеспечивали интерфейс пользователя, как часть окружения, а все требования к коммуникации описывались без их учета. Кроме того, поскольку IBM имела собственные сетевые стандарты, в которых описывались детали физической

среды, то дополнительных уровней не было. Однако позже была предложена семи-уровневая интегрированная модель SNA, которая и была принята за стандарт. Другим поставщикам оставалось только мириться с этим и под давлением рынка им пришлось обеспечить для SNA возможность соединения.

В то время как OSI/RM является только моделью функционирования, SNA является действующей моделью, а также реализованным частным стандартом. Она динамически развивается с учетом всех достижений в области сетей. Результатом такого развития стал усовершенствованный интерфейс связи между программами (APPC), который был разработан главным образом для расширения возможностей распределенной среды.

13.20. Сетевые операционные системы

NETBIOS и NETBEUI

NETBIOS является интерфейсом, протоколом верхнего уровня, разработанным IBM. Он обеспечивает стандартный интерфейс для нижних уровней сети и функционально охватывает три верхних уровня (сеансовый, презентаций и прикладной) эталонной модели OSI.

При обмене данными NETBIOS может также быть программным интерфейсом приложения (API). Он снабжает программистов доступом к ресурсам для установления связи между двумя машинами или между двумя приложениями одной машины.

NETBIOS обеспечивает выполнение четырех типов функций.

- поддержка названий, необходимая для создания и проверки групп и отдельных имен (аппаратные или символические имена).
- поддержка дейтаграмм, необходимая для коммуникаций без установления соединения.
- поддержка сеансов, необходимая для соединений, ориентированных на соединение.
- общие службы (например, сброс состояния адаптера, отмена прикладных команд и т.п.).

NETBEUI (расширенный базовый сетевой интерфейс пользователя) является протоколом, первоначально разработанным для использования на кольцевых сетях с маркерным доступом компанией IBM. NETBEUI может связываться со стандартными протоколами (IEEE 802.2 LLC) нижних уровней.

NETBEUI может использоваться в стеке протоколов вместо TCP/IP или SPX/IPX. Он быстрее, чем TCP/IP или SPX/IPX, и идеально подходит для небольших локальных сетей, но, к сожалению, не использует маршрутизацию.

SPX/IPX

Сейчас главная доля коммерческого рынка локальных сетей принадлежит компании Novell со своими продуктами NetWare. Сравнение компонентов SPX и IPX NetWare с OSI/RM приводится на рис. 13.23.

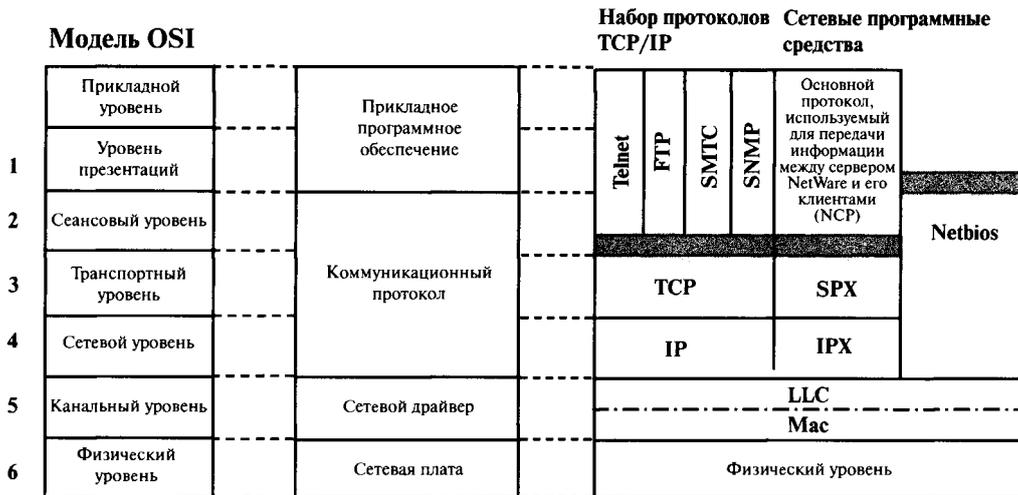


Рис. 13.23. Сравнение NetWare с OSI/RM

Ваньян вайнес

В отличие от других поставщиков компания Banyan решила реализовать свою сетевую операционную систему на популярном ядре UNIX.

Сетевые операционные системы компании IBM

IBM поддерживает несколько сетевых технологий своей программой PC LAN и OS/2 LAN Server.

Сетевой менеджер 3Com

Компания 3Com взяла за основу своей сетевой операционной системы сетевой менеджер Microsoft.

Сетевая операционная система от Microsoft

Microsoft представила несколько замечательных продуктов в области сетевых операционных систем, такие как Windows for Work Group, Windows NT, Windows NT Advanced Server и Windows 95/98.

Итог

Функция сетевой операционной системы заключается в обеспечении среды, в которой компьютерные системы связываются независимо от различий в аппаратном или программном обеспечении, имеющихся в локальных узлах. Развитие международных стандартов привело к тому, что создание модели OSI/RM повлияло на всех больших игроков сетевого рынка, и рынок потихоньку склонился в пользу общего стандарта. Поэтому на сегодняшнем рынке локальных сетей многими игроками, а именно Novell, Banyan, 3Com, Microsoft и IBM, приняты интегрированные подходы.

Лекция 14

Беспроводные сети систем управления.

