

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

К.Х. ГИЛЬФАНОВ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Учебное пособие

Казань 2014

УДК 536.01(075.8)

ББК 32.965

Г47

Рецензенты:

кандидат технических наук Казанского национального
исследовательского технологического университета *А.В. Лира*;
профессор Казанского государственного энергетического
университета *Н.К. Андреев*

Гильфанов К.Х.

Г47 Информационные сети и телекоммуникации: учебное пособие.
К.Х. Гильфанов. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. – 364 с.

Учебное пособие разработано в рамках дисциплин «Информационные сети и телекоммуникации», «Вычислительные машины и сети» профессионального цикла учебных планов по направлениям 220400 «Управление в технических системах», 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств (в энергетике)», подготовки бакалавров в соответствии с требованиями Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования. Приведены материалы по изучению промышленных информационно-вычислительных сетей.

Предназначено для студентов обучающихся по направлениям 220400.62 «Управление в технических системах», 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств (в энергетике)»

УДК 536.01(075.8)

ББК 32.965

© Гильфанов К.Х., 2014

© Казанский государственный энергетический университет, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Информационные системы и телекоммуникация являются в настоящее время той движущей силой, подобной появлению речи и письменности, которые в свое время обеспечили скачок в развитии цивилизаций. Практически не осталось сфер человеческой деятельности, которая не использовала бы возможностей современных информационных технологий на базе телекоммуникаций.

Рост информационных объемов и достижения в области микроэлектроники привели к созданию сверхскоростных процессоров, являющихся сегодня основным средством переработки и управления информацией. Информационные ресурсы стали в современном обществе важнейшей отраслью экономики, которая имеет не только социальную, но и политическую компоненты. Телекоммуникации и информационные технологии входят в состав систем автоматизации технологическими процессами и определяют наравне с другими частями надежность и эффективность управления.

Стоимость передачи данных по цифровым трактам связи снижается более быстро, чем стоимость процессоров и памяти, создает экономические предпосылки для реализации на практике в вычислительных сетях принципа упреждающего роста пропускной способности. Хранение на каждом персональном компьютере (ПК) большого объема информации становится дороже, чем ее получение из баз данных, предоставление и организация интерактивных услуг дистанционного обучения и перехода к архитектуре «клиент – сервер». Все больше становится доля «облачных» вычислений. Значения телекоммуникационных и информационных систем будут только возрастать.

Информация, которой оперируют электронно-вычислительные машины (ЭВМ), называется данными, а территориально распределенные и соединенные линиями связи вычислительные устройства (компьютеры), занимающиеся обработкой данных, в общем случае представляют собой распределенную систему обработки данных или компьютерную сеть. Линия связи – это физическая среда передачи данных: витая пара, волоконно-оптическая линия связи, коаксиальный кабель, радиолиния и т.п. Совокупность различных линий связи и каналообразующей аппаратуры представляет собой телекоммуникационную среду, обеспечивающую удаленное взаимодействие компьютеров и пользователей.

Учебное пособие разработано в рамках дисциплины Б3.В.ОД.2 «Информационные сети и телекоммуникации» профессионального цикла вариативной части бакалаврского учебного плана по направлению 220400.62 «Управление в технических системах» в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

Существенное значение дисциплины «Информационные сети и телекоммуникации» в формировании современного специалиста по направлению подготовки определяется тем, что эффективность автоматического управления во многом определяется оптимальностью и надежностью промышленной сети, являющейся важной частью системы автоматического управления.

Цель изучения дисциплин заключается в формировании знаний, умений и навыков по разработке промышленных сетей автоматизированных систем. Обучающийся в результате освоения дисциплин должен обладать следующими компетенциями:

- способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК-11);
- способностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ОК-12);
- готовностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ПК-3);
- способностью производить расчёты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием (ПК-10);
- способностью проводить техническое оснащение рабочих мест и размещение технологического оборудования (ПК-14);
- способностью выполнять задания в области сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов (ПК-25);
- способностью разрабатывать инструкции по эксплуатации используемого технического оборудования и программного обеспечения для обслуживающего персонала (ПК-32).

Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

1.1. Терминология и функции сетей

Современные телекоммуникационные технологии основаны на использовании информационных сетей. Коммуникационная сеть – система, состоящая из объектов, осуществляющих функции генерации, преобразования, хранения и потребления продукта, состоящая из пунктов (узлов) сети и линий передач (связей, коммуникаций, соединений), осуществляющих передачу продукта между пунктами. Отличительная особенность коммуникационной сети – большие расстояния между пунктами по сравнению с геометрическими размерами участков пространства, занимаемых пунктами. При функциональном проектировании сетей решаются задачи синтеза топологии. Распределения информации по узлам сети, а при конструкторском проектировании выполняются размещение пунктов в пространстве и проведение (трассировка) соединений.

Информационная сеть – коммуникационная сеть, в которой продуктом генерирования, переработки, хранения и использования является информация.

Вычислительная сеть – также информационная сеть, в состав которой входит вычислительное оборудование. Компонентами вычислительной сети могут быть ЭВМ и периферийные устройства, являющиеся источниками и приемниками данных, передаваемых по сети (рис. 1.1). Эти компоненты составляют оконечное оборудование данных – ООД (*DTE – Data Terminal Equipment*). В качестве ООД могут выступать компьютеры, принтеры, плоттеры и другое вычислительное, измерительное и исполнительное оборудование автоматических и автоматизированных систем. Собственно пересылка данных происходит с помощью сред и средств, объединяемых под названием «среда передачи данных».

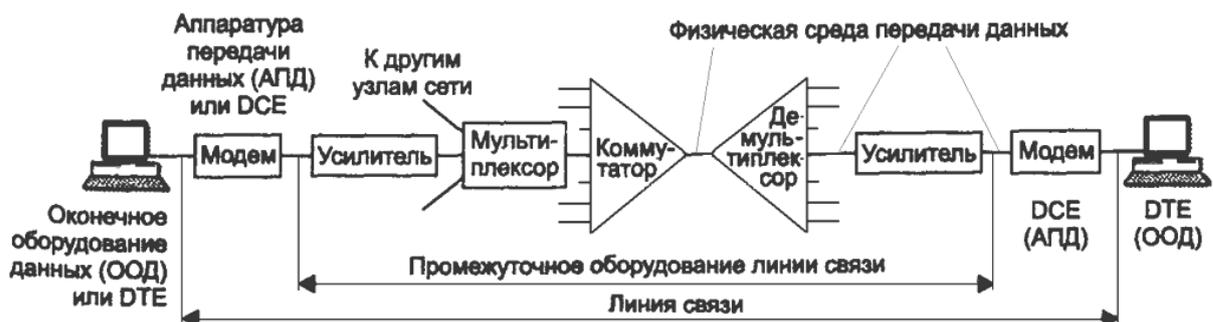


Рис. 1.1. Компоненты информационной сети

Подготовка данных, передаваемых или получаемых ООД от среды передачи данных, осуществляется функциональным блоком, называемым аппаратурой передачи данных – АПД (*DCE – Data Circuit-Terminating Equipment*). АПД может быть конструктивно отдельным или встроенным в ООД блоком. ООД и АПД вместе представляют собой станцию данных, которую часто называют узлом сети. Примером АПД может служить модем.

Архитектура сети – это совокупность принципов и правил реализации отдельных компонентов сети. Архитектура представляет собой описание модели сети, которая определяет ее основные элементы, характер их взаимодействия и топологию. Под реализацией будем понимать функциональную, логическую, структурную и физическую реализацию отдельных компонентов.

Топология сети – это расположение узлов и линий в сети, означает схему их расположения. Различают физическую и логическую топологии.

Узел – это точка пересечения линий в сети, обозначает центр коммутации в сети.

Система – это логический объект сети, представляющий собой автономную совокупность технических и программных средств (вычислительная машина, терминал, коммутатор и др.). Системы связываются между собой физической средой передачи данных. Понятия системы и узла в определенном смысле тождественны.

Интерфейс можно определить как физическую или логическую границу между двумя частями какой-либо системы, между которыми осуществляется взаимодействие в соответствии с какими-либо правилами. Интерфейс может определять электрические, физические, пространственные параметры этой границы. Интерфейс в некоторых случаях может определять структуру данных.

Процесс – это последовательность действий, которая составляет какую-то задачу. Эта последовательность определяется программой. С абстрактной точки зрения процесс – динамический объект, реализующий целенаправленный акт обработки данных. Процесс связан с определенной совокупностью данных и определенными ресурсами.

Протокол – это формальная процедура взаимодействия процессов на основе обмена данными через интерфейс. Протокол представляет собой совокупность правил взаимодействия объектов и форматов используемых данных.

Сообщение – это определенным образом форматированная совокупность символов, передаваемых в системе передачи данных. Также можно сказать, что сообщение – это порция информации (блок данных), которая с точки зрения пользователя сети передается как единое целое.

Кадр – блок данных, представляющих последовательность бит, принимаемая с физического уровня системы или передаваемая на физический уровень. Термин используется при рассмотрении процедур управления каналами передачи данных. При временном уплотнении канала кадр представляет собой полный цикл сообщений; при этом кадр состоит из последовательности интервалов времени для каждого подканала.

Пакет представляет собой блок данных, который имеет строго определенную форматную структуру, включающую заголовок, поле данных с установленным максимальным размером. Пакеты применяются в сети коммутации пакетов. В виде нескольких пакетов может быть передано одно сообщение.

Для передачи данных в сетях используются две различные процедуры доставки информации по адресам:

- маршрутизация – это процедура выбора маршрута движения информации по сети;
- селекция – это процедура отбора информации из всего потока данных по адресам их назначения.

В связи с этим различают: сети с **маршрутизацией** и сети с **селекцией информации**. Сети с маршрутизацией – это обычно глобальные сети. Они могут быть многоузловыми и одноузловыми. Сети с селекцией информации могут быть моноканальные или циклические (кольцевые). Обычно – это локальные сети.

Коммутируемая сеть – это сеть передачи данных, в которой соединение между абонентами устанавливается перед началом передачи данных и прекращается по окончании передачи. По способу коммутации информации различают сети: с коммутацией каналов, с коммутацией сообщений, с коммутацией пакетов, интегральные сети.

При **коммутации каналов** в начале передачи данных направляется управляющий блок, который задает маршрут передачи всех следующих за ним информационных блоков данного сеанса, т.е. выделяется единоличный канал для данного сеанса передачи.

При **коммутации пакетов** маршрут и используемый для передачи канал фиксируются только на время передачи данного пакета информации.

При **коммутации сообщений** они разбиваются на блоки, которые передаются отдельно. При этом способе передачи возникает проблема сборки сообщений. Дело в том, что пакеты могут двигаться по разным маршрутам и могут прибыть на станцию назначения в разное время.

В интегральных сетях передачи данных обеспечиваются все виды коммутации.

Ресурсами сети могут быть накопители информации, принтеры, файлы данных, прикладные программы.

Информационный ресурс – это программное обеспечение системы, предназначенное для выполнения информационных работ (работа с базами данных, обработка текстов и т.д.).

Среди компонентов сети можно выделить программные и аппаратные компоненты.

Программные компоненты сети включают сетевую операционную систему и сетевую оболочку. **Сетевая операционная система (СОС)** – это такая программная система, которая обеспечивает пересылку данных по сети и осуществляет контроль ее работы. СОС обычно размещают на серверах и мостах. **Сетевая оболочка (Shell)** – это настройка над операционной системой рабочей станции. Многие современные операционные системы сочетают возможности работы в качестве СОС и имеют встроенные сетевые оболочки (редиректоры).

Аппаратными компонентами сети могут быть **станции** сети (терминалы), среди которых различные серверы, рабочие станции, мосты, шлюзы. Кроме этого, можно выделить коммуникационное оборудование: концентраторы, коммутаторы, маршрутизаторы.

Сервер (Server) – это станция, которая обслуживает пользователей сети. Можно выделить следующие разновидности серверов:

- файловые (файл-серверы), их ресурсами являются файлы и принтеры;
- модемные и коммуникационные, обеспечивающие связь между станциями;
- факс-серверы для передачи текстов на расстояние;
- серверы электронной почты;
- серверы баз данных;
- серверы архивов;
- серверы печати и др.

Рабочая станция – это персональный компьютер, подключенный к сети, за которым работает конкретный пользователь. Разновидности рабочих станций:

- бездисковые рабочие станции;
- рабочие станции распределенной обработки информации; в таких станциях информация только обрабатывается, а берется она с файл-сервера;
- рабочие станции, работающие в среде «клиент – сервер», где рабочая станция и сервер распределяют обработку данных так, как это диктуется целесообразностью данного времени.

Мост (Bridge) – это совокупность оборудования и программных средств, позволяющая объединить несколько вычислительных сетей в единую сеть и обеспечивающая межсетевое взаимодействие.

Шлюз (Gateway) используется для обеспечения связей между сетями, обычно имеющими различные протоколы взаимодействия.

Файл-сервер – это компьютер, который обычно управляет локальной сетью. Он выделяет пользователям файлы, позволяет совместно использовать программы и данные, пересылая их через сеть. Файл-сервер ЛВС (*LAN – Local Area Network*) должен иметь по крайней мере один жесткий диск и одну сетевую интерфейсную плату. Он может представлять собой персональный компьютер или специализированное оборудование.

Функции современных вычислительных сетей и основные прикладные аспекты их использования показаны на рис. 1.2.

Основные услуги, предоставляемые ИВС (информационно вычислительная сеть), следующие:

- электронная почта;
- передача файлов;
- телеконференции;
- справочные службы (доски объявлений);
- видеоконференции;
- доступ к информационным ресурсам (информационным базам) сетевых серверов;
- мобильная сотовая связь;
- компьютерная телефония.

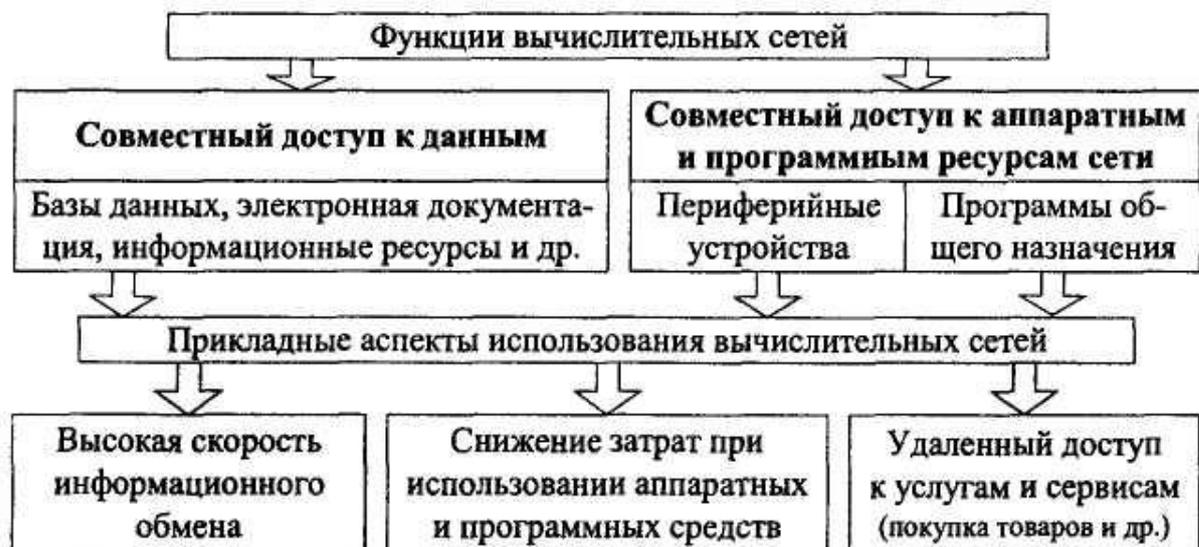


Рис. 1.2. Функции вычислительных сетей

Обмен данными в вычислительных сетях может происходить в одном из трех режимов:

- симплексном,
- полудуплексном,
- дуплексном.

При **симплексном** режиме обмена данными сигналы перемещаются только в одном направлении, например в системах контроля, в которых информация с датчиков передается в управляющий компьютер через регулярные промежутки времени; симплексный режим характерен также для вычислительных сетей с оптоволоконными линиями связи и при топологии «кольцо».

Полудуплексный режим предполагает поочередную передачу данных в противоположных направлениях, но в разное время. Ясно, в таком режиме каждый объект должен иметь возможность переключаться от состояния передачи к состоянию приема.

Дуплексный режим обеспечивает одновременную передачу данных в противоположных направлениях. Данный режим характерен для вычислительных сетей с широкополосной средой передачи данных, когда сигналы в одном направлении передаются на одной частоте, а в обратном – на другой.

1.2. Классификация информационно-вычислительных сетей

Информационные сети **классифицируются** по ряду признаков, основными из которых являются **территориальная удаленность узлов, способ коммутации данных, метод доступа к физической среде передачи данных, топологии** и др.

В зависимости от **территориальной удаленности между связываемыми узлами** различают сети:

- территориальные, охватывающие значительное географическое пространство;
- локальные – ЛВС, охватывающие ограниченную территорию (обычно в пределах удаленности станций не более чем на несколько десятков или сотен метров друг от друга, реже на 1–2 км;
- корпоративные (масштаб предприятия) – это совокупность связанных между собой ЛВС, охватывающих территорию, на которой размещено одно предприятие или учреждение в одном или нескольких близко расположенных зданиях.

Среди **территориальных** сетей можно выделить сети региональные и глобальные, имеющие соответственно региональные или глобальные

масштабы, региональные сети иногда называют сетями *MAN – Metropolitan Area Network*, а общее англоязычное название для территориальных сетей *WAN – Wide Area Network*. Исторически первыми были созданы глобальные сети.

Локальные и корпоративные вычислительные сети – это основной вид вычислительных сетей, используемых в офисах и системах автоматизированного проектирования (САПР).

Особо выделяется глобальная сеть **Internet** (реализованная в ней информационная служба *World Wide Web (WWW)* переводится на русский язык как всемирная паутина) – это сеть сетей со своей технологией. Существует понятие интрасетей (*Intranet*) – корпоративных сетей с выходом в *Internet*.

Различают **интегрированные** сети, **неинтегрированные** сети и **подсети**. Интегрированная вычислительная сеть (интерсеть) представляет собой взаимосвязанную совокупность многих вычислительных сетей, которые в интерсети называются подсетями. В автоматизированных системах крупных предприятий подсети включают вычислительные средства отдельных проектных подразделений. Интерсети нужны для объединения таких подсетей, а также для объединения технических средств автоматизированных систем проектирования и производства в единую систему комплексной автоматизации (*CIM – Computer Integrated Manufacturing*). Обычно интерсети приспособлены для различных видов связи: телефонии, электронной почты, передачи видеoinформации, цифровых данных и т.п. В этом случае они называются **сетями интегрального обслуживания**.

Развитие интерсетей заключается в разработке средств сопряжения разнородных подсетей и стандартов для их построения, изначально приспособленных к сопряжению. Подсети в интерсетях объединяются в соответствии с выбранной топологией с помощью блоков взаимодействия.

Промышленные информационно-вычислительные сети предназначены для организации обмена информацией в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП); относятся к ЛВС. В общем случае архитектура управления автоматизированных систем может быть:

- **централизованной** – управление осуществляется из единого интеллектуального пункта;
- **распределенной** – функции управления распределены в пространстве;
- **комбинированной** – имеются признаки и первой, и второй групп, причем в многоуровневых системах с горизонтальными связями возможны самые причудливые сочетания.

Централизованные системы (рис. 1.3) отличаются высокой оперативностью оптимального управления, однако при построении системы автоматизированного управления оборудованием, рассредоточенным на большой площади, с большим количеством контролируемых параметров приходится выполнять дорогостоящие монтажные работы для сбора всех инструментальных (сигнальных – с датчиков, к исполнительным устройствам) линий в единый интеллектуальный пункт – место установки контроллера. Такая архитектура не отличается высокой живучестью, так как в случае отказа длинных инструментальных линий связи или контроллера вся система выходит из строя.

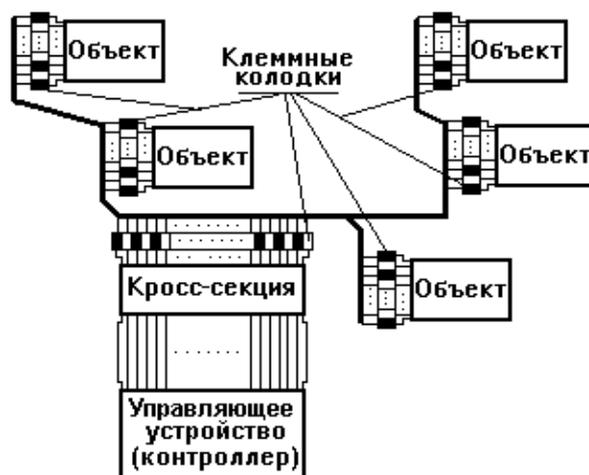


Рис. 1.3. Централизованная система управления

Выгоднее использование систем с распределенным интеллектом, где каждый отдельный объект имеет свой контроллер или цифровое устройство сопряжения (рис. 1.4). При этом в состав контроллера и каждого узла распределённого ввода – вывода вводится дополнительный модуль – сетевой адаптер или коммуникационный контроллер, который обеспечивает передачу данных по сети.