Беспроводные сети в последние годы находят все большее применение в распределенных системах управления. Стандартизация сетей, унификация и большой выбор сетевого оборудования, высокое качество связи и высокая скорость передачи информации, надежная защита от несанкционированного доступа, широкий диапазон охвата территории, интеграция с проводными промышленными сетями, простота обслуживания и, конечно, отказ от дорогостоящих кабельных сетей — основные причины широкого использования беспроводных технологий связи [6.18-6.29].

Беспроводные сети подразделяются в зависимости от признаков:

- по способу обработки информации — на аналоговые и цифровые;
- по местонахождению абонентов — на подвижные (мобильные) и неподвижные (стационарные);
- по ширине полосы передачи данных — на узкополосные, широкополосные и сверхширокополосные;
- по территориальной протяженности — на персональные, локальные, региональные (городские) и глобальные;
- по виду передаваемой информации — на системы передачи голоса, видео и данных.

Беспроводные сети широко применяются для мониторинга и управления удаленными объектами, которые характеризуются следующими особенностями:

- удаленные объекты могут быть необслуживаемыми, т. е. на этих объектах отсутствует постоянный обслуживающий персонал;
- доступ этих объектов к кабельным трассам затруднен или отсутствует;
- объекты характеризуются жесткими условиями эксплуатации (повышенная влажность, большой диапазон температур, сильные электромагнитные поля и т. п.);
- объекты могут быть мобильными²;
- объекты имеют ограниченный объем данных для контроля и управления.

- Новой тенденцией применения беспроводных сетей является создание беспроводных приборов контроля температуры, давления, расхода и др. Беспроводные решения Smart Wireless от компании Emerson Process Management позволяют передавать значения параметров от беспроводного датчика температуры Rosemount 648 или беспроводного датчика давления Rosemount 3051S в беспроводную сеть к беспроводному шлюзу 1420. Питание беспроводных приборов осуществляется от искробезопасного модуля питания и, таким образом, эти приборы могут устанавливаться во взрывоопасных средах. Собранные шлюзом 1420 данные передаются по проводным линиям связи (Ethernet, RS-485) к рабочей станции или ПЛК.

К организациям, участвующим в разработке стандартов беспроводных сетей, относятся: Международный телекоммуникационный союз (ITU — International Telecommunications Union), Международная организация по стандартизации (ISO), созданная на базе Международной электротехнической комиссии (IEC — International Electrotechnical Commission), Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE — Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Беспроводные системы связи делят на системы первого поколения, второго (2G), третьего (3G) и четвертого (4G). Системы первого поколения представляли собой системы с аналоговыми каналами. Сетью первого поколения в СИ 1Л была

сеть *AMPS (Advanced Mobile Phone System* — усовершенствованная система мобильной телефонной связи). Для этой сети были выделены две полосы частот по 25 МГц: (869-894 МГц) — для передачи сигналов от базовой станции до мобильных устройств (прямой канал) и (824-849 МГц) — для передачи сигналов от мобильных устройств на базовую станцию (обратный канал). Оператору выделялось по 12,5 МГц в каждом направлении, разбитом на полосы по 30 кГц. Таким образом, оператор может поддерживать 416 каналов. Сети первого поколения эксплуатировались в различных странах в период 1983-85 гг.

К сетям второго поколения (2G) относят сети GSM, IS-136, IS-95 и др.

В конце 90-х годов компанией Bell System предложен принцип сотовой беспроводной связи, который заключается в использовании большого числа маломощных передатчиков.

Поскольку зона действия передатчика мала, общая площадь разбивается на ячейки или соты (cell), каждая со своей антенной.

Каждой ячейке выделяется своя полоса частот, обслуживаемая базовой станцией. В состав базовой станции входят передатчик, приемник и модуль управления (контроллер).

Основные достоинства сотовой связи:

- радиопомехи не связаны с расстоянием между сотами, а определяются отноше

нием расстояния между сотами с ОДНОЙ и той же частотой и радиуса соты; радиус

соты определяется мощностью передатчика и высотой антенны;

- принцип дробления соты, заключающийся в том, что при ослаблении сигнала

большая сота может быть преобразована в соты меньшего радиуса.

Для удобства графического изображения соты изображаются в виде шестиуголь-

ника (гексагональная структура) с базовой станцией в центре соты. Каждая станция соединяется проводной или беспроводной связью с коммутатором мобильной телекоммуникации MTSO (Mobile Telecommunications Switching Office) или по другим источникам с центром коммутации подвижной связи MSSC (Mobile Services Switching Center) [6.18, 6,26]. Один коммутатор обслуживает несколько базовых станций.

Между мобильным устройством и базовой станцией существуют каналы связи двух типов: каналы управления (поддержка звонка, установление связи и пр.) и информационные каналы (передача речи и данных). Включенное мобильное устройство в результате сканирования каналов выбирает наиболее мощный настроечный канал (как правило, от ближайшей к нему базовой станции). Затем осуществляется процедура квитирования для опознавания пользователя и определения его местоположения в пределах соты. Каждое мобильное устройство имеет модуль идентификации абонента SIM (Subscriber Identity Module). Дальнейший порядок соединения двух абонентов начинается с отправки номера вызываемого абонента по выбранному каналу на базовую станцию, которая в свою очередь отправляет запрос на коммутатор MTSO. Последний устанавливает связь с вызываемым, отправляя адресное сообщение той базовой станции, в зоне которой находится вызываемый абонент. При распознавании своего номера в настроечном канале вызываемый абонент оповещает свою базовую станцию, которая соединяется с коммутатором MTSO. После этого коммутатор устанавливает канал связи между базовыми станциями двух абонентов. В течение этого соединения происходит обмен речевыми сообщениями и данными двух мобильных устройств по каналу между базовыми станциями и коммутатором. При переходе абонентов в др. зоны (соты) осуществляется автоматическое переключе-

чение каналов (и базовых станций) без прерывания связи. Основным параметром при переключении является интенсивность сигнала от мобильного устройства к базовой станции.