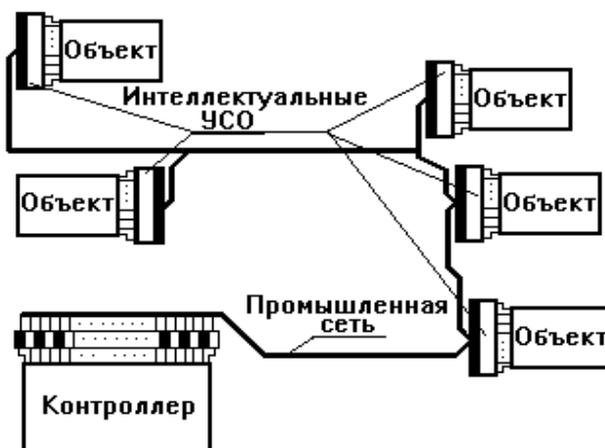


Рис. 1.4. Распределенная система управления

Количество проводных соединений в централизованной системе управления, как минимум, в два раза больше, чем в распределенной. Помимо сокращения суммарной длины сигнальных проводов автоматизированной системы управления, использование промышленных сетей обладает и другими преимуществами. Стоимость работ по установке, тестированию, вводу в эксплуатацию и сопровождению централизованной системы гораздо выше, чем у распределённой. Использование промышленной сети позволяет легко подключать дополнительные узлы распределённого ввода – вывода, т.е. обеспечивает масштабируемость АСУТП. В распределенной системе отдельные местные задачи решаются локальными контроллерами. Контур управления замыкается на нижнем уровне. Сеть позволяет контроллерам в качестве аргументов алгоритма управления использовать данные других контроллеров, обеспечивая связанность системы управления в целом. Такая архитектура существенно увеличивает производительность, надежность и модульность систем. Кроме того, применение промышленных сетей позволяет включать в состав АСУТП интеллектуальные датчики и исполнительные механизмы, реализующие локальные САУ и «разгружающие» управляющий компьютер.

Классификация сетей по способу коммутации данных. Под коммутацией данных в этом случае понимается их передача в условиях, когда доступные физические каналы передачи данных используются для обмена информацией между различными узлами вычислительной сети. Альтернативой коммутируемым каналам можно назвать выделенные (некоммутируемые) каналы, которые постоянно подключены к определенным узлам вычислительной сети. По способу коммутации данных вычислительные сети различают:

- коммутация каналов;
- коммутация сообщений;
- коммутация пакетов;
- коммутация фреймов (кадров) – *Frame relay*;
- коммутация ячеек – АТМ-технология.

В сетях с **коммутацией каналов** соединение двух вычислительных машин сопровождается монопольным использованием канала передачи данных до тех пор, пока соединение не будет разомкнуто.

Коммутация каналов представляет собой негибкую процедуру, так как продолжительность временного интервала однозначно определяет скорость передачи в канале связи, что приводит к очень низкой эффективности использования сетевых ресурсов.

В сетях с **коммутацией сообщений** создание отдельного физического канала между узлами вычислительной сети необязательно. В этом случае формируется виртуальный канал, состоящий из различных физических участков, а передача сообщения ведется по свободному в данный момент участку сети. Принципиальным моментом в сетях с коммутацией сообщений является неделимость сообщения, под которым понимается некоторая законченная порция информации (фраза, документ, изображение, файл и т.д.). Использование сетей с коммутацией сообщений оправдано в тех случаях, когда сообщения имеют небольшой размер.

Возможна ситуация, когда один пользователь, передающий большой объем информации, надолго занимает канал, а другой пользователь с небольшим сообщением длительное время будет ожидать освобождения канала связи. Для преодоления этого недостатка реализуются сети с коммутацией пакетов.

В сетях с **коммутацией пакетов** сообщение также передается по виртуальному каналу, но предварительно разделяется на пакеты, при этом канал передачи данных занят только на время передачи пакета и по ее завершении освобождается для передачи других пакетов. Такие сети имеют существенные преимущества:

1) повышается скорость передачи данных в сетях сложной конфигурации за счет параллельной передачи пакетов одного сообщения по разным участкам сети;

2) при появлении ошибки требуется повторная передача короткого пакета, а не всего длинного сообщения;

3) возможность ограничения размера пакетов позволяет использовать меньший объем буферной памяти в промежуточных узлах на маршрутах передачи данных в сети.

В зависимости от **функций, выполняемых узлами** вычислительной сети, локальные сети подразделяются на 3 типа:

- одноранговые сети;
- сети на основе сервера;
- комбинированные сети.

В **одноранговых** локальных сетях все вычислительные машины выполняют одинаковые функции, например используются только для обмена данными. Каждый узел одноранговой сети функционирует и как клиент, и как сервер, т.е. нет отдельного компьютера, ответственного за администрирование всей сети. На базе одноранговых сетей эффективно может функционировать небольшой коллектив пользователей, работающих над одним проектом. Количество узлов в такой сети не превышает десяти.

В сетях на основе сервера (сеть с выделенным сервером) один из узлов (сервер) выполняет дополнительные функции (в отличие от остальных узлов) по распределению ресурсов сети, например предоставление услуг по печати документов (сервер печати), хранению файлов (файловый сервер), обработке данных и возвращению результатов выполнения запросившему узлу и т.д. Сервер должен иметь соответствующую производительность и аппаратную конфигурацию. Сети на основе сервера имеют следующие преимущества: **разделение ресурсов, защита информации, резервное копирование данных, мощное аппаратное обеспечение.** Комбинированные сети включают сегменты одноранговых сетей и сетей на основе сервера.

Методы доступа к физической среде (*medium*) передачи данных. Под доступом к среде передачи данных понимается взаимодействие узла сети с данной средой для обмена данными с другими станциями. Управление доступом к среде – это установление последовательности, в которой узлы получают доступ к среде передачи данных. Информационные сети предполагают совместное использование узлами среды передачи данных. Например, к сетевому кабелю через соответствующие разъемы (коннекторы) подключаются узлы и, возможно, общее периферийное оборудование. Поскольку запросы на сетевые обмены у узлов появляются в случайные моменты времени, то возникает проблема разделения общей среды между многими узлами, т.е. обеспечения доступа к среде передачи данных.

Классификация локальных сетей по методам управления доступом к среде передачи данных приведена на рис. 1.5. С развитием локальных сетей будут развиваться и методы доступа, поэтому приводимый перечень далеко не полный.



Рис. 1.5. Классификация методов доступа

В современных вычислительных сетях наиболее распространенными являются два метода доступа к среде передачи данных:

- недетерминированный – метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов (*CSMA/CD – carrier sensitive multiple access with collision detection*);
- детерминированный – метод маркерного доступа.

Метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов (*CSMA/CD*) и его модификации используют большинство современных вычислительных сетей. Метод *CSMA/CD* основан на контроле несущей в линии передачи данных и устранении конфликтов, возникающих из-за попыток одновременного начала передачи двумя или более узлами, путем повтора передачи данных через случайный отрезок времени. При таком методе доступа все узлы имеют равные возможности доступа к сетевой среде, а при одновременной попытке фиксируется столкновение (коллизия) и сеанс передачи повторяется позднее. Для исключения повторного конфликта каждый сетевой интерфейс программируется на различную временную задержку перед повторной передачей данных. Метод *CSMA/CD* является широковещательным, поскольку при обмене данными каждый узел анализирует адресную часть передаваемых по сети кадров с целью обнаружения и приема кадров, адресованных этому узлу.

Метод *CSMA/CD* на практике оказался очень эффективным, при нем коэффициент использования тракта передачи достигает более 90 %. В локальных сетях, реализующих этот метод, не требуется специальных подтверждений приема отдельных пакетов для информирования отправителя о том, что посланный пакет не был искажен при передаче.

Еще одной существенной особенностью метода *CSMA/CD* является отсутствие возможности приоритетного доступа. Это затрудняет использование вычислительных сетей, функционирующих по методу *CSMA/CD*, для задач управления в **реальном масштабе времени**.

Метод маркерного доступа относится к классу детерминированных методов доступа и основан на передаче полномочий передающего узла с помощью специального информационного объекта, называемого маркером. Маркер - уникальная комбинация битов (нулей и единиц), которую распознают узлы сети. Маркер последовательно, от одного узла к другому, передается до тех пор, пока он не будет получен узлом, готовым к передаче данных. Передающий узел «захватывает» маркер, изменяет его, тем самым сообщая всем остальным узлам сети, что сеть занята, и передает данные по линии связи. Пакет с данными передается от

узла к узлу (топология «кольцо»), пока не достигнет назначенного узла. В случае успешного приема сообщения узел, получивший его, выдает передающему узлу подтверждение. После получения подтверждения передавший сообщение узел «освобождает» (создает новый) маркер.

Известны и другие методы детерминированного доступа. Так, существует целое семейство методов доступа, исключающих столкновение, основанных на мультиплексировании (уплотнении) по времени (*TDM*) или по частоте (*FDM*). В этом случае каждому узлу предоставляется временной интервал для передачи данных или отдельная полоса частот. Очевидно, что эти методы исключают конфликты в сети при передаче данных, свойственные методу *CSMA/CD*.

Еще один класс методов доступа к среде передачи данных с приоритетом основан на анализе всех запросов на передачу данных и поочередном предоставлении полномочий на передачу в соответствии с приоритетом узла.

1.3. Организации, разрабатывающие стандарты информационных сетей и телекоммуникаций

Международные организации по стандартизации обеспечивают конференции и форумы для дискуссий по различным проблемам развития информационных сетей. Результаты этих дискуссий после многократных обсуждений специалистами превращаются в официальные спецификации и протоколы. Задачей этих организаций как авторитетных органов является распространение спецификации после завершения процесса стандартизации.

Международная организация по стандартизации (*ISO – International Standards Organization*) является автором широкого диапазона стандартов, включая стандарты по сетям. Этой организации принадлежит эталонная модель *OSI/ISO* и набор протоколов *OSI (Open System Interconnection)*.

Американский национальный институт стандартизации (*ANSI – American National Standards Institute*) – член *ISO* и является координирующим органом добровольных групп по стандартизации в пределах США. Наиболее широко известным стандартом *ANSI* по коммуникациям является протокол *FDDI*.

Ассоциация электронной промышленности (*EIA – Electronics Industries Alliance*) – группа, выпускающая стандарты по передаче электрических сигналов по линиям связи. Самым известным стандартом *EIA* является последовательный интерфейс *RS-232*.

Институт инженеров по электротехнике и электронике (*IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers*) – профессиональная

организация, разрабатывающая стандарты для вычислительных сетей. Стандарты локальных вычислительных сетей, разработанные *IEEE*, являются наиболее известными и признанными стандартами во всем мире. Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (*IEEE*) является одной из ведущих организаций в области стандартизации локальных и региональных вычислительных сетей. С 1980 г. в рамках независимого Института функционирует комитет 802 (номер комитета «802» образован из даты его создания – 2 февраля 1980 года), задача которого – разработка комплекта стандартов построения вычислительных сетей. Нумерация стандартов комитета *IEEE* 802 производится в соответствии с собственной схемой. Если за цифрой следует прописная буква, то это отдельный стандарт, если же за цифрой следует строчная буква, то это дополнение к стандарту или часть стандарта, обозначаемого несколькими цифрами.

Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии – МККТТ (*CCITT – Commitee Consultatif International Telegraphique et Telephonie*) – преобразован в **Международный телекоммуникационный Союз** (*ITU – International Telecommunication Union*) – организация, разрабатывающая стандарты по связи.

Совет по регуляции работы Internet (*IAB – Internet Activities Board*) – группа исследователей по объединенным сетям, обсуждающая проблемы, относящиеся к развитию *Internet*. Этот совет определяет основную политику в области *Internet*, принимая решения и определяя суть задач, которые необходимо выполнить, чтобы решить различные проблемы. Решения этой группы содержатся в документах *RFC (Request for Comments, «Запрос для комментария»)* и являются стандартами *Internet*. Наиболее известные стандарты: *Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)* и *Simple Network Management Protocol (SNMP)*.

Европейский институт телекоммуникационных стандартов (*ETSI – European Telecommunications Standards Institute*) разрабатывает набор протоколов телекоммуникаций для мобильной связи.

1.4. Из истории известных информационных сетей

Сеть *AERONET* – информационная сеть международного сообщества связи для авиации. Это некоммерческая сеть включает более 250 авиационных предприятий. Доступ в сеть осуществляется с десятков тысяч терминалов в различных странах мира. Сеть представляет сервис, связанный с резервированием и продажей авиационных билетов.

Сеть *ARPANET* – это информационная сеть Агентства перспективных исследовательских проектов (*DARPA – Defence Advanced Research Projects Agency*) Министерства обороны США, создана в 1958 г. Первые 4 узла коммуникации сети начали функционировать в 1969 году. Создание сети *ARPANET* было ответом США на советскую программу освоения космоса. Терминалы (монитор и клавиатура), находящиеся от компьютера на расстояниях от десятка метров до сотен, а то и тысяч километров, соединялись с компьютерами через телефонные сети с помощью модемов. Такие сети позволяли многочисленным пользователям получать удаленный доступ к разделяемым ресурсам нескольких мощных компьютеров класса супер-ЭВМ.

Протоколы, стандарты, разработанные в рамках данного проекта, затем составили организационно-технологическое ядро сети *INTERNET*. Здесь впервые сообщения начали передаваться в пакетах, причем части пакета транслируются по разным информационным трассам. На приемной станции осуществляется сборка пакета и восстановление первичной информации.

Сеть *DATAPAC* – общественная коммуникационная сеть в Канаде, создана в 1977 году.

Сеть *EDSNET* – территориальная сеть, созданная корпорацией *General Motors*. Сеть начала работать в 1984 году и объединяет абонентов в десятках стран мира.

Сеть *ETHERNET* – локальная сеть созданная совместными усилиями разработчиков *DEC, Intel, Xerox* (1976 г.). Она прошла в своем развитии несколько этапов развития и была утверждена в качестве международного стандарта *IEEE*.

В 1985 г. *IEEE* принимает стандарт *ETHERNET* на толстом коаксиальном кабеле, а в 1989 г. – по тонкому коаксиальному кабелю. В самом начале 90-х гг. стандарт *IEEE 802.3i* определил, как передавать пакеты *ETHERNET* по витой паре (*10Base-T*). В 1993 г. разрабатывается стандарт *IEEE 802.3j*, определяющий порядок передачи данных в сетях *ETHERNET* по оптическому волокну (*10Base-FL*). Последующее развитие вычислительных сетей было подчинено одной главной цели – повышению скорости передачи данных.

В 1992 г. начинающая компания *Grand Junction* потрясла весь мир сетей, предложив скорость 100 Мбит/с *ETHERNET* (*FAST ETHERNET*), причем полностью совместимую с предыдущими технологиями *ETHERNET*. Как только разработки компании *Grand Junction* были стандартизированы, она тут же была «поглощена» одним из сетевых гигантов – *Cisco Systems*.

В 1998 г. принят первый стандарт *GIGABIT ETHERNET* со скоростью передачи данных 1000 Мбит/с.

Сеть *EURONET* – европейская сеть, созданная комиссией Европейского Союза и охватывающая все страны Союза. Введена в эксплуатацию в 1979 году и представляет очень широкий спектр сервиса.

Сеть *INTERNET* – глобальная международная ассоциация информационных сетей, созданная сообществом *INTERNET*. Основная задача сообщества – распространение технологий *INTERNET* и способствование объединению информационных сетей в глобальную инфраструктуру. Общество *INTERNET* не эксплуатирует суперсеть с тем же названием, но оказывает помощь в ее создании, развитии и использовании.

Оно проводит обучение по изучению сети *INTERNET*, ее эксплуатации, создает технические группы для стимулирования разработок в этой области. Общество имеет в своем составе рабочую группу *INTERNET (IETE)*. В *INTERNETe* используются 32-разрядные адреса и архитектура сети *ARPANET*, используются ее протоколы *TCP/IP*, которые образовали костяк так называемой эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС) или *OSI*. Ассоциация *INTERNET* объединяет более 16 тысяч сетей в 100 странах мира и соединена со многими другими сетями. Хребтом *INTERNET* является группа базовых сетей. К ним в США относят сеть *MBONE*, сеть *ANSnet*, а в Европе – сеть *NORUnet*, сеть *EUROPAnet* и *EUNET*. В *INTERNET* выделяются три главные сетевые службы:

- электронная почта (протоколы *SMTP*);
- протоколы передачи файлов в соответствии с протоколом *FTR*;
- удаленный доступ *Telnet*, позволяющий в режиме *ON-LINE* работать с прикладными программами;
- служба глобального соединения (*WWW*).

Вход в систему *INTERNET* осуществляется двумя способами:

- нормальный: с использованием протоколов *TCP/IP*, реализуемый при подключении к сети через локальную сеть;
- через телефонную сеть (протоколы *SMTP*).

С середины 1980 гг. появляются компании, ставших вскоре лидерами сетевого рынка: *Bay Networks*, *3Com Corporation* и *Cisco Systems*.

Современный этап развития сетевых технологий во многом связан с **беспроводными сетями**. Нестандартные решения такого типа были опробованы в начале 70-х гг. Первая сеть радио-*Ethernet* объединила компьютеры Гавайского университета на четырех островах. Несмотря на это, первый стандарт в этой области, *IEEE 802.11*, был принят только

в 1997 г. Этот стандарт определяет физический уровень, метод доступа к среде передачи данных и прочие параметры. В данном стандарте физический уровень определяется подстандартами на радиочастотные и инфракрасные излучения.

Радиочастотный стандарт предусматривает работу в полосе 2400–2483,5 МГц в соответствии с одним из двух методов. Один из методов ориентирован на **псевдошумовое кодирование информации** и использует технологию спектральной модуляции сигнала по способу «прямой последовательности» (*DSSS*). Другой метод использует **псевдослучайное скачкообразное изменение частоты** (*FHSS*). Этот метод является менее чувствительным к помехам, радиостанции дешевле и работают экономичнее, что выгоднее для мобильных станций.

Стандарт на передачу в инфракрасном диапазоне предполагает использование фазово-импульсного модулированного рассеянного излучения. Такое распространение сигналов имеет ту особенность, что излучение не может проникать через стены, но в то же время не нужна и прямая видимость, т.е. передача информации ограничивается только пределами помещения. Эта особенность имеет два аспекта: с одной стороны, ограничиваются возможности по дальности передачи данных, с другой стороны, обеспечивается конфиденциальность информации.

Контрольные вопросы

1. Какую роль выполняют сетевые информационные технологии в современном обществе и производственных процессах?
2. Дайте определения информационным и вычислительным сетям.
3. Какие особенности определяет архитектура сети?
4. Что такое интерфейс?
5. Дайте определения сообщению, кадру и пакету информационного обмена.
6. Перечислите разновидности серверов и рабочих станций.
7. Какие Вы знаете функции современных вычислительных сетей и основные прикладные аспекты их использования?
8. Дайте классификацию информационно-вычислительных сетей?
9. Какие основные услуги предоставляют современные ИВС?
10. В каких режимах может осуществляться обмен данными в вычислительных сетях?
11. Какова роль промышленных информационно-вычислительных сетей в автоматизации технологических процессов?

12. Перечислите методы доступа к физической среде передачи данных.

13. Какие организации, разрабатывающие стандарты информационных сетей и телекоммуникаций Вы знаете?

14. Как возникли первые известные информационные сети? Дайте им характеристики.

Глава 2. ЭТАЛОННАЯ МОДЕЛЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ *OSI/ISO*

Стремление создать единую, универсальную и открытую к изменениям логической и физической структур сетевую архитектуру обусловило стандартизацию уровней иерархии ПО (Программное обеспечение) сетей ЭВМ. Международная организация по стандартизации (*ISO – International Standard Organization*) предложила концепцию архитектуры открытых систем, в которой определена эталонная модель, используемая как базовая при разработке международных стандартов.

Организация обмена данными между узлами вычислительной сети является очень сложной задачей. Это обусловлено целым рядом факторов, наиболее важными из которых являются:

- различия в концепциях построения территориально распределенных вычислительных сетей;
- процесс передачи данных между узлами предполагает решение комплекса задач, таких как: способы адресации, маршрутизации (выбор маршрута доставки пакета данных), подтверждения получения данных, коррекции ошибок и множества других;
- использование в качестве среды передачи данных различных проводных (коаксиальный кабель, витая пара, оптическое волокно) и радиоканалов;
- существование множества различных сетевых архитектур (*Ethernet, Token Ring, IEEE 802* и др.) с отличающимися топологиями и методами доступа к среде передачи данных;
- использование в качестве узлов вычислительной сети вычислительных машин с разными архитектурами;
- требование обеспечения информационной безопасности в процессе обмена данными между узлами вычислительной сети.

В начале 80-х гг. Международная организация по стандартизации (*ISO*) признала необходимость создания модели сети, которая описывала

бы весь механизм межсетевого обмена данными с единых теоретических и технических позиций. Развивал эту идею, в 1984 г. появилась эталонная модель «Взаимодействие открытых систем» – ЭМВОС (*OSI, Open Systems Interconnections* чаще всего обозначается *OSI/ISO*).

Эталонная модель *OSI/ISO* быстро стала основной архитектурной моделью для передачи данных в вычислительных сетях, несмотря на то, что на момент ее появления существовали и широко применялись и другие модели. Отличительная особенность данной модели – архитектурная избыточность. Это связано с тем, что данная модель включает такие механизмы, которые многими разработчиками сетевых архитектур упрощаются или не учитываются. Именно с этим связан тот факт, что на сегодняшний день модель *OSI/ISO* и лежащие в ее основе протоколы не завоевали той популярности, которой пользуются другие действующие стандарты, например модель *TCP/IP* и др.

Тем не менее, эталонная модель *OSI/ISO* – самая полная модель архитектуры объединенных сетей, которая также является наиболее часто используемой моделью, на примере которой изучаются основы межсетевого обмена данными в современных вычислительных сетях.

2.1. Иерархия уровней модели *OSI/ISO*

Эталонная модель *OSI/ISO* условно делит задачу организации обмена данными между узлами вычислительной сети через физическую среду передачи на 7 менее крупных, но более простых задач. Одним из методов решения сложных задач является метод **декомпозиции**, заключающийся в разделении общей задачи на ряд подзадач и их решении в максимальной степени независимости друг от друга. Каждая из семи задач выбрана потому, что она относительно автономна. В соответствии с этим подходом **эталонная модель *OSI/ISO* включает 7 уровней**, т.е. каждая из подзадач по замыслу разработчиков должна решаться на одном из уровней модели.

Разбиение совокупности сетевых протоколов сетевая модель передачи данных представляет собой набор протоколов (стек протоколов) по уровням связано с попыткой унификации аппаратного и программного обеспечения, поэтому каждому из уровней сетевой модели должна соответствовать определенная функциональная программа с жестко заданными входным и выходным интерфейсами. Интерфейс определяет порядок и формат межуровневого обмена данными.

Схема организации обмена данными между двумя узлами вычислительной сети представлена на рис. 2.1.

В соответствии с моделью *OSI/ISO* исходное сообщение (например, электронное письмо) от узла № 1, подлежащее передаче узлу № 2, проходит через все уровни модели с 7-го по 1-й. Этот процесс можно представить как процесс преобразования электронного письма в электрические сигналы для их передачи по линиям связи, причем эти электрические сигналы несут в себе информацию о пункте назначения.

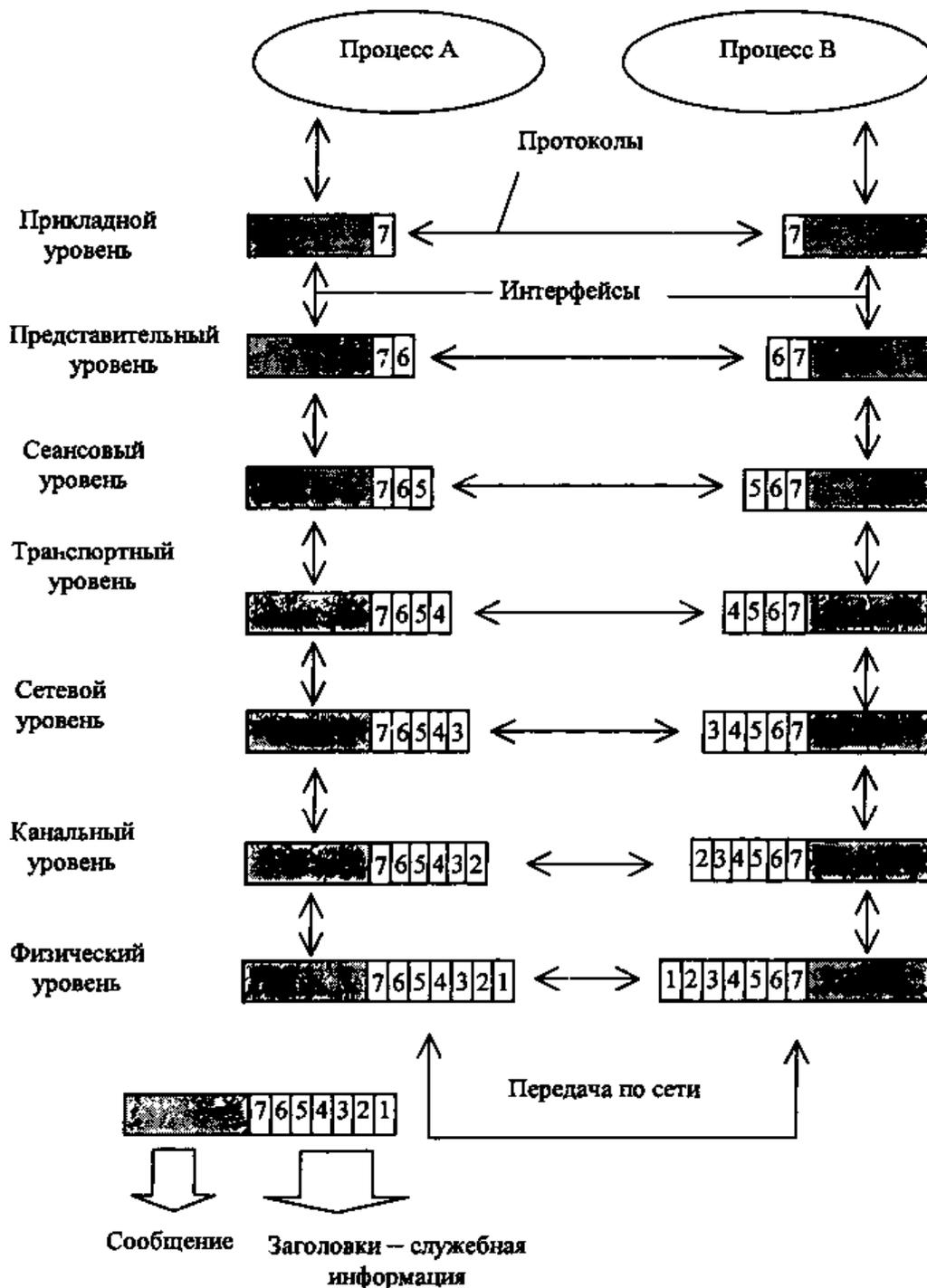


Рис. 2.1. Схема взаимодействия узлов вычислительной среды по модели *OSI/ISO*

На приемной стороне происходит обратный процесс, т.е. электрические сигналы, проходя последовательно от 1-го к 7-му уровню, преобразовываются в исходное электронное письмо.

Рассмотрим основные понятия и определения, используемые в сетевых моделях. Главным понятием любой сети является понятие **протокола**.

Протокол сетевого обмена определяет перечень форматов, передаваемых по вычислительной сети данных, последовательность и правила обработки этих данных.

Функции уровней любой сетевой модели реализуются различными аппаратными и программными средствами, которые работают по правилам протоколов соответствующих уровней.

Одной из наиболее сложных задач, решаемых сетевыми моделями, является **задача адресации** узлов вычислительной сети, каждый из которых должен иметь уникальный адрес. Проблема объединения сетей, функционирующих по разным протоколам, заключается в том, что в каждой сети используются различные способы адресации. Так, например, адресация в сетях *AppleTalk* отличается от адресации в сетях *TCP/IP*, которая, в свою очередь, отличается от адресации *OSMSO* и т.д.

В современных сетевых моделях различают два типа адресов: адреса канального уровня и адреса сетевого уровня.

Адреса канального уровня (называемые также физическими или аппаратными адресами) уникальны для каждого узла вычислительной сети. Эти адреса присваиваются производителями оборудования и размещены в схеме интерфейса (так, аппаратный адрес сетевого интерфейса стандарта *IEEE 802* представляет собой 6-байтовое число – **2F.14.22.AD.F0.7C**). В соответствии с названием адреса канального уровня используются на 2-м уровне эталонной модели *OSI/ISO*.

Адреса сетевого уровня (называемые также виртуальными или логическими адресами) используются на 3-м уровне эталонной модели *OSI/ISO*. В отличие от адресов канального уровня, которые обычно существуют в пределах плоского адресного пространства, адреса сетевого уровня иерархические. Например, IP-адрес состоит из двух частей: одна часть инициализирует номер сети, а вторая – номер узла в сети. Примером более сложной иерархии адреса является формат адреса в сетях X.25, представленный в качестве примера на рис. 2.2.

Как уже отмечалось ранее, эталонная модель описывает процедуру преобразования данных, подлежащих передаче в электрические сигналы (и наоборот), которые непосредственно передаются по физическим

каналам связи. В процессе этих преобразований на разных уровнях эталонной модели *OSI/ISO* оперируют различными понятиями, описывающими поток передаваемых данных.

Допустим, узел № 1 с помощью прикладной программы формирует сообщение. Например, следующий текст: «Изучаем эталонную модель *OSI/ISO*».

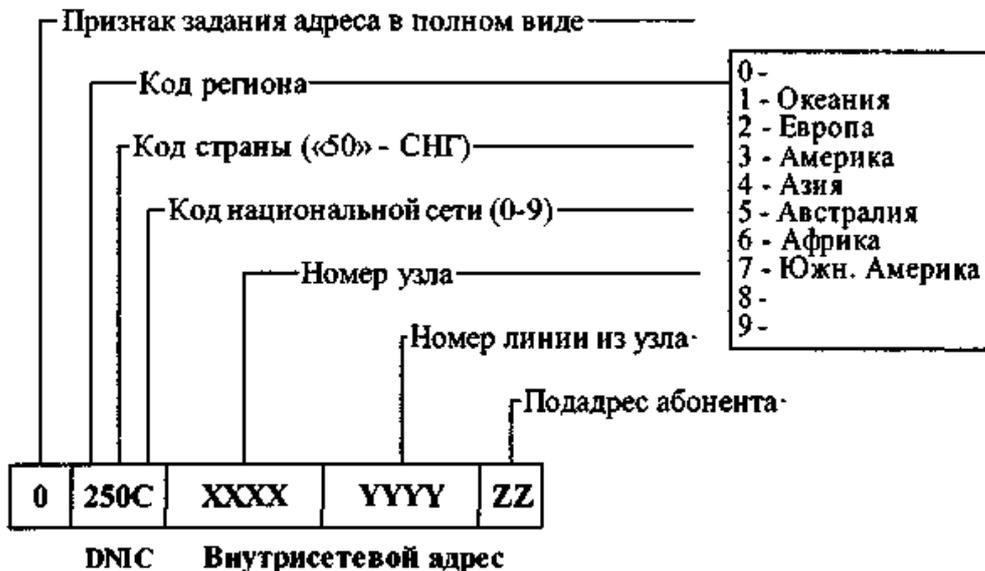


Рис. 2.2. Структура сетевого адреса в сетях стандарта X.25

Этот текст передается из прикладной программы узла № 1 в прикладной уровень этого узла. Прикладной уровень узла № 1 должен передать определенную информацию в прикладной уровень узла № 2 (например, тип прикладной программы, формат файла и другую информацию, необходимую прикладному уровню узла № 2 для отображения полученного сообщения), поэтому на прикладном уровне к сообщению (передаваемый текст) добавляется управляющая информация в виде служебного заголовка (далее – просто заголовок).

Полученный таким образом информационный блок (текст и заголовок) передается вышестоящему уровню (в данном случае представительный уровень), который может добавить к полученному информационному блоку свою собственную управляющую информацию также в виде заголовка (не во всех случаях уровни эталонной модели формируют отдельные собственные заголовки, некоторые уровни могут только преобразовывать полученный информационный блок в формат смежного уровня). Этот заголовок будет анализироваться представительным уровнем узла № 2. Аналогично все последующие

заголовки, формируемые уровнями модели узла № 1, анализируются только одноименными уровнями модели узла № 2. Поэтому иногда при рассмотрении эталонной модели отмечают, что в процессе обмена данными одноименные уровни эталонной модели обмениваются информацией между собой, а эта логическая связь обозначается штриховыми линиями на схеме модели, как показано на рис. 2.1.

Размер итогового информационного блока увеличивается по мере того, как исходное сообщение проходит через все уровни модели узла № 1 до тех пор, пока не достигнет физической среды передачи, по которой передается узлу № 2.

1-й уровень узла № 2 анализирует заголовок 1-го уровня узла № 1, после чего получает информацию о том, как обрабатывать данный информационный блок. Уменьшенный в размерах информационный блок передается второму уровню и так далее до 7-го. Когда информационный блок доходит до прикладной программы узла № 2, он будет содержать только оригинальный текст «Изучаем эталонную модель *OSI/ISO*».

Концепция заголовка и собственно данных в эталонной модели относительна и зависит от того уровня, который в данный момент анализирует информационный блок. Например, на 4-м уровне информационный блок состоит из заголовка этого уровня и информационного блока, полученного от 3-го уровня, который, в свою очередь, включает заголовок 3-го уровня и информационный блок, сформированный на 2-м уровне, и т. д. Таким образом, заголовок предшествующего уровня является просто данными для последующего уровня (рис. 2.3).

В зависимости от уровня эталонной модели различают следующие информационные блоки (рис. 2.3).

Кадр (*frame*) – информационный блок, источниками и пунктами назначения которого являются объекты канального уровня, т.е. это тот информационный блок, который передается по физическим линиям связи.

Пакет (*packet*) – информационный блок, источниками и пунктами назначения которого являются сетевой и транспортный уровни модели.

Сообщение (*message*) – информационный блок, источниками и пунктами назначения которого являются все уровни выше транспортного.

Каждый уровень имеет заранее заданный набор функций, которые он должен выполнить для того, чтобы связь между узлами вычислительной сети могла состояться.

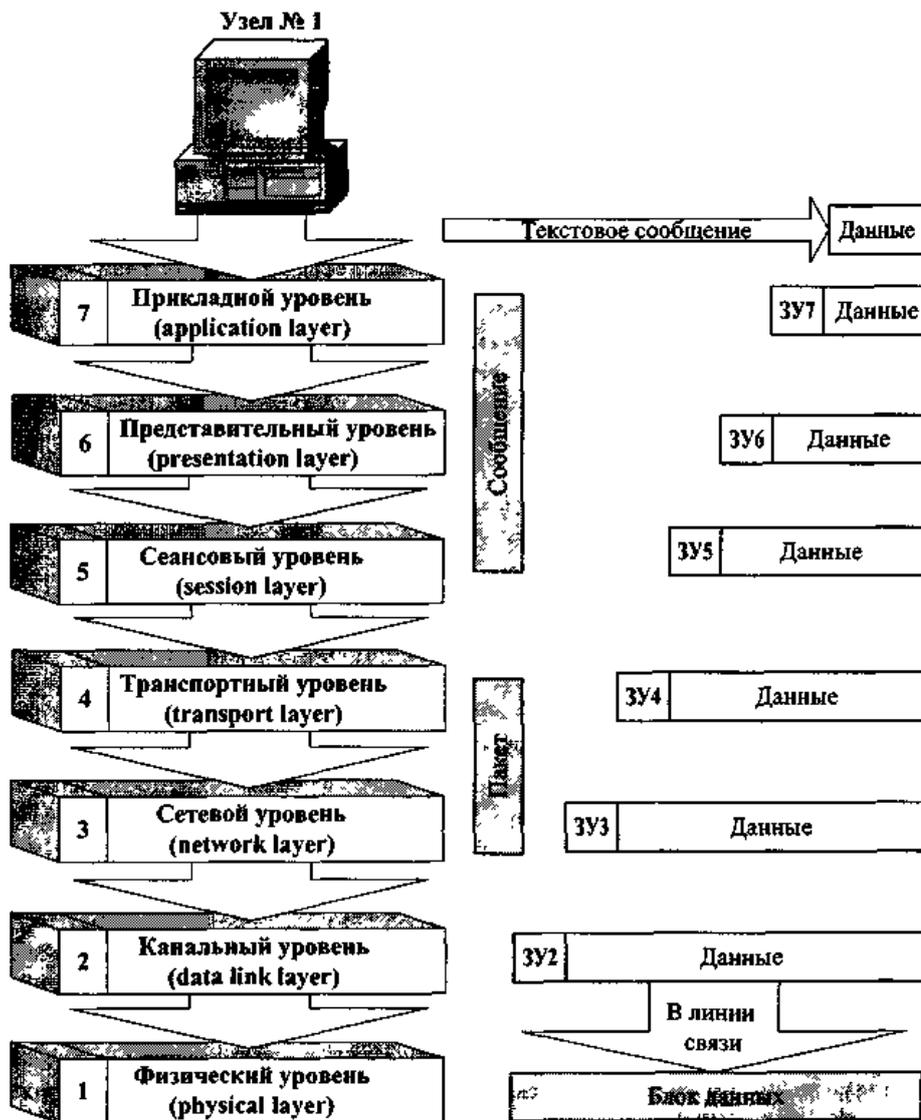


Рис. 2.3. Схема формирования блока данных

2.2. Функции уровней эталонной модели *OSI/ISO*

Прикладной уровень. Это самый «близкий» к пользователю уровень *OSI/ISO*. Он отличается от других тем, что не обеспечивает услуг ни одному из других уровней модели *OSI/ISO*, однако он как никакой другой уровень связан с прикладными процессами, лежащими за пределами модели *OSI/ISO*. Примерами таких прикладных процессов могут служить программы создания текстовых, графических, мультимедийных приложений, почтовый клиент (программа для работы с электронной почтой), *Web*-браузер (программа для просмотра гипертекстовых страниц) и другие прикладные программы.

Представительный уровень. Основная функция представительного уровня заключается в преобразовании сообщений, создаваемых

прикладным уровнем, в некоторый общепринятый формат обмена данными между узлами сети. Формат должен быть общим для узлов вычислительной сети с различной архитектурой. Примером такого формата является двоичная система, при которой любой тип информации (текст, звук, графика, видео) представляется в виде последовательности единиц и нулей. После преобразования сообщения протоколами представительного уровня его смысловая нагрузка уже не имеет никакого значения, поэтому к этому информационному блоку могут быть применены методы сжатия данных или их защиты. На приемной стороне (узел № 2) представительный уровень решает обратные задачи, обеспечивая прикладному уровню «читаемость» сообщения.

Сеансовый уровень. Сеансовый уровень устанавливает, управляет и завершает сеансы взаимодействия между прикладными задачами и соответственно пользователями. Сеансы состоят из диалога между двумя или более объектами. Сеансовый уровень синхронизирует диалог между объектами представительного уровня и управляет обменом информации между ними. Сеанс создается по запросу процесса пользователя, например узла № 1. В запросе указывается адрес сеанса связи и соответствующий прикладной процесс узла № 2. Сеанс может начаться только в том случае, если прикладной процесс узла № 2 активен и готов связаться. Примером реализации функций сеансового уровня является проверка прав доступа пользователя к ресурсам сети. Пользователь, введя имя и пароль, после успешного подключения создает сеанс. В случае отсутствия у пользователя прав доступа сеанс связи между узлами не создается, о чем пользователь получает сообщение.

Рассмотренные 3 уровня модели OSI/ISO (прикладной, представительный и сеансовый) решают прикладные вопросы, в основном связанные с действиями пользователей, и ориентированы на работу с приложениями (именно поэтому информационные блоки, проходящие через эти уровни, называются сообщениями). Протоколы этой группы уровней эталонной модели мало зависят от технических особенностей построения сети (топология сети, сетевое оборудование, сетевая технология).

Следующие 4 уровня (транспортный, сетевой, канальный и физический) решают задачу транспортировки данных по сети, а следовательно, должны учитывать ее особенности. Поэтому протоколы этих уровней относятся к классу сетезависимых протоколов.