Поскольку коммутатор MTSO подключен к коммутатору телефонной сети, то возможно установление соединения между мобильным пользователем и стационарным абонентом телефонной сети.

Методы доступа к среде передачи данных в беспроводных сетях следующие:

- множественный доступ с частотным разделением FDM (Frequency Division Multiplexing), когда каждое устройство работает на строго определенной частоте;

- множественный доступ с временным разделением TDM (Time Division Multiplexing), когда радиостанции работают на одной частоте, но в различные промежутки времени;

- множественный доступ с кодовым разделением CDM (Code Division Multiplexing),

когда все радиостанции передают сигналы на одной и той же частоте, но с разной кодировкой.

На механизме разделения каналов (CDMA — CDM Access) основаны стандарты сотовой связи IS-95a, cdma 2000 и др.). В схеме CDM передатчик заменяет каждый бит данных на CDM-символ в виде кодовой последовательности длиной 11, 16, 32, M и т. д. бит (эта последовательность называется чипом). Приемник настроен на при

ем CDM-кода передатчика, при этом сигналы других передатчиков с другими CDM-

кодами воспринимаются этим приемником как аддитивный шум. Используется метод частотного уплотнения, когда в определенной последовательности центральная частота каждого передатчика дискретно изменяется (метод частотных скачков). Приемник при этом синхронно перестраивается на частоту передатчика.

Достоинством кодового уплотнения является повышенная помехозащищенность.

Известен также метод временных скачков, при котором момент передачи пакета информации изменяется по псевдослучайному закону.

Для схемы уплотнения при TDM-доступе используются два алгоритма: фиксированное распределение центральной станцией времени начала передачи между абонентами и метод случайного доступа к сети. Усовершенствованием последнего метода является метод множественного доступа с детектированием несущей — CSMA (Carrier Sense Multiple Access). Детектирование несущей означает, что канал прослушивается устройством и если канал занят, то передатчик переходит в ждущий режим. Все устройства в этой схеме являются равноправными. Разновидностью метода CSMA является метод CSMA/CA (CA — Collision Avoidance — предотвращение конфликтов), который используется в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.11.

Применяются также методы множественного доступа с распределением по запросу DAMA (Demand Assigned Multiple Access), схемы TDMA с резервированием и др.

СЕТИ GSM

Стандарт GSM (Global Mobile System for mobile communication - глобальная система мобильной связи), введенный в 1990 г., представляет собой стандарт сотовой связи на частотах 900, 1800 и 1900 МГц. Стандарт DCS 1800 для частот 1800 МГц используется в Европе, а стандарт PCS 1900 для частот 1900 МГц — в США [6.18-6.19].

Стандарт GSM основан на технологии множественного доступа с разделением по времени TDMA (Time Division Multiple Access). Диапазон рабочих частот передачи

сигнала мобильным устройством составляет 890...915 МГц и диапазон частот приема сигнала базовой станции — 935...960 МГц. Ширина канала 200 кГц (для GSM 1800 — 1700...1785 и 1805...1880 соответственно), по 25 кГц на канал, число пользователей на один канал равно 8. В GSM 900 весь диапазон делится на 124 канала (124 канала на передачу и 124 канала на прием данных с частотным интервалом между каналом передачи и каналом приема данных 45 МГц). Канал разбит на 25 кадров длительностью 4,615 мкс каждый. Таким образом, мультикадр имеет длительность 115 мс. Кадр состоит из 8 канальных интервалов, каждый длительностью 577 мкс (тайм-слот для приема и передачи, выделенный каждой станцией). В каждом канальном интервале данные занимают объем 57 бит. Таким образом, мобильная станция передает базовой станции информацию в течение 577 мкс каждые 4,615 мс. Базовая станция связывается с мобильной станцией так же, но на частоте на 45 МГц выше (для разноса частот передачи и приема). После передачи 148 бит передатчик «молчит» в течение защитного интервала 30,44 мкс, что по времени эквивалентно передаче 8,25 бит [6.19].

Максимальное удаление мобильной станции от базовой для GSM 900 составляет порядка 35 км (для GSM 1800 до 10 км). Радиус соты в 35 км. ограничен временной задержкой распространения сигнала.

Используя GSM-модемы операторские станции могут обмениваться с контроллером, используя SMS-сообщения или прямое соединение.

К преимуществам GSM-связи относятся:

- использование SIM-карт для доступа к каналу связи с функциями идентификации пользователя;

- использование технологии SMS (Short Message Service — служба коротких сообщений) при обмене с ПК, ПЛК и сотовыми телефонами буквенно-цифровыми и текстовыми сообщениями в объеме до 160 символов;

- аутентификация абонента и идентификация абонентского оборудования и др. GSM-телемеханика обеспечивает хорошее качество связи, простоту установки

- и обслуживания оборудования, автоматический роуминг (маршрутизацию) различных сетей GSM с широким охватом территории и мобильность.