Транспортный уровень. Задачей транспортного уровня является предоставление услуг по надежной транспортировке данных через объединенную вычислительную сеть. Протоколы транспортного уровня

обеспечивают механизмы установки, поддержания и завершения действия виртуальных каналов, систем обнаружения и устранения ошибок транспортировки и управления информационным потоком.

В сетях с коммутацией пакетов протоколы транспортного уровня на передающей стороне разбивают сообщение, получаемое от сеансового уровня, на пакеты (рис. 2.4). Далее эти пакеты передаются сетевому уровню. На приемной стороне на транспортном уровне происходит обратный процесс – процесс объединения пакетов в сообщение с дальнейшей передачей его сеансовому уровню принимающего узла.

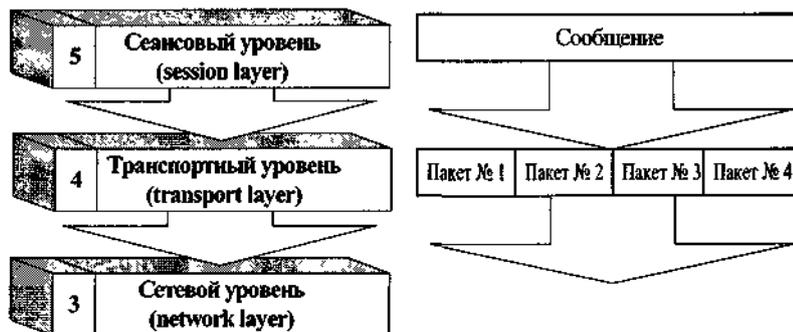


Рис. 2.4. Схема взаимодействия транспортного уровня со смежными уровнями

Сетевой уровень. Это комплексный уровень, который решает задачу выбора маршрута доставки данных по физическим каналам связи между двумя узлами вычислительной сети, подключенными к разным «подсетям», территориальное расположение которых не ограничено. Поскольку узлы вычислительной сети в общем случае могут находиться на значительных расстояниях, то одной из задач протоколов этого уровня является выбор оптимального маршрута передачи данных через объединенную вычислительную сеть. Сетевой уровень также обеспечивает буферизацию пакетов, причем применительно к локальным вычислительным сетям, в которых между узлами существует непосредственный канал передачи данных, задача буферизации является для сетевого уровня основной. Буферизация - процесс накопления и хранения пакетов, относящихся к одному сообщению, на весь период, пока не будут получены все пакеты. Задача маршрутизации возникает в объединенных сетях. Для объединения сетей используются специальные устройства – маршрутизаторы.

Канальный уровень. Канальный уровень решает задачу надежного транзита данных через физический канал передачи данных. Для решения

этой задачи протоколы канального уровня обеспечивают физическую адресацию узлов сети, совместный доступ к среде передачи данных, коррекцию ошибок передачи данных. Информационный блок, которым оперирует канальный уровень, называется кадром. Различают следующие виды кадров:

- **кадр данных** – включает пакеты данных сетевого уровня;
- **управляющий кадр** – включают маркеры или квитанции подтверждения приема кадров данных.

Физический уровень. Физический уровень определяет электрические, технические, механические параметры физического канала передачи данных между узлами вычислительной сети. Например, на этом уровне определяется способ соединения сетевого кабеля с сетевым интерфейсом (тип разъема, количество контактов, их функции), способ передачи данных по физической среде передачи.

На физическом уровне информационный поток представляется в виде потока логических нулей и единиц (бит информации), которые передаются от одного узла к другому.

Протоколы физического уровня устанавливают такие характеристики канала передачи данных, как: способ перевода бита (цифрового сигнала от узла сети) в соответствующие электрические или оптические импульсы, передаваемые по физической среде, уровни напряжений электрических сигналов, скорость передачи, физические носители сигналов и дальность передачи сигналов.

Функции физического и канального уровня обеспечиваются аппаратно-программными средствами, остальные 5 уровней, как правило, реализуются программными средствами.

При рассмотрении эталонной модели взаимодействия открытых систем отмечалось, что функции всех ее уровней обеспечиваются соответствующими протоколами. Сетевой протокол – перечень форматов, передаваемых по вычислительной сети данных, последовательность и правила обработки этих данных.

В табл. 2.1 приведена краткая характеристика функций, выполняемых протоколами 7-уровневой модели *OSI/ISO*, которая позволяет в целом представить сложный процесс взаимодействия узлов вычислительной сети при обмене данными.

Протоколы реализуют свои функции через заголовки (ЗУ1-ЗУ7), которые добавляются к данным по мере того, как они передаются по уровням, как показано на рис. 2.3.

Несколько протоколов могут работать совместно каждый на своем уровне. Это так называемый **стек** или **набор протоколов** (например, стек протоколов *TCP/IP*).

Таблица 2.1

Характеристика протоколов уровней модели OSI/ISO

Уровень	Характеристика протоколов уровня
Прикладной	Формирование запроса к одному или нескольким узлам сети или прием аналогичных запросов
Представительный	Преобразование к единому формату различных типов данных, добавление форматирующей, отображающей и шифрующей информации
Сеансовый	Организация сеанса, его синхронизация, добавление информации о времени отправки сообщения
Транспортный	Преобразование сообщений в пакеты, добавление информации для обработки ошибок
Сетевой	Добавление адресов и информации о месте пакета в последовательности передаваемых пакетов
Канальный	Добавление информации для проверки ошибок и подготовка данных для их передачи по физической среде
Физический	Передача информационного блока в виде потока битов в соответствии с установленным способом доступа

Существует несколько стандартных стеков протоколов, разработанных разными фирмами. Однако все протоколы, используемые для обмена данными в вычислительных сетях, делятся на 3 группы:

- прикладные протоколы,
- транспортные протоколы,
- сетевые протоколы.

Прикладные протоколы используются на верхнем уровне модели *OSI/ISO* и обеспечивают взаимодействие приложений и обмен данными между ними.

Транспортные протоколы обеспечивают виртуальные соединения между узлами сети и надежный обмен данными между ними.

Сетевые протоколы обеспечивают физическую связь между узлами сети и управляют адресацией, маршрутизацией, проверкой ошибок и запросами на повторную передачу.

К наиболее распространенным стекам протоколов относятся:

- **TCP/IP** (стек протоколов *Internet*);
- **IPX/SPX** (фирмы *Novell*);
- **NETBEUI/NetBIOS** (фирмы *IBM*).

Стек **TCP/IP** является стандартным набором протоколов, которые обеспечивают связь в неоднородной среде, т.е. обеспечивают совместимость между узлами и вычислительными сетями разных типов. Стек протоколов **TCP/IP** является основой современной сети *Internet*, поэтому более подробно будет рассмотрен далее.

Стек протоколов **IPX/SPX** включает два протокола – **IPX** (*Internetwork Packet Exchange*) и **SPX** (*Sequenced Packet Exchange*).

IPX (*Internetwork Packet Exchange*) – транспортный протокол межсетевой передачи пакетов – определяет формат передаваемых по сети пакетов. На уровне **IPX** рабочие станции обмениваются пакетами данных без подтверждения.

SPX (*Sequenced Packet Exchange*) – сетевой протокол (соответствует сетевому уровню) последовательного обмена пакетами. Протокол **SPX** реализует гарантированную доставку передаваемых по сети пакетов и при необходимости выполняет их повторную передачу. Стек протоколов **IPX/SPX** поддерживает маршрутизацию и используется в сетях *Novell*.

Протокол **NetBIOS** (*Network Basic Input/Output System*, сетевая базовая система ввода – вывода) предназначен для передачи данных между узлами вычислительной сети. Этот протокол реализует функции сетевого, транспортного и сеансового уровней. В сетевых продуктах компании *Microsoft* используется протокол транспортного уровня **NetBEUI**.

2.3. Стек протоколов и сетевая модель **TCP/IP**

Стек протоколов сетевого взаимодействия **TCP/IP** является результатом эволюционного развития протоколов первой глобальной вычислительной сети *ARPANET*, работы по созданию которой начались в 60-х гг. XX в.

Опыт использования глобальной сети *ARPANET*, накопленный к середине 70-х гг., выявил существенные недостатки существующих протоколов и обосновал требования к будущему набору протоколов обмена данными в вычислительных сетях, получившему впоследствии название **TCP/IP**. В середине 1970-х гг. Агентство по внедрению научно-исследовательских проектов передовой технологии при Министерстве обороны США (*DARPA*) заинтересовалось организацией сети с

коммутацией пакетов для обеспечения связи между научно-исследовательскими институтами в США. *DARPA* финансировала исследования, проводимые Стэнфордским университетом и рядом компаний, по разработке новых протоколов для таких сетей.

Новый протокол должен был отвечать таким требованиям, как:

- независимость от физической среды передачи данных;
- возможность подключения к сети ЭВМ любой архитектуры;
- единый способ организации соединения между узлами в сети;
- стандартный набор прикладных протоколов.

Используемая в современных вычислительных сетях версия стека протоколов *TCP/IP* была стандартизирована в начале 80-х гг. документами, называемыми *RFC*. *RFC* (*Request For Comment*, запросы для комментария) публикуются, а затем рецензируются и анализируются специалистами по *Internet*. Уточнения к протоколам публикуются в новых *RFC*.

Столь длительное существование стека протоколов *TCP/IP* объясняется основательностью проработки всех его составляющих, относительной простотой реализации, высокой совместимостью с другими протоколами, а также надежностью организации связи.

Появившаяся немногим позже эталонная модель *OSI/ISO*, задуманная как мировой стандарт взаимодействия в вычислительных сетях, не смогла вытеснить или заменить стек протоколов *TCP/IP*. Это тем более подтверждает уникальность протоколов *TCP/IP*.

Стек протоколов *TCP/IP* сыграл ключевую роль в появлении сети *Internet*, став ее функциональной основой. Этот набор протоколов и на сегодняшний день занимает ведущее положение. Протоколы *TCP/IP* оказались настолько удачными, что стали основой локальных вычислительных сетей, хотя изначально предназначались для обмена данными в глобальных вычислительных сетях.

2.4. Сравнение моделей *OSI/ISO* и *TCP/IP*

Стек протоколов *TCP/IP* является по аналогии с *OSI/ISO* основой сетевой иерархической модели передачи данных с одноименным названием – *TCP/IP*.

Иерархическая сетевая модель *TCP/IP* по набору протоколов и выполняемым ими функциям является 4-уровневой, как показано на рис. 2.5. Для сравнения слева от модели *TCP/IP* на рис. 2.5 показана 7-уровневая эталонная модель *OSI/ISO*.

Объединение канального и физического уровней эталонной модели в единый сетевой уровень *TCP/IP* является следствием требования независимости модели (стека протоколов) от используемой физической среды передачи данных. Кроме этого, функции протоколов канального и физического уровней реализуются в настоящее время, как правило, едиными техническими средствами – сетевыми интерфейсами.

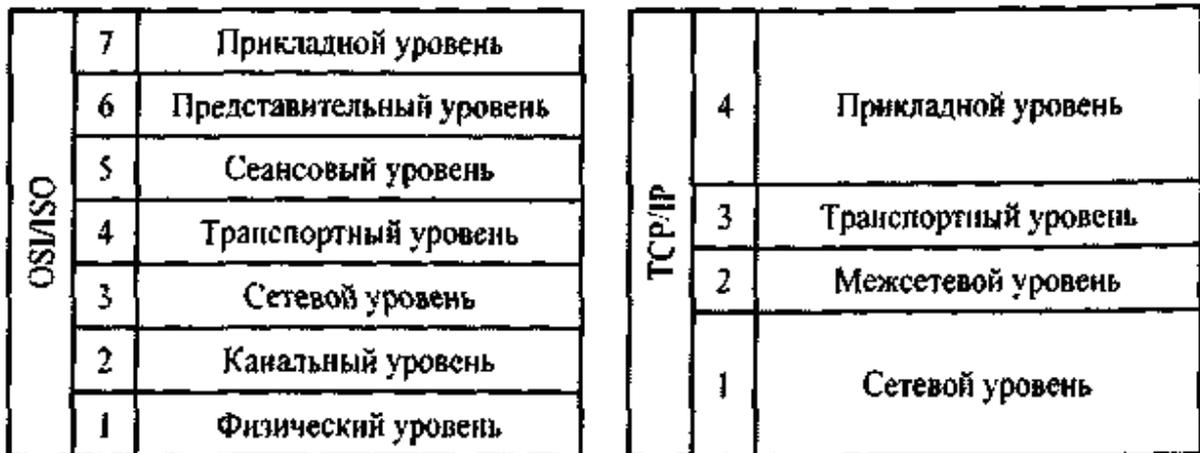


Рис. 2.5. Соотношение моделей *OSI/ISO* и *TCP/IP*

В модели *TCP/IP*, так же как и в *OSI/ISO*, название информационного блока данных, передаваемого по сети, зависит от того, на каком уровне стека протоколов он обрабатывается.

Прикладное сообщение (сообщение) – информационный блок, обрабатываемый прикладным уровнем.

Пакет *TCP* (сегмент *TCP*) или ***UDP*-дейтаграмма** – информационные блоки, формируемые разными протоколами транспортного уровня.

***IP*-сегмент (*IP*-дейтаграмма)** - информационный блок меж сетевого уровня.

Кадр – информационный блок сетевого уровня, передаваемый сетевому интерфейсу для передачи по физической среде.

Прямое сопоставление уровней моделей *OSI* и *TCP/IP* невозможно из-за различий их концепций, поэтому под одними и теми же названиями уровней понимается не совсем одинаковое содержание. Рассмотрим функции, выполняемые уровнями иерархической модели *TCP/IP*.

Прикладной уровень определяет способ взаимодействия пользовательских приложений. В системах «клиент – сервер» приложение «клиент» «должно знать», как посылать запрос, а приложение «сервер» «должно знать», как ответить на запрос. Функции этого уровня реализуются такими протоколами, как *HTTP*, *FTP*, *TelNet* и др.

Транспортный уровень предоставляет сетевым приложениям возможность получения сообщений по строго определенным каналам с конкретными параметрами.

На **межсетевом уровне** решается задача определения адреса подключенных к сети узлов. На этом уровне выделяются логические сети и подсети и реализуется маршрутизация между ними. Концепция *TCP/IP* допускает, чтобы в качестве «подсетей» выступали реальные сети с их собственными стеками протоколов, узлами, шлюзами и т.п.

На **сетевом уровне** определяется адресация физических интерфейсов сетевых устройств, например сетевых плат. К этому уровню относятся программы управления физическими сетевыми устройствами, так называемые драйверы. Сетевой уровень тесно связан с физической средой и типом оборудования передачи данных.

В территориально распределенных сетях, подобных *Internet*, передача данных по каналам связи с использованием сложного коммуникационного оборудования, чаще всего, осуществляется по специальным протоколам, таким как: *X.25*, *Frame Relay*, *ATM* и др. В этом случае модель *TCP/IP* накладывается поверх того или иного несущего протокола.

Информационно-коммуникационные технологии представляют собой взаимосогласованную совокупность принципов, методов, способов и средств сбора, накопления, хранения, поиска, обработки, обмена, передачи, отображения и выдачи информации; а также инструментальных систем, их информационного обеспечения, организационно-административных положений, поддерживающих деятельность людей при создании, реализации, распространении, сопровождении и развитии технологий индустрии информации.

Средства информационно-коммуникационных технологий базируются на **вычислительных, информационных и коммуникационных** ресурсах. К вычислительным ресурсам относятся: персональные компьютеры, рабочие станции, серверы, суперсерверы, суперкомпьютеры, мэйнфреймы, кластеры, параллельные вычислительные системы, вычислительные сети, распределенные вычислительные системы. Среди коммуникационных ресурсов различают: коммуникационные ресурсы групп пользователей, локальных и корпоративных сетей, региональных и глобальных сетей. Типовые функциональные спецификации коммуникационных ресурсов реализуются коммутаторами, маршрутизаторами, мостами/маршрутизаторами, мостами и шлюзами. Информационные ресурсы создаются на основе баз данных, систем управления базами данных, баз знаний, систем управления базами данных, информационно-

поисковых систем, мультимедийных информационных систем, географических информационных систем, электронных библиотек, систем виртуальной реальности, *Web*-серверов, форумов, порталов.

Построение информационных супертрасс предусматривается с целью создания базовой инфраструктуры для глобально-интегрированных, мультимедиа, простых и относительно дешевых сетей связи. Информационные супертрассы являются неотъемлемой частью информационного сообщества. Основные предпосылки для создания и развития технологического ядра информационных супертрасс связаны с эволюцией информационных технологий, которая имеет три составляющие:

- высокая скорость каналов связи, достигающаяся за счет применения новых режимов переноса информации и оптических кабелей;
- интеллектуальность сетей связи, создаваемых посредством интеграции высокоразвитых вычислительных и коммуникационных ресурсов;
- большая вездесущность и мобильность конечных пользовательских систем, которые достигаются за счет миниатюризации и применения технологий беспроводной связи.

Исключительные особенности особого статуса информационно-коммуникационных технологий требуют эволюционного развития образовательных технологий.

Контрольные вопросы

1. Какая организация предложила концепцию открытых систем?
2. Чем вызвано появление эталонной модели «Взаимодействие открытых систем» – ЭМВОС?
3. Сформулируйте концепцию открытых систем. Какие свойства открытых систем.
4. Какая эталонная модель взаимодействия открытых систем (ЭМВОС) *OSI/ISO*. Сколько уровней моделей *OSI*?
5. Какие функции физического и канального уровней ЭМВОС?
6. Сформулируйте понятие протокола и информационных блоков сетевого обмена.
7. Протоколы каких уровней относятся к классу сетезависимых?
8. Протоколы каких уровней относятся к классу сетезависимых?
9. Назовите наиболее распространенные стеки протоколов.
10. Особенности стека протоколов и сетевой модели *TCP/IP*.

Глава 3. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

3.1. Основные понятия телекоммуникаций

Телекоммуникация – это связь на расстоянии. Коммуникация, т.е. процесс обмена информацией, является необходимым условием существования живых организмов, экологических систем и человеческого общества. Телекоммуникационная система – совокупность технических объектов, организационных мер и субъектов, реализующих процессы соединения, передачи, доступа к информации.

Для обмена информацией телекоммуникационные системы используют естественную и искусственную среду. Телекоммуникационные системы вместе со средой для передачи данных образуют телекоммуникационные сети. Примеры телекоммуникационных сетей:

- почтовая связь;
- телефонная связь общего пользования (ТфОП);
- мобильные телефонные сети;
- телеграфная связь;
- Интернет – глобальная сеть взаимодействия компьютерных сетей;
- сеть проводного радиовещания;
- сеть кабельного радиовещания;
- сеть телевизионного и радиовещания;
- ведомственные сети органов государственной службы, системы управления воздушными, морскими, космическими судами;
- энергетические системы;
- глобальные сети спасения и безопасности (Инмарсат, ГМССБ, ГЛОНАСС).

Для организации такого взаимодействия в каждом государстве и в мире, в целом, действуют специальные органы, которые регулируют порядок использования общих ресурсов, определяют общие правила взаимодействия (протоколы) телекоммуникационных систем и разрабатывают перспективные телекоммуникационные технологии. Для реализации связи на расстоянии телекоммуникационные системы используют:

- системы коммутации;
- системы передачи данных;
- системы доступа и управления каналами передачи;
- системы преобразования информации.

Важнейшим аспектом является понятие информации. Цель создания телекоммуникационных систем – это передача информации. Известно несколько определений информации, например, информация – это отображение разнообразия, которое существует во Вселенной, или информация – это сведения, являющиеся объектом хранения, передачи и преобразования. Для целей передачи, преобразования и приема информации будем использовать второе определение. Для передачи информации используют сигнал, который является физической величиной, и с его параметрами так или иначе связана информация. Таким образом, сигнал – это изменяющаяся определенным образом физическая величина. Схема передачи информации с помощью сигнала приведена на рис. 3.1. В телекоммуникационных системах и сетях используются электрические, оптические, электромагнитные и другие виды сигналов.

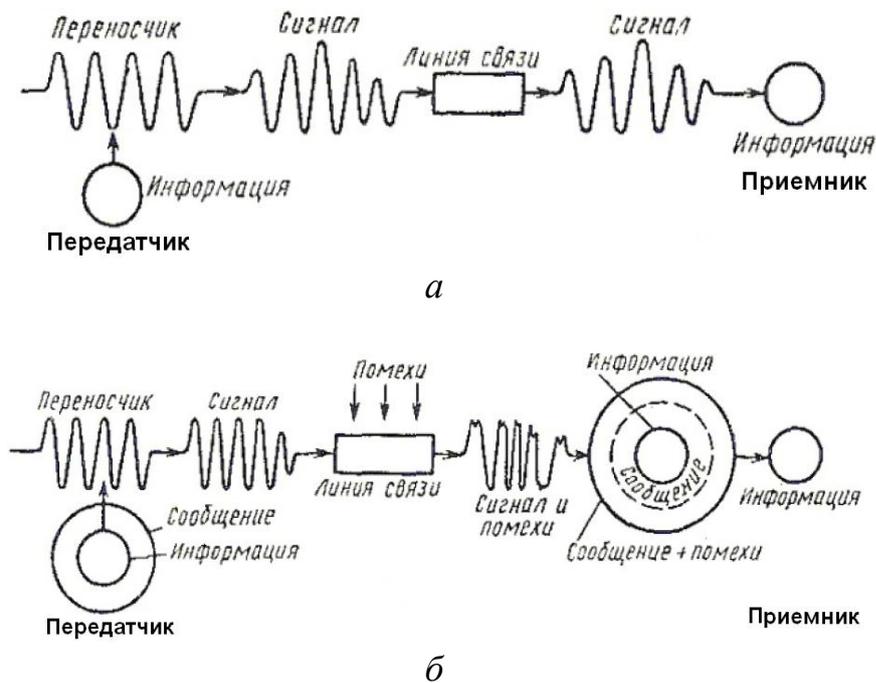


Рис. 3.1. Схема передачи информации:
а) без помех; б) с помехами

Сообщение – это сведения об окружающем нас мире, например, письмо, телеграмма, SMS. **Передатчик** преобразует сообщение в передаваемый сигнал. В передатчике каждое из возможных сообщений на входе преобразуется в одно из возможных значений сигнала на выходе по строго определенному правилу. Правила, по которым осуществляется преобразование сообщения в сигнал, различны в зависимости от типов сообщений и сигналов (модуляция, кодирование, манипуляция).

Информация является частью сообщения, представляющая новизну, т.е. то, что ранее не было известно. Датчики, реагируя на изменение параметров процесса, извлекают нужную информацию. Информация, воздействуя на параметры переносчика сигнала, образует полезный сигнал, который передается на линию связи. На приемной стороне избавляются от переносчика, помех и выделяют (детектируют) полезную информацию. В реальных условиях на сигнал в линии связи воздействуют различные вредные факторы, помехи, поэтому для помехоустойчивости сигнала информацию передают с избытком.

Приемник осуществляет восстановление переданного источником информации сообщения по принятому сигналу. Данная операция возможна, если известно правило преобразования сообщения в сигнал. На основании этого правила вырабатывается правило обратного преобразования сигнала в сообщение (демодуляция, декодирование). Это правило позволяет, в конечном счете, выбрать приемной стороне сообщение из известного множества возможных, в идеальном случае полностью совпадающее с переданным.

3.2. Элементы теории информации

Областей применения теории информации очень много – это кибернетика, математика, бионика, экономика, телемеханика, социология, связь, криминалистика и многие другие области. Можно сказать, что вся предыдущая история человечества – это движение к информационному обществу, в котором роль информации очень высока. Информация – это сведения, являющиеся объектом хранения, передачи и преобразования. Следовательно, важнейшим вопросом теории информации является установление меры и качества информации для оценки потерь при ее хранении и передаче, определение достоверности информации.

3.3. Количество информации и ее измерение

Роберт Хартли, американский инженер и математик, работавший в области кибернетики, предложил свой метод измерения информации. Пусть дискретное сообщение, передаваемое по каналу связи, состоит из « n » элементов, каждый из элементов может находиться в одном из « m » состояний. Сообщение из n элементов называется **словом**, элемент сообщения называется **символом**, все возможные состояния m – алфавитом. Определим количество сообщений, которое можно составить

из n элементов, принимающих m состояния. Рассмотрим простейший случай. Имеем элемент сообщения, который может принимать два состояния. Число возможных состояний элемента: $C = 2^1$. Пусть число элементов будет 2, тогда число возможных комбинаций состояний двух элементов с двумя состояниями, количество комбинаций состояний двух элементов будет равно $C = 2^2 = 4$. В случае трех элементов с двумя состояниями число комбинаций равно $C = 2^3 = 8$. Таким образом, результаты можно обобщить на случай n элементов с m состояниями каждого элемента: $C = m^n$. На первый взгляд кажется, что за количество информации можно принять число состояний системы C , но эта величина не обладает свойством аддитивности, т.е. суммарная информация элементов не равняется сумме информации элементов. В 1927 году Робертом Хартли предложена логарифмическая мера количества информации:

$$I = \log_a m^n = n \cdot \log_a m. \quad (3.1)$$

Такая мера количества информации удовлетворяет требованиям аддитивности. Удобно принять основание логарифма равным 2, что естественно в цифровой технике, поскольку используются технические элементы, имеющие, как правило, два состояния. Таким образом, один элемент передаваемого общения с двумя равновероятными состояниями будет иметь одну единицу информации, равную

$$I = \log_2 2 = 1 \text{ [бит]}. \quad (3.2)$$

Один бит (*bit – binary digit*) – это элементарное количество информации, которое несет один элемент, принимающий два различных состояния. Например, подкидывая монету, разрешая опытным путем неопределенность «орел/решка», получаем количество информации в 1 бит.

Ранее подразумевалось, что количество информации, передаваемое в сообщении, состоит из n символов, каждый символ может принимать m значений. Тогда количество информации определяется формулой (3.1), при этом, Роберт Хартли предполагал, что все состояния равновероятны ($p = 1/m$). **Клод Шеннон** снял это ограничение и ввел вероятность состояния m . Важность данного допущения в том, что чем меньше вероятность состояния, тем большее количество информации оно несет. Например, сообщение о том, что в Якутии зимой температура меньше нуля градусов несет мало информации, так как это обычное явление. Но если

температура больше нуля, то это несет очень большое количество информации. Таким образом, количественной мерой информации служит величина, обратная вероятности передаваемого сообщения. Для сообщения $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, где x_1, x_2, \dots, x_m – возможные состояния с вероятностями p_1, p_2, \dots, p_m , неопределенность каждого состояния равна $-\log p_1, -\log p_2, \dots, -\log p_m$, а математическое ожидание дает количественную оценку неопределенности – энтропию:

$$H(X) = \frac{I}{n} = -\sum_{i=1}^m p_i \log p_i. \quad (3.3)$$

Формула (3.3) получена в 1948 году и получила название формулы Шеннона. Нетрудно заметить, что формула Хартли (3.1) является частным случаем формулы Шеннона при одинаковой вероятности всех состояний.

Пример 3.1. Пусть сообщение состоит из $n = 7$ символов, каждый символ имеет два состояния, $m = 2$. Определим количество информации, приходящее на один символ, если вероятность появления символа «0» = 0,75, вероятность появления символа «1» равна 0,25.

Подставляя в формулу (3.3) вероятности символов «0» и «1» и суммируя, получим количество информации в битах:

$$I = -n \sum_{i=1}^m p_i \log p_i = -7(0,75 \cdot \log_2 0,75 + 0,25 \cdot \log_2 0,25) = 5,67.$$

Для равновероятных символов $p(0) = 0,5, p(1) = 0,5$ количество информации равно $I = 7$ бит.

Понятие энтропии тесно связано с понятием количества информации. В теории информации энтропия выражает меру снятия неопределенности в процессе получения сигнала адресатом. Энтропия – это мера недостатка информации о состоянии его источника. С наступлением информации энтропия системы снижается. Энтропия одного сообщения численно совпадает с количеством информации.

Энтропия обладает следующими свойствами:

- энтропия вещественна и неотрицательна;
- энтропия детерминированных сообщений (заранее известных) равна нулю, если заранее известно, какое будет событие, его вероятность равна единице и неопределенности в системе не существует;
- энтропия максимальна, если все события равновероятны.

Пример 3.2. Априорно ситуация характеризовалась энтропией H_1 . После получения сигнала, энтропия уменьшилась до H_2 . Количество информации, полученной адресатом, равно $I = H_1 - H_2$. Если неопределенность снята полностью ($H_2 = 0$), то $I = H_1$.

Рассмотрим свойства, которыми обладает энтропия дискретного сигнала. Формула для энтропии в этом случае будет состоять из слагаемых только двух видов: либо $1 \times \log 1$ для заранее известного сигнала, либо $0 \times \log 0$, так как вероятность появления всех других равна нулю.

Так как $1 \times \log 1 = 0$ и $\lim_{x \rightarrow 0} (x \times \log x) = 0$, то энтропия заранее известного сигнала равна нулю.

3.4. Энтропия бинарных сообщений

Бинарные сообщения состоят из элементов с двумя состояниями. Пусть X_1 – первое состояние с вероятностью p_1 , а X_2 – второе состояние с вероятностью p_2 . Очевидно, что $p_2 = 1 - p_1$. Для таких сообщений энтропия равна:

$$H = -\sum_{i=1}^m p_i \log p_i - [p_1 \log p_1 - (1 - p_1) \log(1 - p_1)]. \quad (3.4)$$

На рис. 3.2 приведен график зависимости энтропии от вероятности, с использованием соотношения (3.4). Заметим, что при $p_1 = 0$, $H = 0$ и при $p_1 = 1$ $H = 0$. Определим значение вероятностей p_2 и p_1 при которых энтропия максимальна. Для этого продифференцируем выражение (3.4) и приравняв к нулю, определим значение вероятности: $p_1 = p_2 = 1/2 = 0,5$. При этом $H = - [0,5 \cdot \log_2 0,5 - 0,5 \cdot \log_2 0,5] = - [- 0,5 - 0,5] = 1$.

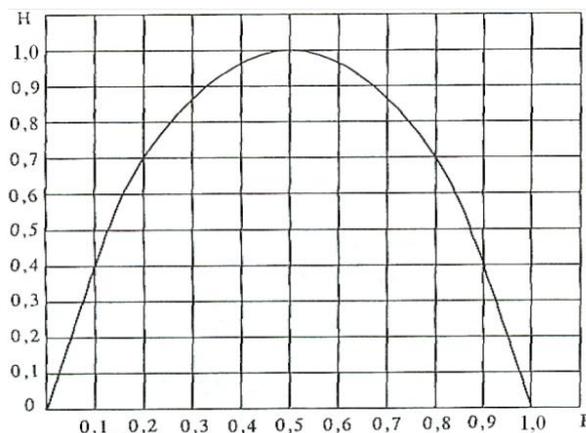


Рис. 3.2. График зависимости энтропии (H) от вероятности (p)

Один бит – это энтропия двух равновероятных событий. Основным недостатком изложенных методов расчета количества информации является то, что не учитывается ее смысловое содержание. Максимум энтропии имеет место при $p = 1/2$, когда ситуация является неопределенной в максимальной степени. При $p = 1$ или $p = 0$, что соответствует передаче одного сообщения X_1 или X_2 , и неопределенность системы отсутствует. В этих случаях энтропия $H(X)$ равна нулю. Среднее количество информации, содержащееся в последовательности их n сообщений, равно

$$I(n) = n \cdot H(n). \quad (3.5)$$

Отсюда следует, что количество передаваемой информации можно увеличить не только за счет числа сообщений, но и путем повышения энтропии источника, т.е. информационной емкости его сообщения. Обобщая результаты, можно сформулировать основные свойства энтропии источника независимых сообщений:

- энтропия – величина всегда положительная, так как $0 \leq p(a_i) \leq 1$;
- при равновероятных сообщениях, когда $p(a_1) = p(a_2) = \dots = p(a_m) = p(a) = 1/m$, энтропия максимальна и равна

$$H_{\max}(a) = H_0(a) = -\sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \log m = \log m; \quad (3.6)$$

- энтропия равняется нулю лишь в том случае, когда все вероятности $p(a_i)$ равны нулю, за исключением одной, величина которой равна единице;

- энтропия нескольких независимых источников равна сумме энтропий этих источников

$$H(a, b, \dots, r) = H(a) + H(b) + \dots + H(r).$$

В реальных условиях картина усложняется из-за наличия статистических связей между сообщениями. Примером может служить обычный текст, где появление той или иной буквы зависит от предыдущей. После сочетания двух согласных букв вероятность появления гласной гораздо больше, чем еще одной согласной. Такие статистические связи приводят к уменьшению информации, приходящейся на один символ.

3.5. Основные элементы и понятия теории сигнала

Для передачи информации необходим физический процесс, который является носителем информации. Физический процесс, параметры которого содержат информацию, называется сигналом. В качестве носителя информации используются следующие физические процессы:

- электрический ток;
- электромагнитные колебания;
- оптическое излучение.

Носителем информации в сигнале с постоянной амплитудой, приведенном на рис. 3.3, являются величина амплитуды и полярность.

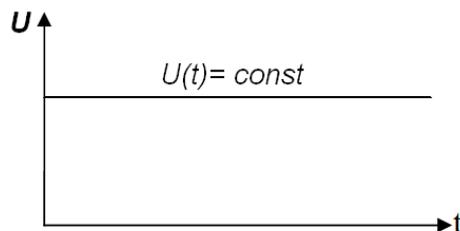


Рис. 3.3. Постоянное напряжение

Носителями информации в сигнале с переменным напряжением $U(t) = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$, приведенном на рис. 3.4, являются период сигнала T , фаза φ , амплитуда U .

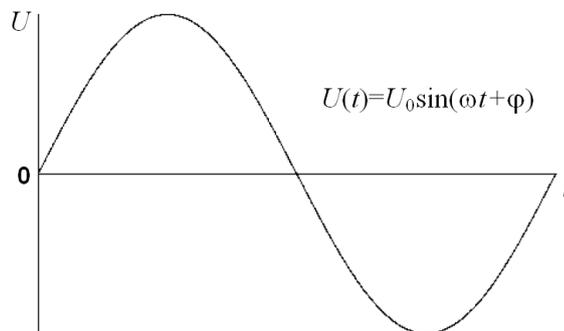


Рис. 3.4. Переменное напряжение

При передаче информации последовательностью прямоугольных импульсов используют амплитуду импульса, его частоту, фазу, длительность и комбинацию последовательности импульсов, что показано на рис. 3.5.

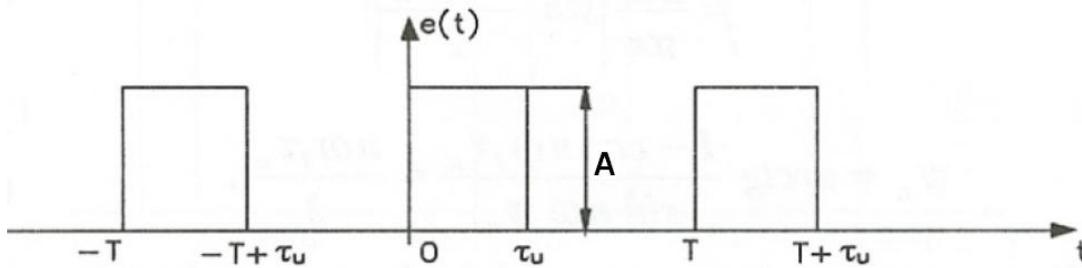


Рис. 3.5. Последовательность прямоугольных импульсов

Носители информационных сигналов делятся на периодические и непериодические. Периодический сигнал $S(t) = S(t + nT)$, где $n = 0, 1, 2, \dots, m$, T – период колебаний. Непериодические сигналы ограничены во времени. Это могут быть единичный импульс или пачка импульсов, например видеоимпульсы. Видеоимпульс – это импульс постоянного тока или напряжения, имеющий форму прямоугольника, треугольника, колоколообразную или экспоненциальную. Формы видеоимпульсов, а также их параметры приведены на рис. 3.6, там же приведен радиоимпульс.

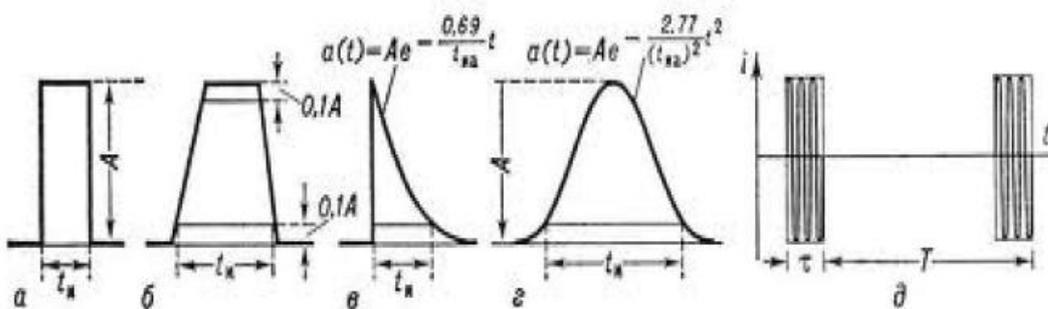


Рис. 3.6. Формы видеоимпульсов:

- а) прямоугольный; б) трапециевидный; в) экспоненциальный;
г) колоколообразный; д) прямоугольный радиоимпульс

Видеоимпульсы, радиоимпульсы широко применяются в современной радиоэлектронике для передачи и преобразования информации. Данные сигналы характеризуются амплитудой сигнала S , длительностью импульса t_n , периодом T . Отношение периода T к длительности импульса t_n называется скважностью импульса и обозначается Q .

3.6. Спектральный (гармонический) анализ сигналов

Основной характеристикой сигнала является спектральная функция. Спектральное представление сигналов дает возможность определить прохождение сигналов через электрическую цепь, которая имеет ограниченную полосу пропускания. На рис. 3.7 приведены постоянный (а), гармонический (б) прямоугольный (в) сигналы.

Всякий периодический сигнал можно представить в виде функции времени и частоты. Гармонический сигнал выражается следующей формулой: $S(t) = A_n \cdot \cos(\omega t + \varphi)$, где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, f – частота колебаний в Гц. Задачей спектрального анализа является определение двух функций: $S(\omega)$ – спектральной функции или амплитудно–частотной (АЧХ) и $\varphi(\omega)$ – фазо–частотной функции (ФЧХ). В основе спектрального анализа лежит разложение периодических функций в ряд Фурье.

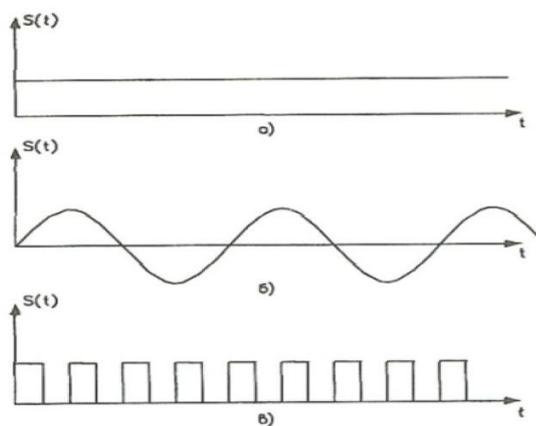


Рис. 3.7. Примеры периодических носителей информации:
 а) постоянное напряжение; б) гармонический сигнал;
 в) последовательность прямоугольных импульсов

3.7. Разложение периодических функций в ряд Фурье

Пусть периодическая функция удовлетворяет условию $S(t) = S(t + nT)$, где $n = 0, 1, 2, \dots, \infty$, $T = 2\pi/\omega$.

Запишем ряд Фурье в комплексной форме

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} C_n e^{-jn\omega_1 t}, \quad (3.7)$$

где ω_1 – угловая частота основной гармоники; C_n – коэффициенты Фурье.

Коэффициенты Фурье C_n являются комплексными величинами и определяются по следующим формулам

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} S(t) e^{-jn\omega_1 t} dt. \quad (3.8)$$

Используя формулу Эйлера, $e^{-jn\omega_1 t} = \cos n\omega_1 t - j \sin n\omega_1 t$ и подставив в (20), получим:

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} S(t) \cos n\omega_1 t dt - j \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} S(t) \sin n\omega_1 t dt,$$

где $C_n = C_{nc} - jC_{ns}$, соответственно, C_{nc} – действительная часть, C_{ns} – мнимая часть.

С учетом этого коэффициенты Фурье можно записать в виде:

$$C_n = |C_n| e^{-j\Psi_n},$$

где $|C_n| = \sqrt{C_{nc}^2 + C_{ns}^2}$ – модуль коэффициента Фурье, $\Psi_n = \arctg \frac{C_{nc}}{C_{ns}}$ – аргумент коэффициента Фурье.

Общее выражение для ряда Фурье можно записать в следующем виде:

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} C_n e^{j(n\omega_1 t - \Psi_n)}. \quad (3.9)$$

3.8. Запись ряда Фурье в тригонометрической форме

Более удобное представление ряда Фурье в тригонометрической форме

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{n=\infty} (a_n \cos n\omega_1 t + b_n \sin n\omega_1 t),$$

где a_n и b_n – коэффициенты ряда Фурье, которые определяются следующими выражениями:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} S(t) \cos n\omega_1 t dt, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} S(t) \sin n\omega_1 t dt. \quad (3.10)$$

Если функция $S(t) = S(-t)$, т.е. четная, то из выражений (3.10) следует $b_n = 0$ для четных функций и в разложении (3.10) присутствуют члены с a_n .