Это дает возможность безлюдного обслуживания удаленных объектов нефтегазового комплекса, тепловых пунктов, насосных станций, сетей учета энергоресурсов.

Различные фирмы выпускают промышленные контроллеры с GSM-портами для подключения GSM-модема (контроллеры Alpha фирмы *Schneider Electric*, M90 фирмы *Unitronics*, ADAM 5510/SLG фирмы *Advantech*, ТЕКОНИК фирмы Текон и др.).

⁴ Для программирования контроллеров применяются различные пакеты ПО, например: GSM Control, GPRS/WAP-Tool и GSM-Dial компании *Klinkmann*; Micro TRACE MODE GSM+ фирмы AdAstra Research Group (предустановленно в контроллеры ТЕКОНИК и ADAM 5510/SLG); SMS RTD Mobile ToolKit для встраиваемого модема COM 17035 формата PC/104 корпорации RTD (Real Time Devices); Empty Profile для модуля MM-7188 (на основе модуля I-7188) и модуля MM-7188 Ethernet компании ICPDAS [6.20-6.23].

Для объединения различных устройств в мобильную сеть GSM предназначены GSM-модемы. Применяются GSM-модемы двух типов: законченные (аппаратные) модемы с последовательным портом для связи с ПЛК или ПК (GSM-модемы *Siemens M1*, *M20T* и *TC35T*) и модульные малогабаритные модемы на печатной плате (GSM-модуль *Siemens TC35* или *Siemens MC35* на плате формата PC/104).

Ряд фирм выпускает аппаратно-программные комплексы для построения сетей GSM на общей платформе (шасси) которых размещены базовая станция, контроллер, коммутатор, модемы (например, комплекс WAVE Express компании *interWAVE Communications Inc.*).

К сетям стандартов 2-го поколения помимо GSM (900 и 1800 МГц) относятся сети

стандарта CDMA (Code Division Multiple Access — множественный доступ с кодовым разделением каналов). Спецификация IS-95 (cdmaOne) стандарта GSM использует частотный диапазон 824...840 и 869...885 МГц (интервал 45 МГц). Для увеличения скорости передачи по спецификации IS-95b разработана широкополосная сеть WCDMA. Скорость передачи в сети WCDMA до 64 кбит/с. Дальнейшим развитием спецификации IS-95 является проект cdma2000, использующий утроение спектральной полосы канала cdmaOne с частоты 1,25 до 3,75 МГц, что позволяет увеличить скорость передачи до 2 Мбит/с.

В целом по данным [6.29] 70% сетей подвижной связи в 130 странах принадлежат

сетям GSM, 15% — стандарту CDMA (IS-95), 9% — стандарту TDMA (IS-136) и 5% рынка занимают сети японского стандарта PDC. Число абонентов стандарта GSM не прерывно растет: 1995 г — 13 млн, 2000 г — 456 млн, 2003 г — 847 млн, 2007 г — более 1,5 млрд. По прогнозам специалистов данный стандарт будет определяющим в течение ближайших 5-10 лет.

К другим системам 2-го поколения относятся системы IS-136 и IS-95.

Система IS-136 использует метод доступа TDMA. Полоса частот базовой станции

составляет 869-894 МГц, мобильного устройства — 824...849 МГц. ширина канала 30 кГц, число дуплексных каналов 832, число пользователей на один канал равно 3, мощность мобильного устройства до 3 Вт.

Система IS-95 использует метод доступа CDMA. При этом методе доступа каждой ячейке выделяется полоса частот, разделенная на две части для прямого и обратного каналов. При полнодуплексной связи мобильное устройство использует оба канала. Передача данных осуществляется по схеме расширения спектра методом прямой последовательности (DSSS), при котором используется дробление кода для увеличения скорости передачи данных и расширения полосы частот. Полоса частот базовой станции и мобильных устройств аналогичны системе IS-136. Ширина канала составляет 1250 кГц, число дуплексных каналов — 20, число пользователей на один канал — 35.

Дальнейшим развитием стандарта и сети GSM стал стандарт GPRS.

СЕТИ GPRS

Стандарт GPRS (General Packet Radio Service — услуга пакетной передачи данных

по радиоканалу) или сетевая служба 2,5G. Оператор GPRS предоставляет пользователю услуги связи с расчетом исходя из объема переданных данных, а не в зависимости от времени связи, как в сети GSM. Скорость передачи данных по каналу GPRS достигает 40...115 кбит/с (с использованием GSM/ GPRS модема Siemens MC35 в режиме GPRS или GPRS-модема Siemens MC35T в режиме приема данных до 85,6 кбит/с), в то время как по GSM-каналу только 10... 16 кбит/с. GPRS-модемы могут быть постоянно подключены к сети, благодаря чему не тратится время на набор номера абонента и гарантируется передача и прием данных без задержек. Повышенная скорость передачи объясняется тем, что пакетная коммутация гарантирует быстрое установление соединения и абонент занимает канал только на момент передачи. При пакетной коммута-

ции данные передаются в интервалы, свободные от речевого трафика [6.19, 6.23].
1¹ GPRS поддерживает все основные протоколы передачи данных, в том числе Интернет-протокол IP. Без дополнительных устройств GPRS позволяет реализовать соединение через интерфейсы TCP/IP или X.25 с различными устройствами. Также GPRS позволяет осуществить многоточечную передачу данных между провайдером сети и группой мобильных GPRS-абонентов. При совместимости с GPRS/WAP возможен доступ с сотового телефона к серверу БД. Использование для доступа к данным глобальной сети Интернет позволяет получать данные и управлять удаленными объектами в любом месте и в любое время. Этим реализуется предлагаемая фирмой *Intel* концепция «обеспечения взаимодействия вычислительных и коммуникационных устройств в любом месте и в любое время между различными устройствами». Даниил концепция также стимулирует применение клиентских мобильных (карманных) ПК на базе архитектуры Intel Personal Internet Client Architecture (Intel PCA).