Наоборот, если функция $S(t) = -S(-t)$ нечетная, то $a_n = 0$ и в разложении в ряд Тейлора функции $S(t)$ останутся члены с b_n . В выражении (3.10) каждый член разложения в ряд представляет собой гармонику с частотой $n\omega_1$, где $n = 0, 1, 2, \dots, \infty$. Совокупность гармоник образует спектр сигнала. Спектр периодического сигнала называется линейчатым, прерывистым.

Пример 3.3. Разложим в ряд Фурье прямоугольный импульс, называемый «меандр», изображенный на рис. 3.8. Меандр – периодический сигнал прямоугольной формы, длительность импульса и длительность паузы которого в периоде равны, т.е. скважность $Q = T/\tau_{\text{и}} = 2$ где $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса, период импульса равен T , амплитуда импульса равна A . Меандр может быть двухполярным и унipoлярным. Прямоугольный импульс $S(t)$ является нечетной функцией, и в соответствии с (3.10) в разложении в ряд Тейлора останутся только члены, содержащие b_n :

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{n=\infty} b_n \sin n\omega_1 t.$$

Используя формулу «меандр» (3.10), находим коэффициенты разложения импульса

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} S(t) \sin n\omega_1 t dt.$$

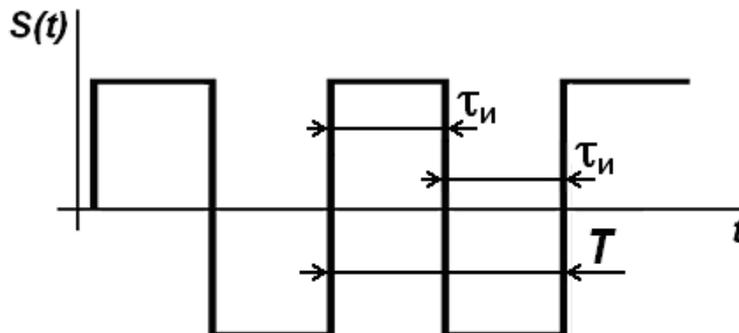


Рис. 3.8. Прямоугольный импульс «меандр»

Учитывая, что $S(t) = -A \cdot 2 < T < 0$ запишем выражение для определения коэффициентов b_n в следующем виде:

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} S(t) \sin n\omega_1 t dt. \quad (3.11)$$

Используя формулу для круговой частоты $\omega = 2\pi/T$, преобразуем выражение (3.11) к следующему виду: $\frac{4A}{Tn\omega_1} \left(1 - \cos \frac{n\omega_1 T}{2}\right)$. Окончательно получим выражение для коэффициента $b_n = \frac{2A}{\pi n} (1 - \cos \pi n)$, $b_n = 0$ при $n = 0, 2, 4, \dots, +\infty$ и $b_n = \frac{2A}{\pi n}$ при $n = 1, 3, 5, \dots, +\infty$.

Начальная фаза для всех гармоник $\pi/2$, $\Psi_n = \arctg \frac{b_n}{a_n} = \arctg \infty$, $\arctg \frac{\pi}{2} A_0 = a_0/2 = 0$, так как $\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} S(t) e^{-jn\omega_1 t} dt$.

Ряд Фурье для прямоугольного импульса «меандр», таким образом, имеет вид:

$$S(t) = \frac{4A}{\pi} \left(\sin \omega_1 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_1 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_1 t + \dots \right).$$

Как следует из рис. 3.9, спектр прямоугольного сигнала «меандр» содержит нечетные гармоники, амплитуда которых обратно пропорциональна номеру гармоники.

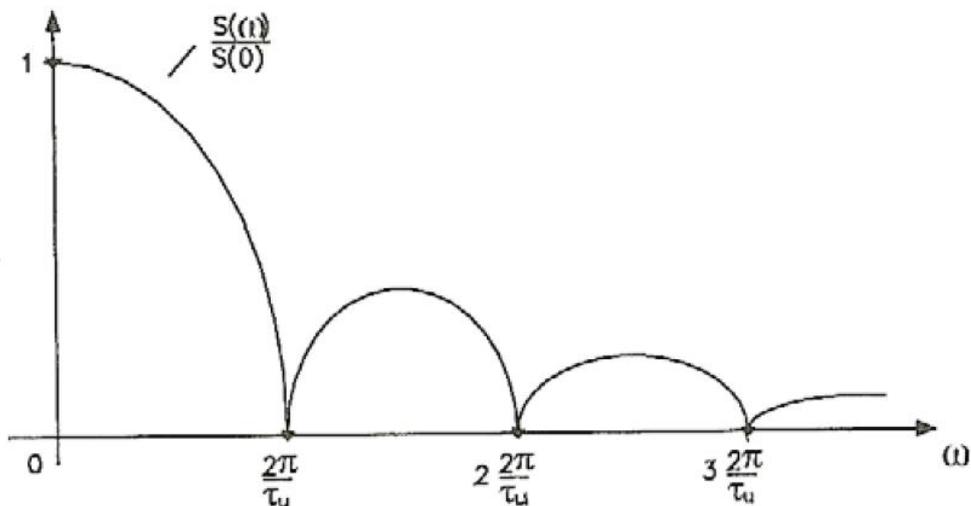


Рис. 3.9. Спектр прямоугольного сигнала «меандр»

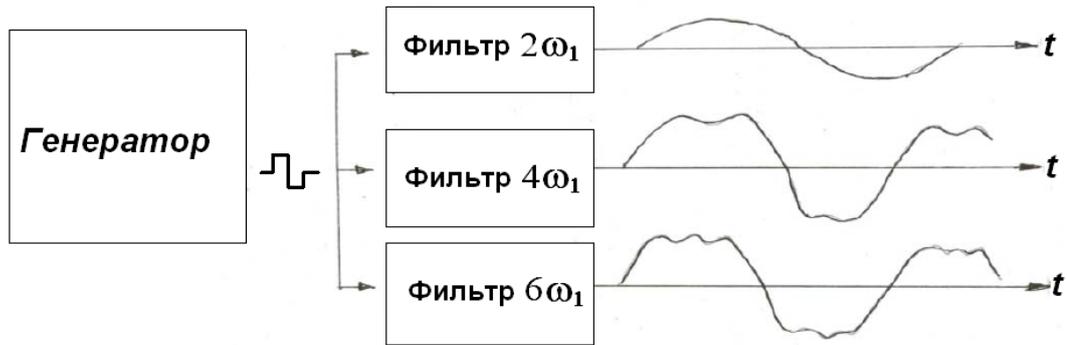


Рис. 3.10. Форма сигналов на выходе частотных фильтров

Из представленных рис. 3.8–3.10 следует, что чем больше гармоник используется, тем точнее воспроизведение формы сигнала; чем больше полоса частот канала связи, тем меньше искажается передаваемое сообщение. При неизменной форме импульсов закон изменения огибающей спектральных линий не зависит от частоты следования импульсов. С увеличением скважности импульсов число гармоник в спектре сигнала возрастает. В предельном случае, при $Q \rightarrow \infty$, получим одиночный импульс, спектр которого будет не дискретный, а сплошной.

Если поставить фильтры на частотах $2\omega_1$, $4\omega_1$, $6\omega_1$, где ω_1 – круговая частота основной гармоники, то на выходе фильтра можно наблюдать форму сигналов, приведенную на рис. 3.10.

3.9. Спектральный анализ непериодических сигналов

Спектральное представление непериодических функций осуществляется с помощью интегралов Фурье. Эта формула выводится следующим образом. Пусть имеется сигнал $S(t)$ произвольной формы. Выделим произвольный отрезок времени T , включающий период времени $[t_1, t_2]$. На этом временном участке сигнал можно представить в виде ряда Фурье. Считаем, что T – период функции, тогда функцию можно представить этом участке в виде разложения ряда Фурье:

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} C_n e^{-jn\omega_1 t}, \quad 0 < t < T. \quad (3.12)$$

Формула для коэффициентов Фурье имеет вид:

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} S(t) e^{-jn\omega_1 t} dt. \quad (3.13)$$

Подставляя формулу (3.13) в формулу (3.12), получим следующее выражение для разложения функции $S(t)$:

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} S(t) e^{-jn\omega_1 t} dt \right) e^{-jn\omega_1 t} \left(\frac{\omega_1}{2\pi} \right), \quad (3.14)$$

где $T = \omega_1 / 2\pi$.

При $T \rightarrow \infty$ получим бесконечно малые амплитуды гармонических колебаний. Число составляющих тоже будет бесконечно, так как частота основной гармоники будет стремиться к нулю ($\omega = 2\pi/T$). Спектр частот будет сплошным, поскольку основная частота стремится к нулю. Поэтому в выражении (3.14) можно заменить $n\omega_1 t$ на $d\omega$, а операцию суммирования заменить на интегрирование. Таким образом, выражение (3.14) преобразуется к следующему двойному интегралу:

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega t} \left[\int_{t_1}^{t_2} S(t) e^{-j\omega t} dt \right] d\omega. \quad (3.15)$$

Внутренний интеграл, являющийся функцией круговой частоты ω , называется спектральной плотностью или спектральной характеристикой сигнала и обозначается $S(\omega)$. Преобразование типа $S(\omega) = \int_{t_1}^{t_2} S(t) e^{-j\omega t} dt$ называется прямым преобразование Фурье, обратное преобразование Фурье имеет следующий вид

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (3.16)$$

Прямое преобразование Фурье $S(t)$ характеризует распределение энергии сигнала по частоте. По аналогии с рядом Фурье спектральную плотность сигнала можно записать в комплексной форме

$$S(\omega) = A(\omega) - jB(\omega) = S(\omega) e^{-\varphi(\omega)}, \quad (3.17)$$

где $A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cos \omega t dt$ – действительная часть; $B(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \sin \omega t dt$ – мнимая часть спектральной плотности; $S(\omega) = \sqrt{A^2(\omega) + B^2(\omega)}$ –

амплитудно-частотная характеристика (АЧХ); $\varphi(\omega) = \arctg \frac{B(\omega)}{A(\omega)}$ – фазо-частотная характеристика (ФЧХ).

Подставляя (3.17) в (3.16), получим тригонометрическую форму записи интеграла Фурье:

$$\begin{aligned} S(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j(\omega t - \varphi)} d\omega = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cos(\omega t - \varphi) d\omega + j \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \sin(\omega t - \varphi) d\omega \end{aligned} \quad (3.20)$$

Второй член выражения (3.20) равен нулю, так как под интегралом нечетная функция. Тогда тригонометрическая форма интеграла Фурье запишется в следующем виде:

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cos(\omega t - \varphi) d\omega. \quad (3.21)$$

Определим спектр прямоугольного импульса (рис. 3.11), амплитуда которого равна 1 В: $S(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } 0 \leq t \leq t_1; \\ 0, & \text{при } t_1 < t < \infty. \end{cases}$

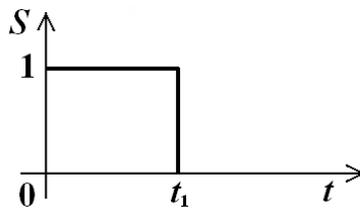


Рис. 3.11. Единичный прямоугольный импульс $S(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } 0 \leq t \leq t_1 \\ 0, & \text{при } t_1 < t < \infty \end{cases}$

Найдем спектральную плотность сигнала единичного прямоугольного импульса:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) e^{-j\omega t} dt = \int_0^{t_1} S(t) e^{-j\omega t} dt = \frac{1}{j\omega} (1 - e^{-j\omega t_1}) = \left(\frac{2}{\omega} \sin \frac{\omega t_1}{2} \right) e^{-\frac{j\omega t_1}{2}}. \quad (3.22)$$

В выражении (3.22) член $[(2/\omega)\sin\omega t_1/2]$ определяет амплитуду гармоники спектра сигнала, а член $e^{-j\omega t}$ – частоту гармоники. Модуль функции $S(\omega)$, равный $S(\omega) = [(2/\omega)\sin\omega t_1/2]$, определяет амплитудно-частотную характеристику функции $S(\omega)$. Найдем значения частот, при которых АЧХ спектральной плотности обращается в нуль. Это $\frac{\omega t_1}{2} = k\pi$, где $k = 1, 2, 3, \dots$, или $\omega = \frac{2k\pi}{t_1}$.

Значение спектральной плотности при $\omega = 0$ равно

$$S(0) = \int_0^{t_1} S(t) dt = 1 \cdot t_1, \quad (3.23)$$

что равно площади импульса.

Амплитудная характеристика прямоугольного импульса имеет вид, приведенный на рис. 3.12.

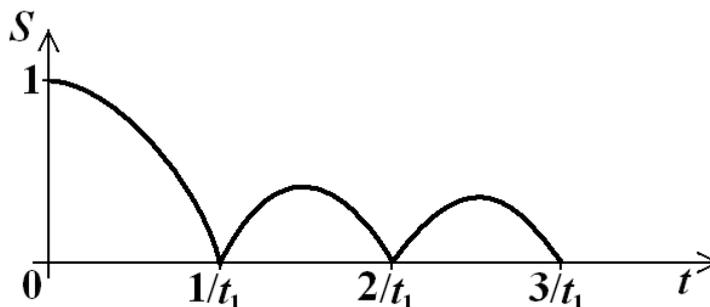


Рис. 3.12. Амплитудно-частотная характеристика прямоугольного импульса

При изменении импульса, т.е. при $t_1 \rightarrow \infty$, расстояние между нулями амплитудного спектра будет сокращаться и амплитудный спектр будет группироваться около нулевой частоты. Физически это означает, что при $t_1 \rightarrow \infty$ энергия сигнала также стремится к бесконечности, сосредотачиваясь около нулевой частоты.

При уменьшении длительности сигнала, при $t_1 \rightarrow 0$, расстояние между нулями АЧХ сигнала увеличивается и значение спектра на нулевой частоте будет равно нулю. Определим спектр прямоугольного радиоимпульса (рис. 3.13). Радиоимпульс представляет собой

гармоническое колебание периодом T и длительностью τ_n

$$S(t) = \begin{cases} \sin \omega_1 t, & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_n; \\ 0, & \text{при } 0 < \tau_n < \infty \end{cases}.$$

Здесь ω_1 – несущая частота.

Спектр прямоугольного сигнала можно определить с помощью формулы Фурье. Можно определить спектр логически, отождествляя временную и спектральную функции для данного сигнала, как показано на рис. 3.13.

Спектр гармонического сигнала содержит одну гармонику на частоте f_1 , спектр видеоимпульса содержит составляющие на частотах, кратные длительности видеоимпульса, спектр радиоимпульса содержит составляющие на частотах несущей частоты, кратных длительности импульса.

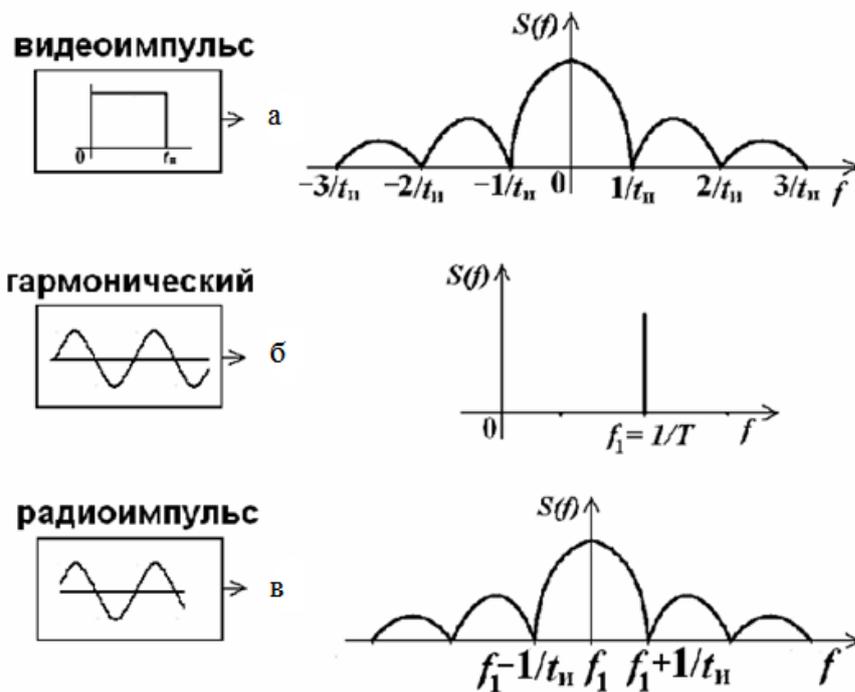


Рис. 3.13. Спектры: а – видеоимпульса; б – гармонического сигнала; в – радиоимпульса

3.10. Математические модели сигналов

Для передачи информации в качестве сигналов используют различные физические явления (обычно электрические, электромагнитные и оптические), характеризующиеся большим числом параметров. Однако не все параметры этих процессов существенны с точки зрения передачи информации. Поэтому часто применяют приближенное представление

физического процесса, используемого для передачи информации – **модель сигнала**.

Различают следующие параметры сигнала: структурные, идентифицирующие, информативные.

Структурные параметры определяют число степеней свободы сигнала. **Идентифицирующие** параметры служат для выделения полезного сигнала среди других сигналов, не предназначенных для данного адресата. **Информативные** используют для кодирования передаваемой информации.

Пример 3.4. Пусть математическое описание сигнала задано выражением:

$$S = X \sin(2\pi ft + \varphi), \quad (3.24)$$

и возможные сообщения, выбираемые из множества S источником, преобразуются в передатчике в различные значения амплитуды X синусоидального колебания.

В этом случае амплитуда сигнала X является информативным параметром сигнала. По частоте f сигнала S обычно его выделяют среди других сигналов того же класса с другими значениями частоты. Таким образом, частота f – идентифицирующий параметр. Число степеней свободы по информативному параметру сигнала S в общем случае зависит от времени – параметра t , поэтому время следует рассматривать как структурный параметр сигнала.

В случае, если информативный параметр X не зависит от структурного параметра t , то выбранное значение амплитуды остается неизменным на всем протяжении сигнала, т.е. каждое возможное сообщение сопоставляется с гармоническим колебанием бесконечной длительности и определенной амплитуды. Таким образом, в этом случае сигнал S по информативному параметру X имеет всего лишь **одну** степень свободы.

Если X зависит от параметра t в выражении $S(t) = X(t) \sin(2\pi ft + \varphi)$, то сигнал $S(t)$ в принципе имеет бесконечное число степеней свободы.

В качестве информативных можно использовать различные параметры, например частота f или фаза φ , причем f может быть одновременно и информативным, и идентифицирующим параметром.

По информативным параметрам различают сигналы **дискретные** и **непрерывные**. Если множество возможных значений информативного параметра сигнала конечно или счетно, то сигнал называется **дискретным**

по данному параметру. Если информативный параметр сигнала принимает континуум значений, то сигнал называется **непрерывным** (аналоговым) по данному параметру.

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры телекоммуникационных сетей.
2. Дайте определение информации.
3. Нарисуйте схему передачи информации.
4. Как определить количество информации и в каких единицах?
5. Какие основные понятия телекоммуникаций?
6. Что такое энтропия бинарных сообщений?
7. Какими свойствами обладает энтропия?
8. Какие физические процессы используются в качестве носителя информации?
9. Что выражает спектральная функция?
10. Разложить функцию в ряд Фурье
11. Дайте определение прямоугольному сигналу «меандр».
12. Дайте определение спектрам видеоимпульса, гармонического сигнала и радиоимпульса.
13. Дайте определение математическим моделям сигналов.

Глава 4. ФИЗИЧЕСКАЯ СРЕДА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Физическая среда передачи данных (*medium*) – это совокупность линий передачи данных (телекоммуникации) и блоков взаимодействия (сетевого оборудования, не входящего в станции данных), предназначенных для передачи данных между станциями данных. Среда передачи данных могут быть общего пользования или выделенными для конкретного пользователя.

Линии передачи данных – это средства, которые используются в информационных сетях для распространения сигналов в нужном направлении. Примерами линий передачи данных являются световод, витая пара проводов, коаксиальный кабель, т.е. набор проводов или оптических волокон, изоляционных и защитных оболочек и соединительных разъемов, а также земная атмосфера или космическое пространство, через которые распространяются электромагнитные волны.