Структура GPRS-системы включает два основных узла — узел поддержки SGSN (Serving GPRS Support Node) и шлюз GGSN (Gateway GPRS Support Node).

В функции узла поддержки SGSN входят контроль доставки пакетов данных пользователям, проверка по реестру перечня разрешенных услуг, регистрация абонентов сети. При регистрации мобильному абоненту выдается временный номер для пакетной передачи данных. При этом местонахождение абонента определяется в зависимости от его состояния: IDLE (неработающий или отключен), STANDBY (режим

ожидания) или READY (готовность). В режиме IDLE абонент не отслеживается, в режиме STANDBY местоположение абонента известно в пределах области миршрутизации, а в режиме READY известно с точностью до соты.

В функции шлюза GGSN входит роуминг данных, поступающих к абоненту и от абонента, адресация данных, присвоение IP-адресов, тарификация услуг и др.

Система GPRS имеет несколько классов QoS (Quality of Service — качество сервиса), — приоритет, скорость обмена, степень надежности. В число сервисных функций входят также контроль параметров управления объектами за счет встроенных ПИД-регуляторов, сигнализация отклонений параметров от заданных значений, включение/отключение объектов, аппаратный WatchDog и др.

Сессия передачи по GPRS-каналу характеризуется типом протокола передачи (PDP — Packet Data Protocol), PDP-адресом мобильного абонента, адресом шлюза GGSN. При пакетной передаче данных предусмотрено два вида соединений: PTP (Point-to-Point — «точка-точка») и PTM (Point-to-Multipoint — «точка-многоточие»).

GPRS-модемы, как и GSM-модемы, выпускаются в виде законченных устройств (рис. 6.16) и в виде встраиваемых модулей. Так, модемы Siemens TC35 Terminal и MC35 Terminal поддерживают все функции сотового телефона, но с управлением не с помощью клавиатуры, а по интерфейсу RS-232. Поэтому модем может быть легко включен в любую промышленную сеть с помощью соответствующих преобразователей (например, для сети на базе интерфейса RS-485 могут использоваться преобразователи RS-232/RS-485 ADAM 4521, а для включения в сеть Ethernet — ADAM 6531 и др.).

Постоянный рост числа пользователей услуг мобильной связи по каналам GSM/CJPRS и увеличение выпуска беспроводных мобильных и карманных ПК, мобильных телефонов с поддержкой протокола WAP с доступом через Интернет к БД, различным протоколам и промышленным шинам свидетельствует о развитии в ближайшие годы GSM/GPRS-телемеханики.

Помимо стандарта GPRS к сетям 2,5G относят сети, основанные на технологиях HSCSD (скорость передачи 9,6...57,6 кбит/с) и EDGE (скорость передачи 64...384 кбит/с).

БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ 3-ГО И 4-ГО ПОКОЛЕНИЯ (3G И 4G)

Основные отличия систем 3G (Third Generation) от систем связи 2-го поколения заключаются в том, что имеется возможность передачи больших объемов информации с высокой скоростью и доступа в беспроводной Интернет.

К другим достоинствам относятся полная унификация оборудования, предоставление полного набора услуг мультимедиа через стационарную, мобильную или спутниковую системы связи, глобальный роуминг, позволяющий абоненту Пересекать границы государств, используя при обмене данными и речевыми сообщениями один и тот же номер и одно и то же мобильное устройство.

Технология 3G базируется на методе доступа CDMA (множественный доступ с кодовым разделением каналов).

Основной архитектуры является технология IP с пакетной передачей данных и оплатой за объем передаваемой информации, а не за время связи.

Системы связи 3G работают на частоте 2 ГГц со скоростью 2 Мбит/с. Существуют

два стандарта системы 3G: UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems — универсальная мобильная телекоммуникационная система) и CDMA 2000 (Code Division Multiple Access — мультимножественный доступ с кодовым разделением каналов).

Стандарт UMTS (или W-CDMA) распространен в основном в Европе, а стандарт CDMA 2000 — в США и Азии. Международный альянс ITU в программе IMT 2000 определил следующие скорости обмена данными: для быстрых мобильных абонентов (в поездах, автомобилях и пр.), перемещающихся со скоростью до 120 км/ч, — 144 кбит/с; для медленных абонентов при скорости до 3 км/ч — 384 кбит/с; для неподвижных абонентов (в помещениях) — до 2048 кбит/с.

В России в октябре 2007 г. коммерческую сеть связи UMTS запустил оператор сотовой связи «МегаФон». Лицензии на услуги 3G получили также ОАО «МТС» и ОАО «ВымпелКом».

К числу перспективных беспроводных сетей 4-го поколения (4G) относят сети со скоростью обмена до 20, а в дальнейшем и до 100 Мбит/с, которые представляют собой комбинацию сетей 2G и аналога беспроводных локальных сетей. Сети 4G позволяют получать на мобильные терминалы видеоизображения высокого качества и телевизионные программы. Данные характеристики сети связи 4G могут быть получены по прогнозам специалистов к 2010 году.

ТЕХНОЛОГИЯ WIFI (СТАНДАРТЫ IEEE 802.11 LA/B/G)

Первоначальный стандарт беспроводных локальных сетей IEEE 802.11 охватывает два нижних уровня модели ISO/OSI, а именно Physical (физический) и Data Link (канальный). В стандарте IEEE 802.2 канальный уровень разделен на два подуровня: LLC (Logical Link Control — управление логическим каналом) и MAC (Medium Access Control — управление доступом к среде). MAC подуровень описан в стандарте IEEE 802.11. На физическом уровне стандарт определяет функциональные и электрические характеристики физического соединения и скорость передачи данных. MAC уровень управляет доступом к сети, механизмом защиты и восстановления данных. Предусмотрена передача пакетов с 48-ми битовыми адресами.

Стандарт IEEE 802.11 определяет сетевую архитектуру беспроводной сети передачи данных. Каждая сота управляется базовой станцией, в зоне обслуживания которой находятся пользовательские станции. Базовые станции связаны между собой и при переходе мобильной станции пользователя из зоны обслуживания одной базовой станции в другую распределительной системой гарантируется подсоединение этой мобильной станции к сети. Механизм защиты данных предусматривает помимо кодирования данных также аутентификацию станций передачи и приема данных. Дальнейшим развитием стандарта IEEE 802.11 являются стандарты IEEE 802.11a, IEEE 802.11b и IEEE 802.11g, которые принято относить к технологии WiFi (Wireless Fidelity — беспроводная сеть высокой точности) по аналогии с HiFi. Стандарт разработан консорциумом Wi-Fi Alliance в составе 80 компаний на базе стандарта 802.11. Связь обеспечивается в радиусе 80...300 м от точки доступа. При увеличении мощности приемно-передающих устройств и антенны расстояние может быть увеличено до нескольких километров.

Стандарт IEEE 802.11a использует диапазон частот 5,15...5,825 ГГц шириной канала 20 МГц. Формирование сигнала осуществляется в частотной области методом мультиплексирования по ортогональным частотам (OFDM — Orthogonal Frequency Division Multiplexing). В зависимости от скорости кодирования передача осуществляется со скоростью 6...54 Мбит/с на расстоянии до 100 м.

Стандарт IEEE 802.11b использует частоту 2,4 ГГц со скоростями передачи до 5,5 и 11 Мбит/с.

Стандарт IEEE 802.11g также использует ту же частоту 2,4 ГГц, но скорость передачи увеличена до 54 Мбит/с. Стандарт определяет метод передачи DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum — расширение спектра методом прямой последовательности) или формирование широкополосного сигнала во временной области. Стандарт IEEE 802.11g совместим со стандартом IEEE 802.11b, т. е. использует метод OFDM и имеет скорость передачи до 54 Мбит/с.

Поскольку доступ к сети использует модель CSMA/CD, для предотвращения конфликтов стандартом IEEE 802.11 предусмотрен защитный механизм, предусматривающий перед началом работы в сети передачу «запроса на передачу» (RTS — Request To Send) и получение подтверждения «можно передавать» (CTS — Clear To Send). Механизм RTS/CTS используется в сетях по стандартам IEEE 802.11b и IEEE 802.11g.

БЕСПРОВОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ BLUETOOTH (СТАНДАРТ IEEE 802.15)

Основана на пакетном способе обмена информацией с разделением по времени в полосе частот 2,4...2,48 ГГц. Стандарт предусматривает дуплексный способ передачи, защиту данных идентификацией абонента и устройства и применяется для обмена данными на небольших расстояниях (до 100 м), например, связь беспроводных телефонов, компьютеров и др. [6.25].

Основные достоинства технологии Bluetooth: малая мощность передатчика и малое энергопотребление из-за небольшого радиуса действия; высокая помехоустойчивость; низкая стоимость. Структура устройства Bluetooth включает трансивер, контроллер связи, управляющее устройство для обмена данными с терминалом. В 2003 г. сформированы два новых стандарта — 802.15.3 (высокоскоростной) и 802.15.4 (низкоскоростной или стандарт ZigBee).

Основные характеристики радиointерфейса Bluetooth: вид модуляции - метод частотных скачков (до 1600 скачков в секунду); скорость обмена данными — 1, 2 и

3 Мбит/с; количество устройств в сети не ограничено; мощность передатчика — 100 мВт; радиус действия — 10... 100 м.

В 1998 г. компании *IBM, Intel, Toshiba* и *Nokia* сформировали группу Bluetooth SIG (Special Interest Group) для создания технологии беспроводного соединения мо-

бильных устройств, куда впоследствии вошли свыше 200 фирм. В 2001 г. вышла версия Bluetooth 1.1 (стандарт IEEE 802.15.1), в 2003 г. — версия Bluetooth 1.2 и в 2004 — Bluetooth 2.0+EDR (Enhanced Data Rate) с расширенным набором скоростей передачи данных до 1, 2 и 3 Мбит/с. Стандарт описывает пакетный способ передачи данных в диапазоне частот от 2400 до 2483,5 МГц. Используется метод расширения спектра при скачкообразном изменении частоты FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). Вся полоса частот делится на подканалы (79 для США и Европы и 23 для Испании и Франции) шириной 1МГц каждый и интервалом между частотами 140...175 кГц. Канал представляет собой псевдослучайную последовательность

скачков по 79 подканалам. Канал делится на временные сегменты по 625 мкс (слот),

каждому из сегментов соответствует свой подканал (несущая). При частотных скачках передатчик синхронно с приемником со скоростью 1600 скачков и секунду «перескакивает» с несущей на несущую. При наличии шума в канале осуществляется переход на другой канал и так до тех пор, пока не будет найден свободный от шума канал [6.19, 6.25].