Таким образом, линии передачи могут быть проводными и беспроводными (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Классификация каналов передачи данных

4.1. Из истории телекоммуникаций

Возникновение телекоммуникаций связывают с открытием телеграфной связи (США, Самюэл Морзе, 1837 г.). Вплоть до середины XIX века единственным средством сообщения между европейским континентом и Англией, Америкой и Европой, Европой и колониями оставалась паровая почта. О происшествиях и событиях в других странах узнавали с опозданием на целые недели, а порой и месяцы. Поэтому создание телеграфа отвечало самым настоятельным потребностям человечества. Таким образом, телеграф следует отнести к одному из важнейших изобретений в истории цивилизации, потому что вместе с ним человеческий разум одержал величайшую победу над расстоянием. Но, кроме того, что телеграф открыл новую веху в истории связи, изобретение это важно еще и тем, что здесь впервые, и притом в достаточно значительных масштабах, была использована электрическая энергия. Именно создателями телеграфа впервые доказано, что электрический ток можно заставить работать для нужд человека и, в частности, для передачи сообщений.

Первые линии связи были подземными кабельными. Однако вследствие несовершенства конструкции (электрической изоляции) кабелей подземные кабельные линии связи вскоре уступили место воздушным. Первые трансатлантические телеграфные кабели были проложены 1857–1868 гг. В России первая воздушная линия большой протяженности была построена в 1854 г. между Петербургом и Варшавой.

Изобретение телефона (Александр Белл, 1876 г.) придало мощный импульс к развитию телекоммуникаций. Уже 1877–1882 гг. в крупных городах были построены телефонные станции, а с изобретением (США, братья Строуджер, 1889 г.) декадно-шагового искателя стало возможно создание автоматических телефонных станций (АТС).

Сфера телекоммуникаций расширилась с изобретением нового средства беспроводной связи – радио. Развитие радиосвязи началось после того, как в 1895 г. А.С. Поповым, а годом позже Г. Маркони были созданы чувствительные приёмники, вполне пригодные для осуществления сигнализации без проводов, т.е. для радиосвязи. Очевидное огромное значение радиосвязи для военных флотов и для морского транспорта, а также гуманистическая роль радиосвязи (при спасании людей с кораблей, потерпевших крушение) стимулировали развитие её во всём мире. В 1906 г. были приняты международная конвенция и регламент радиосвязи, в которых зафиксировано распределение радиочастот между разными службами радиосвязи, основано Бюро регистрации радиостанций и установлен международный сигнал бедствия SOS. В 1915–1950 гг. аппаратура для радиосвязи развивалась главным образом на основе электронных ламп; затем были внедрены транзисторы и другие полупроводниковые приборы.

Важным в технике связи явилось развитие многоканальных и высокочастотных (ВЧ) систем передачи (1930–1935 гг.), благодаря успехам в области вакуумной электроники и высококачественных полимерных диэлектриков. Первая коаксиальная линия на 240 каналов ВЧ телефонирования была проложена в 1936 г. В 1956 г. была сооружена подводная коаксиальная магистраль между Европой и Америкой для многоканальной телефонной связи.

В 1965–1967 гг. появились опытные волноводные линии связи для передачи широкополосной информации, а также криогенные сверхпроводящие кабельные линии с весьма малым затуханием. С 1970 г. активно развернулись работы по созданию световодов и оптических кабелей, использующих видимое и инфракрасное излучения оптического диапазона волн.

Создание волоконного световода и получение непрерывной генерации полупроводникового лазера сыграли решающую роль в быстром развитии волоконно-оптической связи. К началу 80-х годов были разработаны и испытаны в реальных условиях волоконно-оптические системы связи. Основные сферы применения таких систем: телефонная сеть, кабельное телевидение, внутриобъектовая связь, вычислительная техника, система контроля и управления технологическими процессами и т.д.

4.2. Линии связи

Непременными и одними из наиболее сложных и дорогостоящих элементов связи являются линии связи (ЛС), по которым передаются информационные электромагнитные сигналы от одного абонента (станции, передатчика, регенератора и т.д.) к другому (станции, регенератору, приемнику и т.д.) и обратно. Очевидно, что эффективность работы систем связи во многом предопределяется качеством ЛС, их свойствами и параметрами, а также зависимостью этих величин от частоты и воздействия различных факторов, включая мешающие влияния сторонних электромагнитных полей. Электромагнитные волны распространяются по-разному в различных средах, причем законы распространения зависят от параметров волн. Металлы хорошо проводят электромагнитные излучения в области радиоволн (до 300 ГГц), а световоды сконструированы для работы в видимом оптическом диапазоне.

Характеристики линий связи. К основным характеристикам линий связи относятся амплитудно-фазовая частотная характеристика, полоса пропускания, затухание, помехоустойчивость, перекрестные наводки на ближнем конце линии, пропускная способность и достоверность, удельная стоимость.

В первую очередь разработчика вычислительной сети интересуют пропускная способность и достоверность передачи данных, поскольку эти характеристики прямо влияют на производительность и надежность создаваемой сети. Пропускная способность и достоверность – это характеристики как линии связи, так и способа передачи данных. Поэтому если способ передачи (протокол) уже определен, то известны и эти характеристики.

Различают два основных типа ЛС: линии в пространстве (радиолинии (РЛ)) и направляющие линии передачи (линии связи).

Отличительной особенностью направляющих линий связи является то, что распространение сигналов в них от одного абонента (станции, устройства, элемента схемы и т.д.) к другому осуществляется только по

специально созданным цепям и трактам ЛС, образующим направляющие системы, предназначенные для передачи электромагнитных сигналов в заданном направлении с должными качеством и надежностью.

По линиям связи передаются сигналы от постоянного тока до оптического диапазона частот, а рабочий диапазон длин волн простирается от 0,85 мкм до сотен километров.

Различают три основных типа направляющих ЛС: кабельные (КЛ), воздушные (ВЛ), волоконно-оптические (ВОЛС). Кабельные и воздушные линии относятся к проводным линиям, у которых направляющие системы образуются системами «проводник – диэлектрик», а волоконно-оптические линии представляют собой диэлектрические волноводы, направляющая система которых состоит из диэлектриков с различными показателями преломления.

Волоконно-оптические линии связи представляют собой системы для передачи световых сигналов микроволнового диапазона волн от 0,8 до 1,6 мкм по оптическим кабелям. Достоинствами ВОЛС являются низкие потери, большая пропускная способность, малые масса и габаритные размеры, экономия цветных металлов, высокая степень защищенности от внешних и взаимных помех.

Кабельные линии по назначению подразделяются на **внутриплощадочные, местные, внутризоновые, магистральные, международные.**

- **Внутриплощадочные** – сети на территории одного объекта (завод, нефтебаза ...); назначение – обеспечение технологической и производственной связью внутри объекта. Пример – имеется совокупность резервуаров для хранения жидких химикатов. В резервуарах есть датчики температуры, уровня и пр. Кабель, по которому передаются сигналы с датчиков в серверную для мониторинга и обработки, будет входить в состав внутриплощадочных сетей.

- **Местные** – кабельные линии между зданиями в городе (разные предприятия) или близлежащими населенными пунктами (поселки, села ...); назначение – обеспечение связью на местном уровне, например, каналы телефонной связи для присоединения ведомственной АТС к городской АТС.

- **Внутризоновые** – кабельные линии внутри одного края, области; назначение – обеспечение связью внутри данной зоны.

- **Магистральные** – кабельные линии, соединяющие более одного субъекта; назначение – обеспечение связью между субъектами.

- **Международные** – кабельные линии, проходящие через границу государств(а); назначение – обеспечение связью между странами (сеть Интернет).

Основные требования к междугородным линиям связи могут быть сформулированы следующим образом:

- осуществление связи на расстояния до 12500 км в пределах страны и до 25000 км для международной связи;
- широкополосность и пригодность для передачи различных видов современной информации (телевидение, телефонирование, передача данных, вещание, передача полос газет и т.д.);
- защищенность цепей от взаимных и внешних помех, а также от грозы и коррозии;
- стабильность электрических параметров линии, устойчивость и надежность связи;
- экономичность системы связи в целом.

Кабельная линия междугородной связи представляет собой сложное техническое сооружение, состоящее из огромного числа элементов. Так как линия предназначена для длительной работы (десятки лет) и на ней должна быть обеспечена бесперебойная работа сотен и тысяч каналов связи, то ко всем элементам линейно-кабельного оборудования, и в первую очередь к кабелям и кабельной арматуре, входящим в линейный тракт передачи сигналов, предъявляются высокие требования. Выбор типа и конструкции линии связи определяется не только процессом распространения энергии вдоль линии, но и необходимостью защитить расположенные рядом ВЧ цепи от взаимных мешающих влияний. Кабельные диэлектрики выбирают исходя из требования обеспечения наибольшей дальности связи в каналах ВЧ при минимальных потерях.

В соответствии с этим кабельная техника развивается в следующих направлениях:

1. Преимущественное развитие цифровых кабельных систем, позволяющих организовать мощные пучки связи и передачу программ телевидения на большие расстояния по однокабельной системе связи.

2. Создание и внедрение перспективных оптоволоконных линий связи, обеспечивающих получение большого числа каналов и не требующих для своего производства дефицитных металлов (медь, свинец).

3. Широкое внедрение в кабельную технику пластмасс (полиэтилена, полистирола, полипропилена и др.), обладающих хорошими электрическими и механическими характеристиками и позволяющих автоматизировать производство.

4. Внедрение алюминиевых, стальных и пластмассовых оболочек вместо свинцовых. Оболочки должны обладать герметичностью и обеспечивать стабильность электрических параметров кабеля в течение всего срока службы.

5. Разработка и внедрение в производство экономичных конструкций кабелей внутризональной связи (однокоаксиальных, одночетверочных, безбронных).

6. Создание экранированных кабелей, надежно защищающих передаваемую по ним информацию от внешних электромагнитных влияний и грозы, в частности кабелей в двухслойных оболочках типа «алюминий – сталь» и «алюминий – свинец».

7. Повышение электрической прочности изоляции кабелей связи. Современный кабель должен обладать одновременно свойствами как высокочастотного кабеля, так и силового электрического кабеля и обеспечивать передачу токов высокого напряжения для дистанционного электропитания необслуживаемых усилительных пунктов на большие расстояния.

Проводные (воздушные) линии связи представляют собой провода без каких-либо изолирующих или экранирующих оплеток, проложенные между столбами и висящие в воздухе («лапша»). По таким линиям связи традиционно передают телефонные или телеграфные сигналы, но при отсутствии других возможностей эти линии используют и для передачи компьютерных данных. Скоростные качества и помехозащищенность этих линий оставляют желать лучшего.

4.3. Кабельные линии

Кабельные линии представляют собой достаточно сложную конструкцию. Кабель состоит из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции: электрической, электромагнитной, механической, а также, возможно, климатической (рис. 4.2).

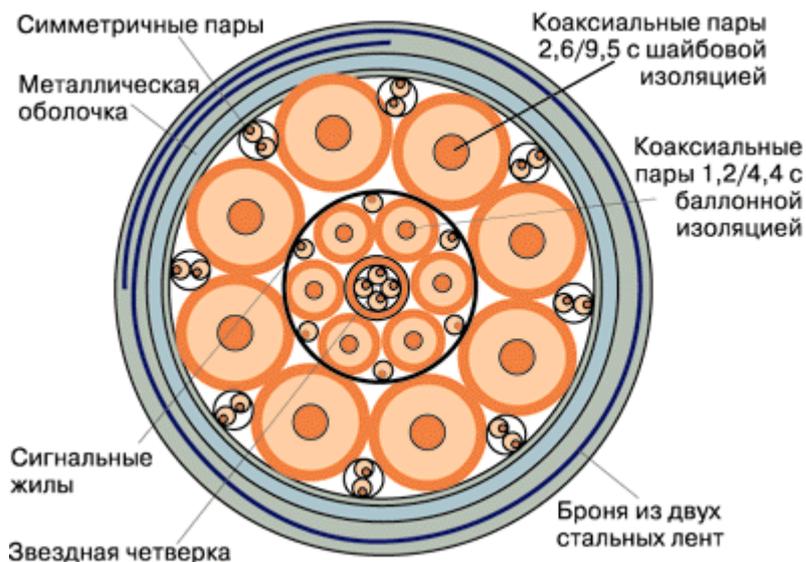


Рис. 4.2. Комбинированный коаксиальный кабель для прокладки в земле

Основных типов медных кабелей связи два: симметричные и коаксиальные. Название они получили по структуре направляющей, на базе которой сконструированы. Симметричные кабели в своей основе имеют скрученную пару (ее в компьютерной литературе чаще всего называют витой). Коаксиальные кабели в качестве базовой направляющей используют коаксиальную пару (коаксиал).

Невитая пара проводов – наиболее простая среда передачи данных, представляющая собой пару параллельных проводников (медных), разделенных полимерной диэлектрической оболочкой (обычный телефонный провод).

4.4. Витая пара проводов

Витая пара проводов – состоит из двух медных изолированных проводов диаметром 0,5 мм, один из которых обвит вокруг другого (*twisted pair*). Вьющийся провод предназначен для устранения взаимного влияния между соседними витыми парами. Скручивают пары с различными шагами, обычно от 100 до 10 мм. Чем выше категория пары, тем короче шаги скрутки. Провода пары имеют изоляцию из полиэтилена, поливинилхлорида или фторопласта (тефлона). В многопарном кабеле длина шага скрутки у разных пар различна. Волновое сопротивление таких пар, как правило, составляет 100 Ом, но известны случаи сопротивления и 120 Ом, и 150 Ом. Экранированный кабель с витой парой, помимо проводников, включает дополнительные экраны для каждой пары проводников (медная оплетка и фольга), ослабляющие их взаимное влияние и влияние внешних электрических помех (рис. 4.3).

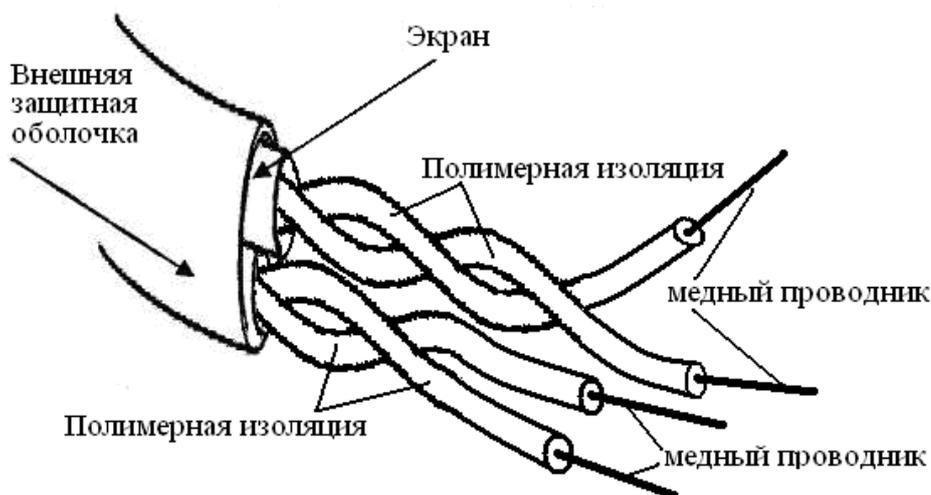


Рис. 4.3. Экранированный кабель с витой парой с четырьмя проводами

Существует несколько разновидностей витых пар:

- *UTP (Unscreened Twisted Pair)* – неэкранированная витая пара;
- *FTP (Foiled Twisted Pair)* – фольгированная витая пара с одним общим внешним экраном;
- *SFTP (Shielded Foiled Twisted Pair)* – фольгированная экранированная витая пара с двумя внешними экранами;
- *STP (Shielded Twisted Pair)* – защищенная витая пара. В таком кабеле каждая пара экранирована отдельным экраном;
- *S/STP (Screened Shielded Twisted Pair)* – защищенная экранированная витая пара, отличающаяся от *STP* наличием дополнительного общего внешнего экрана.

Кабель *STP* по сравнению с *UTP* меньше подвержен воздействию электрических помех и может передавать сигналы с более высокой скоростью и на большие расстояния.

Одним из недостатков витой пары является возможность перехвата передаваемой информации. Это делается либо с помощью воткнутых в кабель двух иголок, либо путем считывания излучаемого кабелем электромагнитного поля. Экранирование обеспечивает защиту от электромагнитных наводок и несанкционированного подслушивания. С другой стороны, экранированный кабель значительно дороже, поэтому используется реже.

Кабели на основе витой пары по рабочей частоте делятся на следующие категории:

- к категории 1 относят обычные невитые телефонные кабели. По ним можно передавать только речь, но не данные;
- кабель категории 2 позволяет передавать данные в полосе частот до 1 МГц (используется редко).

Американский стандарт кабельных систем, принятый в июле 1991 г.:

- кабель категории 3 используется для передачи данных в полосе частот до 16 МГц. Он состоит из витых пар с 9 витками проводов на 1 м длины;
- кабель категории 4 передает данные в полосе частот до 20 МГц; Используется редко, так как не слишком отличается от категории 3. Стандартом рекомендуется вместо кабеля категории 3 переходить сразу на кабель категории 5;
- кабель категории 5 в настоящее время – самый совершенный кабель, рассчитанный на передачу данных в полосе частот до 100 МГц. Состоит из витых пар, имеющих не менее 27-ми витков на 1 м длины.
- кабель категории 6 – перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 200 (или 250) МГц;

- кабель категории 7 – перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 600 МГц.

Согласно стандарту Ассоциации электронной/телекоммуникационной промышленности США (*Electronic Industries Association and the Telecommunications Industries Association 568 Commercial Building Wiring Standart (EIA/TIA 568)*), полное волновое сопротивление кабелей категорий 3, 4 и 5 должно составлять $100 \text{ Ом} \pm 15 \%$ в частотном диапазоне от 1 МГц до максимальной частоты кабеля. Волновое сопротивление экранированной витой пары *STP* равно $150 \text{ Ом} \pm 15 \%$.

Стандарт определяет также максимально допустимую величину рабочей емкости каждой из витых пар кабелей категории 4 и 5. Она должна составлять не более 17 нФ на 305 м при частоте сигнала 1 кГц и температуре окружающей среды 20 °С.

Кабели категории *UTP-7* обязательно экранируются, а *UTP-6* могут быть как экранированными, так и нет. Они используются в высокоскоростных сетях на отрезках большей длины, чем *UTP-5*. Эти кабели значительно дороже 5-й категории и по стоимости приближаются к волоконно-оптическим кабелям. Кроме того, они пока не стандартизированы и их характеристики определяются только фирменными стандартами, из-за чего возникают проблемы при тестировании кабельной системы (спецификация по тестированию *TSB-67* стандарта *EIA/TIA-568A* не включает кабели 6-й и 7-й категории).

Преимущество витых пар заключается в простоте монтажа и ремонта, а также в низкой стоимости кабеля. С другой стороны, неэкранированные кабели на основе витых пар обладают рядом недостатков: они подвержены влиянию электромагнитных помех и не гарантируют защиту передаваемой информации. Максимальная длина кабеля составляет 100 м.

Категории 3, 4 и 5 для неэкранированной витой пары поддерживают рабочие частоты до 16, 20 и 100 МГц соответственно. Согласно стандарту *EIA/TIA-568*, эти категории определяют поддерживаемый диапазон рабочих частот, а не скорость передачи данных по сети. Таким образом, скорость передачи сигналов конкретной локальной сети требуется сопоставить с аналогичной характеристикой для данной категории.

Каждая категория кабелей *UTP*, определенная *EIA/TIA-568*, имеет свои ограничения, выражаемые в терминах погонного и переходного затухания. Предельно допустимые значения погонного и переходного затухания для кабелей категории 3, 4 и 5 приведены в табл. 4.1. Так как категория 3 поддерживает частоты только до 16 МГц, а категория 4 – до 20

МГц, предельные значения на более высоких частотах для этих кабелей не указаны. Приведенные в табл. 4.1, значения относятся только к определяемым стандартом расстояниям передачи. Для горизонтальной проводки максимальная протяженность кабеля между оборудованием в монтажном шкафу и информационной розеткой составляет 90 м. Соединительный кабель между информационной розеткой и адаптером локальной сети не должен превышать 10 м. Таким образом, общая длина подключения от компьютера до сетевого оборудования не должно превышать 100 м.

Предельные значения для погонного и переходного затухания определяются для каждой пары в кабеле; в этом разделе *EIA/TIA* не указано количество пар, необходимых для поддержки конкретного типа сети.