Bluetooth поддерживает соединения «точка/точка» и «точка/многоточка». Два и более устройств, использующих один и тот же канал, образуют пикосеть (piconet). Одно из устройств в пикосети является основным (master), а другие — подчиненными (slaves). В одной пикосети может быть до 7 активных slaves; остальные slaveN находятся в режиме «парковки» (park), оставаясь синхронизированными с основным устройством. Несколько пикосетей образуют распределенную сеть, в которой master одной пикосети может быть slave в другой пикосети.

Стандарт Bluetooth определяет дуплексную передачу с временным разделением TDD (Time Division Duplexing). Время передачи пакетов может занимать до 5 временных сегментов по 625 мкс. Протокол поддерживает асинхронную передачу ACL (Asynchronous Connection Less), синхронную передачу SCO (Synchronous Connection Oriented) и одновременную асинхронную передачу данных и синхронную передачу голоса. Синхронные каналы SCO применяется для соединений «точка-точка» для передачи речевых сообщений со скоростью 432,6 кбит/с по интерфейсам USB, RS-232. ACL поддерживает соединения «точка/точка» и «точка/многоточка» со скоростью передачи 723,3/57,6 кбит/с в асимметричном режиме и 432,6 кбит/с в симметричном режиме. Для каждого из видов связи используются 12 типов пакетов и 4 контрольных пакета являются общими.

Каждому устройству Bluetooth присвоен уникальный 48-разрядный физический адрес. Формат пакета Bluetooth содержит код доступа (72 бита), заголовок (54 бита) и информационное поле (0.. 2745 бит). В код доступа входят биты синхронизации на основе адреса и контрольной суммы. Заголовок содержит адрес активного устройства, код типа данных, бит готовности к приему данных, бит подтверждения приема и контрольную сумму. Информационное поле содержит поле данных и поле голосовых сообщений.

Устройства Bluetooth могут находиться в трех режимах: режим Standby, режим подключения к сети и режим «парковки». В режиме Standby устройство включено и готово к работе. Из состояния Standby устройство переходит в режим сканирования адресованных ему сообщений. Приняв сообщение, устройство отправляет Мастеру

идентификационный пакет. Если устройство зарегистрировано в пикосети, Мастер посылает пакет синхронизации, а подчиненное устройство в ответ посылает подтверждение приема. После этого считается, что соединение установлено и осуществляется обмен данными.

В версии Bluetooth 2.0+EDR в режиме EDR применяется дифференциальная фазовая модуляция. В результате при базовой скорости 1 Мбит/с скорость вырастает до 2 и 3 Мбит/с. Модем стандарта Bluetooth показан на рис. 6.17.

К другим стандартам относят стандарт IEEE 802.15.3 для беспроводных сетей WPAN (частота 2,4 ГГц, скорость передачи данных 11, 22, 33, 44 и 55 Мбит/с на расстоянии до 100 м, число пользователей в сети — до 245) и стандарт ИЕКН 802.15.4 для сетей ZigBee (скорость передачи до 250 кбит/с на расстоянии до Юм). Стандарт ZigBee (Zig — зигзаг, Bee — пчела) описывает низкоскоростную сеть, разработан

ную компаниями *Invensys, Honeywell, Mitsubishi Electric, Motorola* и *Philips*. Используются 3 диапазона частот: 868,0...868,6 МГц (1 канал), 902...928 МГц (10 каналов, шаг частот 2 МГц) и 2400...2483 МГц (16 каналов, шаг частот 5 МГц). Топология сети — «звезда» и «точка/точка».

СТАНДАРТ IEEE 802.16

Дальнейшее повышение диапазона частот предусматривается в стандартах IEEE 802.16.1 (10...66 ГГц) и IEEE 802.16.3 (2...11 ГГц). Основным механизмом управления передачей и приемом данных стандарта IEEE 802.16 служат управляющие сообщения, которые регламентируют профили пакетов, управление доступом к каналу по запросу, механизмы защиты и пр. [6.19].

Для увеличения дальности передачи до сотни и более километров используются стационарные радиосети на выделенной частоте. Передача информации организуется с использованием радиомодемов, работающих на базе GSM-технологии.

В число характеристик радиосети входят: диапазон частот (900 МГц и 2,4 ГГц); шаг сетки частот (6,25; 12,5; 25 КГц и др.); потребляемый ток и рабочее напряжение; чувствительность приемника; выходная мощность передатчика; полоса пропускания.

К характеристикам радиомодема относятся скорость передачи, вид модуляции, дальность передачи. Использование радиомодемов с выделенной частотой имеет некоторые недостатки: необходимость лицензирования частоты, а при необходимости увеличения дальности связи требуется установка репитеров. К недостаткам радиоканала относят высокую стоимость приемопередающих устройств, низкую помехозащищенность и трудности в обеспечении секретности передаваемой информации.

ИНФРАКРАСНЫЙ КАНАЛ (ИК-КАНАЛ)

Инфракрасная связь IR (Infrared) Connection (стандарт IrDA 1.1) позволяет осуществить беспроводную связь между двумя устройствами, находящимися друг от друга на расстоянии до нескольких метров [6.18]. В отличие от радиоканала ИК-канал нечувствителен к электромагнитным помехам и может использоваться в производственных условиях. Различные ИК-системы позволяют обмениваться со скоростями от 115,2 кбит/с до 5 Мбит/с. В качестве передатчика используется светодиод с эффективной длиной волны $\lambda = 880$ нм, в качестве приемника — PIN-диод. Наиболее часто используется топология — шина. Недостатками ИК-канала являются достаточно высокая стоимость передатчиков и приемников, а также трудности обеспечения секретности передаваемой информации.

СВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ

Шина	Разработчик технологии	Топология сети	Физическая линия связи	Максимальное число устройств	Максимальная длина соединения	Скорость обмена
ASi	<i>ASi Consortium</i> 1993	Общая шина, кольцо, древовидная звездообразная и другие	ВП	31 подчиненное устройство	100 м, с ретрансляторами 300 м	156 кбит/с
Hart	<i>Fisher-Rosemount Inc.</i> 1985	Точка-точка, звезда, шина	ЭВП	15 (топология – шина)	Неограничено	1,2 кбит/с
Modbus RTU/ASCII	<i>Schneider Electric</i> , 1979	Общая шина, звездообразная, древовидная сеть с сегментами	ЭВП	247 узлов на сегмент	350...1200 м	75...57600 бит/с
Modbus Plus	<i>Schneider Electric</i>	Общая шина	ВП	32 узла на сегмент, не более 64 узлов	450 м на сегмент; общая длина — 1800 м	1 Мбит/с
Interbus-S	<i>Phoenix Contact</i> , 1984	Сегментированная с T-образными отводами	ВП, ВОК, контактное кольцо	512 узлов	400 м на сегмент, общая протяженность не более 12,8 км	500 кбит/с; 2 Мбит/с
DeviceNet	<i>Allen-Bradley</i> , 1994	Магистральная линия с ответвлениями (6 м)	ВП (4-х проводная) для передачи сигнала и напряжения питания	64 узла (32 устройства на один узел)	100, 250, 500 м (зависит от скорости передачи); с ретрансляторами до 6 км	125, 250 или 500 кбит/с
PROFIBUS DP	<i>Siemens</i> , 1994	Линейная, звездообразная, кольцевая	ВП, ВОК	127 узлов (124 Slave, 4 Master), 4 сегмента	До 24 км (ВОК)	12 Мбит/с (100 м), 9,6 кбит/с (1200 м)
PROFIBUS PA	<i>Siemens</i> , 1995	Линейная, звездообразная, кольцевая	ВП, ВОК	127 узлов (124 подчиненных — 4 сегмента, 3 ретранслятора) и 3 главных устройства	1900 м	31,25 кбит/с
BitBus	<i>Intel</i> , 1984	Звезда, кольцо	ЭВП	240 (28 в сегменте)	От 1,2 км до 13,2 км	500, 2400 кбит/с
Control Net	<i>Allen-Bradley</i> , 1996	Линейная, древовидная, звездообразная и их комбинации	КК, ВОК	99 узлов (с ответвителями)	1000 м (КК) 2 узла; 250 м с 48 узлами; 3 км (ВОК), 30 км (ВОК с ретрансляторами)	До 5 Мбит/с
CANopen	<i>CAN, IN Automation</i> , 1993	Магистральная с ответвлениями	ВП + дополнительная ВП для сигнала и напряжения	127 узлов	25–1000 м (зависит от скорости передачи)	125, 250, 500 и 1000 кбит/с

Шина	Разработчик технологии	Топология сети	Физическая линия связи	Максимальное число устройств	Максимальная длина соединения	Скорость обмена
Foundation Fieldbus 111	<i>Foundation Fieldbus</i> , 1995	Звездообразная или общая шина	ВП, ВОК	240 на сегмент, 65000 сегментов	1900 м	31,25 кбит/с
Foundation Fieldbus (HSE)	<i>Foundation Fieldbus</i> , 1997	Звездообразная	ВП, ВОК	IP адресация; число устройств практически неограничено	ВП — 100 м, ВОК — 2 км	100 Мбит/с
WorldFIP	<i>WorldFIP</i> , 1988	Общая шина	ВП, ВОК	256 узлов	До 40 км	31 кбит/с; 1; 2.5; 5 Мбит/с
LonWorks	<i>Echelon Corp.</i> , 1991	Общая шина, кольцо, петля, звездообразная	ВП, ВОК, силовой кабель	32000 на домен	2 км	78 кбит/с
Ethernet	<i>DEC, Intel, Xerox</i> . Ethernet — 1976; Fast Ethernet — 1995; Gigabit Ethernet — 1997	Общая шина, звездообразная	Тонкий КК, толстый КК, ВП, ВОК,	1024 узла, больше при установке маршрутизаторов	ВП-100 м., тонкий КК — 185 м., толстый КК — 500 м., одномодовый ВОК — 10 км., многомодовый ВОК — 2 км.	10 Мбит/с, 100 Мбит/с, 1000 Мбит/с
Token Ring	<i>IBM</i> , 1985	Кольцевая, звездообразная кольцевая топологии	IBM-кабель, ВП	260 (IBM-кабель), 72 (ВП)	60 км (IBM-кабель), 18 км (ВП)	4–10 Мбит/с
ARCNET	<i>Datapoint Corp.</i> , 1977	Звездообразная, общая шина, распределенная звездообразная	КК, ВП, ВОК	256 узлов	600 м (КК); 120 м (ВП); 3,6 км (ВОК)	2,5 Мбит/с