Таблица 4.1

Предельные значения затухания и *NEXT*

Рабочая частота, (МГц)	Категория кабеля					
	3		4		5	
	Предельные значения затухания и <i>NEXT</i> , дБ					
	Затухание	<i>NEXT</i>	Затухание	<i>NEXT</i>	Затухание	<i>NEXT</i>
10,0	11,5	22,7	7,5	36,6	7,0	44,0
20,0	–	–	11,0	31,4	10,3	39,0
100,0	–	–	–	–	24,0	27,1

Кабели с неэкранированными витыми парами должны удовлетворять определенным требованиям, сформулированным в согласованных между собой документах организаций *IEEE*, *EIA/TIA* (*Electronic Industry Assotiation/ Telecommunication Industry Assotiation*), *NEMA* (*National Electrical Manu-facturers Assotiation*) и др. Соответствие выпускаемых промышленностью кабелей предъявляемым требованиям устанавливается в процессе сертификации. В США такого рода сертификацию проводит независимая организация *UL*, разработавшая специальную программу проведения испытаний и классификации кабелей по двум направлениям:

- по электробезопасности (требования сформулированы в американском стандарте *NEC – National Electrical Code*);
- по техническим характеристикам (требования сформулированы в документах *EIA/TIA* и *NEMA*).

Только после сертификационных испытаний фирма-изготовитель имеет право ставить на оболочке кабеля вместе со знаком *UL* соответствующее обозначение. Сертификация обеспечивает надежность и качество кабельной продукции на всех этапах изготовления, поставки и эксплуатации. В состав программы сертификации (*Data Transmission Performance-Level Marking Program*) входит определение уровня и маркировка кабелей из витых пар с волновым сопротивлением 100 Ом. Программа базируется на проверке выполнения требований промышленных стандартов для параметров и характеристик, описанных в спецификациях *EIA/TIA*, *TSB-36* и др.

Для подключения витой пары к компьютеру используют телефонные коннекторы *RJ-45* (рис. 4.4). На первый взгляд, они похожи на *RJ-11*, но в действительности между ними есть существенные отличия. Во-первых, вилка *RJ-45* чуть больше по размерам и не подходит для гнезда *RJ-11*. Во-вторых, коннектор *RJ-45* имеет восемь контактов, а *RJ-11* – только четыре.

Для подключения к вычислительной машине (через сетевой интерфейс) используется *DIX*-коннектор (*Digital Intel Xerox* – соответствует названиям фирм-разработчиков) и *DB-15P*-вилка.



Рис. 4.4. Коннекторы *RJ-45* для подключения витой пары к узлу вычислительной сети

4.5. Коаксиальный кабель

Коаксиальный кабель (*coaxial*) – широко используемая физическая среда передачи данных в первых стандартных вычислительных сетях. Он имеет несимметричную конструкцию и состоит из внутренней медной жилы и оплетки, отделенной от жилы слоем изоляции. Существует две его разновидности – «толстый» (*thick*) и «тонкий» (*thin*), которые различаются по толщине центрального проводника. Структура коаксиального кабеля показана на рис. 4.5. Толстый кабель диаметром 12,5 мм обеспечивает

более надежную защиту от внешних шумов, он прочнее, имеет меньшее затухание, передает информацию на значительные расстояния, но он плохо гнется, что затрудняет прокладку соединений в помещениях и дорожке «тонкого», и требует использования специального отвода (прокалывающего разъема и отводящего кабеля) для подключения компьютера или другого устройства. Тонкий кабель передает информацию на более короткие расстояния, однако он дешевле и для его подключения используют простые соединители.

Тонкий коаксиальный кабель (*RG-58/U*, *RG-58/A*, *RG-58C/U*) – гибкий кабель диаметром 6,25 мм; используется для объединения узлов вычислительной сети на расстояниях до 185 м (например, стандарт *10Base-2*).

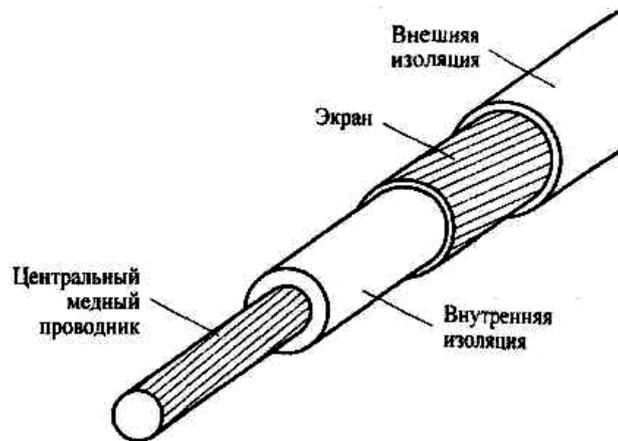


Рис. 4.5. Конструкция коаксиального кабеля

Тонкий коаксиальный кабель относится к стандарту семейства кабеля *RG-58*, его волновое сопротивление равно 50 Ом. Основная отличительная особенность заключается в медной центральной жиле. Она может быть сплошной или состоять из нескольких переплетенных проводов (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Разновидности коаксиального кабеля

Наименование	Описание
<i>RG-58/U</i>	Сплошная медная жила
<i>RG-58 A/U</i>	Переплетенные провода
<i>RG-6</i>	Имеет больший диаметр по сравнению с <i>RG-58</i> , предназначен для передачи данных на больших частотах или для широкополосной передачи

Для подключения тонкого коаксиального кабеля к вычислительным машинам используются *BNC*-коннекторы (*British Naval Connector, BNC*). В семействе *BNC* несколько устройств (рис. 4.6):

- *BNC*-коннектор – коннектор, который либо припаивается, либо обжимается на концах кабеля;
- *BNC T*-коннектор – коннектор, который соединяет сетевой кабель с сетевым интерфейсом узла сети;
- *BNC*-баррел-коннектор – применяется для соединения двух отрезков тонкого коаксиального кабеля;
- *BNC*-терминатор – применяется в сетях с топологией «шина» для поглощения «свободных» сигналов. Терминаторы устанавливаются на каждом конце кабеля.

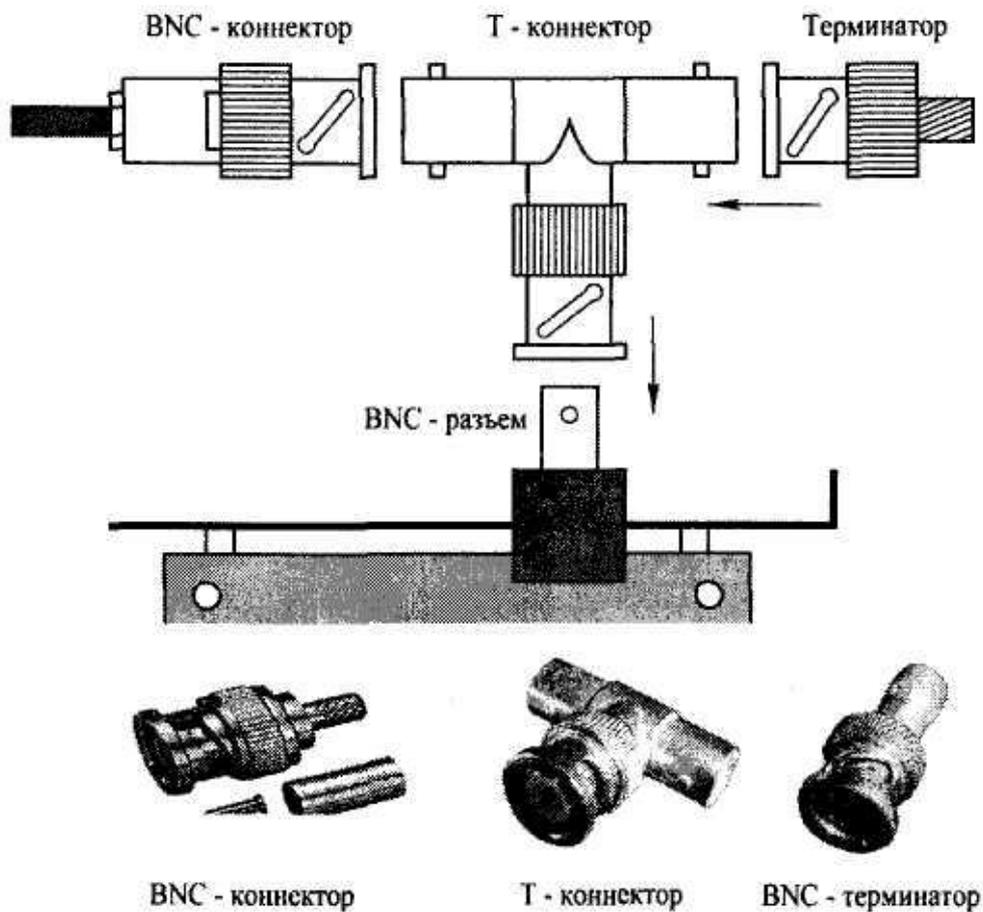


Рис. 4.6. Схема подключение тонкого коаксиального кабеля

Толстый коаксиальный кабель (*RG-8, RG-11*) – это жесткий кабель диаметром около 1 см. Медная жила этого кабеля толще, чем у тонкого коаксиального кабеля, благодаря чему по толстому коаксиальному кабелю сигналы передаются на большие расстояния (до 500 м, например, – стандарт *10Base-5*), чем по тонкому.

Для подключения к толстому коаксиальному кабелю применяют специальное устройство – трансивер (*transceiver*). Трансивер снабжен коннектором, называемым «зуб вампира» (*vampire tap*) или «пронзающий ответвитель» (*piercing tap*). Этот «зуб» проникает через изоляционный слой и вступает в непосредственный электрический контакт с проводящей жилой. Чтобы подключить трансивер к сетевому адаптеру, надо кабель трансивера подключить к коннектору AUI-порта сетевой платы. Этот коннектор известен также как DIX-коннектор (*Digital Intel Xerox*), в соответствии с названиями фирм-разработчиков, или коннектор DB-15.

Стандарт *NEC* содержит самый полный набор требований по электробезопасности и включает, в частности, требования по пожаробезопасности кабелей. В соответствии с *NEC* наибольшую опасность при эксплуатации кабелей представляют инициирование огня электрическими цепями и распространение огня по кабелям. Требования пожаробезопасности определяются в зависимости от того, в каком виде проводки (горизонтальной или вертикальной) используются кабели. Кабели связи и слаботочные кабели должны быть отнесены к конкретному типу, определенному в стандарте *NEC*, в зависимости от использования внутри здания.

Оценку безопасности кабелей для локальных сетей выполняет *UL* по одному из двух стандартов: *UL444* – для кабелей связи; *UL13* – для слаботочных кабелей, причем кабели для локальных сетей можно оценить по любому из этих стандартов.

Программа сертификации по уровню характеристик проводится для кабелей связи и слаботочных кабелей. *UL* оценивает образцы кабелей по результатам испытаний всех характеристик, предусмотренных в сертификационной программе, а именно: сопротивление изоляции, асимметрия сопротивлений проводников, емкостная асимметрия, волновое сопротивление, структурные возвратные потери, коэффициент затухания и переходное затухание на ближнем конце.

Сертификации подвергаются не только кабели, но и процесс их производства. Чтобы поддерживать высокий уровень качества своей продукции, производители кабелей следуют одной из выбранных программ испытаний.

Классификация кабелей различных фирм-производителей по уровням, приведенная в табл. 4.3, соответствует стандарту качества *ISO 9002*. *UL* является участником программы *ISO 9002* и осуществляет оценку качества процесса производства. Сертифицированные кабели становятся объектом программы сопровождения (*Follow Up Services Program*), в соответствии с которой *UL* выполняет все последующие испытания, проводит необходимые инспекции на заводах-изготовителях, контролирует качество испытаний, проводимых изготовителями.

Классификация кабелей

Рабочая полоса частот (скорость передачи)	Фирма производитель			
	<i>Anixter</i>	<i>UL</i>	<i>EIA/TIA</i>	<i>AT&T</i>
Передача речи и данных (до 20 Кбит/с)	<i>Level 1</i>	<i>Level I</i>	–	–
1МГц(1Мбит/с)	<i>Level 2</i>	<i>Level II</i>	–	–
16МГц(16Мбит/с)	<i>Level 3</i>	<i>Level III</i>	<i>Category 3</i>	<i>Category III</i>
20 МГц (20 Мбит/с)	<i>Level 4</i>	<i>Level IV</i>	<i>Category 4</i>	<i>Category IV</i>
100МГц(100Мбит/с) 155 МГц (155 Мбит/с)	<i>Level 5</i>	<i>Level V</i>	<i>Category 5</i>	<i>Category V</i>

4.6. Каналы связи, использующие в качестве физической среды передачи информации существующую сеть электропитания

Семейство технологий связи *Powerline Communications* использует в качестве физической среды передачи информации уже существующую электропроводку (220 или 120 В). Чтобы создать сеть, допустим, в жилом доме, нет необходимости прокладки кабеля, монтирования различных сетевых устройств и заботе об их сохранности. Еще одно преимущество такой сети для безопасности передачи данных – перехватить данные в электросети не так уж просто, если сравнивать с обычной витой парой. Также возможно аппаратное шифрование потока данных.

В зависимости от расстояния между объектами возможны следующие режимы обмена данными:

- **Высокоскоростной обмен (*High baud rate*).** В этом режиме обеспечивается передача данных на расстояние до нескольких сотен метров. Скорость передачи данных обратно пропорциональна расстоянию, минимальная скорость передачи в высокоскоростном режиме – 100 кбит/с, максимальная – 14 Мбит/с (практически никогда не достигается).

- **Среднескоростной обмен (*Medium baud rate*)** – предназначен для передачи информации на средние расстояния – до 2–3 километров. При этом максимальная скорость передачи данных в этом режиме составляет 50 кбит/с, а минимальная – 0,05 кбит/с, что сравнимо с аналоговыми линиями телефонной связи.

- **Низкоскоростной обмен (*Low baud rate*)** обеспечивает передачу данных на расстояние более 10 километров со скоростью не более 0,05 кбит/с. Данный режим полезен для передачи служебной информации небольшого объема.

Для подключения компьютеров к электросети можно использовать специальные адаптеры – *Powerline to Ethernet* или *Powerline to USB* фирмы *Planet Technology*.

4.7. Оптические каналы

Оптоволоконные каналы передачи данных предназначены для перемещения больших объемов данных на очень высоких скоростях. В начале 1970-х годов, после многолетних и трудоемких поисков, было создано волокно с потерями света при передаче менее 20 дБ/км. Достоинством оптоволоконных каналов является их высокая помехоустойчивость.

Основным элементом оптоволоконного кабеля (ОК) является оптическое волокно (световод), выполненное в виде тонкого стеклянного волокна цилиндрической формы, по которому передаются световые сигналы с длинами волны 0,85–1,6 мкм, что соответствует диапазону частот $2,3–1,2 \cdot 10^{14}$ Гц.

Типичный световод состоит из сердцевины и оболочки с разными показателями преломления n_1 и n_2 (рис. 4.7). Сердцевина служит для передачи электромагнитной энергии. Назначение оболочки – создание лучших условий отражения на границе «сердцевина – оболочка» и защита от помех из окружающего пространства. У сердцевины показатель преломления чуть-чуть больше, чем у оболочки, из-за чего световой луч испытывает практически полное внутреннее отражение на границе «сердцевина – оболочка» (рис. 4.7). Поверх световода накладывают несколько слоев защитных покрытий, улучшающих его механические и оптические характеристики. Световод со всеми этими покрытиями называют оптическим волокном.



Рис. 4.7. Прохождение света через оптоволокно

Сердцевина волокна, как правило, состоит из кварцевого стекла (SiO_2), а оболочка может быть кварцевая или полимерная. Первое волокно называется «кварц – кварц», а второе «кварц – полимер».

(кремнеорганический компаунд). Исходя из физико-оптических характеристик предпочтение отдается первому.

Снаружи световода располагается защитное покрытие для предохранения его от механических воздействий и нанесения расцветки. Защитное покрытие обычно изготавливается двухслойным: вначале кремнеорганический компаунд (СИЭЛ), а затем – эпоксидакрилат, фторопласт, нейлон, полиэтилен или лак. Общий диаметр волокна 500–800 мкм (рис. 4.8).

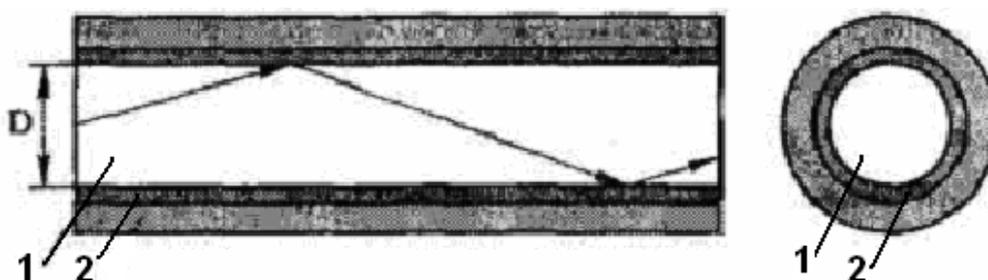


Рис. 4.8. Типичный световод

Волоконно-оптический кабель (*optical fiber*) – наиболее качественный тип кабеля, он обеспечивает передачу данных с очень высокой скоростью (используя технологию *WDM (Wavelengths Division Multiplexing)* достигнуты экспериментальные результаты свыше 1100 Гбит/с на расстоянии 150 км) и к тому же лучше других типов передающей среды обеспечивает защиту данных от внешних помех.

Конструкций световодов и оптических волокон очень много, но основных типов два: многомодовый и одномодовый. Диаметр сердцевины у многомодовых волокон в десятки раз превышает длину волны передаваемого излучения, из-за чего по волокну распространяется несколько типов волн (мод). Окна прозрачности кварца, из которого изготовлены световоды, находятся в области длин волн 0,85; 1,3; 1,55 мкм, а стандартные диаметры сердцевины многомодовых волокон – 50 и 62,5 мкм.

У одномодового волокна диаметр сердцевины находится обычно в пределах 5–10 мкм (компания *AT&T*, например, стандартизировала 8,3 мкм). Это волокно называют одномодовым в соответствии со сложившейся традицией, т.е. условно: для того чтобы по волокну передавался только один тип волны (одна мода), размер сердцевины должен быть еще меньше. Диаметр кварцевой оболочки световода тоже стандартизован и составляет 125 мкм.

Для связи на короткие расстояния чаще всего используют многомодовые волокна: – они все же проще в монтаже и эксплуатации. На

дальние расстояния употребляют одномодовые волокна: – они имеют значительно меньшее затухание и уменьшенную дисперсию светового импульса, хотя их сложнее и монтировать, и эксплуатировать.

Параметр «затухание» характеризует ослабление мощности светового потока при передаче по оптическому волокну. Он подобен параметру электрических кабелей и также измеряется в дБ/км. Дисперсия импульса – это его «размывание» при распространении по оптоволокну. Поначалу высокий и стройный импульс при передаче оседает и толстеет. Если два импульса расположены рядом, то по мере прохождения по волокну из-за дисперсии они напозаают друг на друга и в конце концов перестают различаться. Дисперсия импульса зависит от затухания, микронеоднородностей, микротрещин, от внутренней структуры материала световода и еще от других факторов.

Световые импульсы образуются с помощью источника излучения – лазера или светодиода, а кодирование информации осуществляется изменением интенсивности света. На принимающем конце кабеля детектор (фотодиод) преобразует световые сигналы в электрические. Для передачи от источника к волокну очень важна апертура, т.е. действующий раскрыв на входе световода. Апертура зависит от размера сердцевины волокна и от согласования источника с оптоволоком. При неудачном согласовании лишь небольшая доля мощности от передатчика попадает в световод, а остальная энергия отражается. Наоборот, если апертура хорошо согласована с источником, то такое сочетание очень эффективно: вся энергия попадает в световод.

Голый световод плохо переносит всяческие воздействия – изгибы, растяжения, влагу, и поэтому его покрывают защитными материалами (лаками, пластиками), окружают кевларовыми волокнами. И хотя сам световод имеет диаметр 125 мкм, с покрытиями его размер достигает 0,5 мм и более. В таком виде оптоволокну уже можно помещать в кабель – теперь оно сможет противостоять внешним воздействиям. При конструировании кабеля принимают еще дополнительные меры по защите волокон: упрятывают оптические волокна в толстые пластиковые трубки, рядом укладывают упрочняющие стальные и пластмассовые стержни, а весь внутренний объем кабельной оболочки часто заполняют гидрофобным (водоотталкивающим) материалом или толстыми и прочными пучками пластиковых волокон.

Конструкции оптических кабелей различны. Встречаются кабели с небольшим количеством волокон. Но чаще они представляют собой сложные агрегаты, содержащие множество оптических волокон, помещенных в специальные модули, дополненные еще различными несущими, защитными, питающими и другими элементами.

Крайне важна заделка оптоволокна в разъем – ведь от этого зависит эффективность перехода световых импульсов в местах соединений. Поэтому во всех инструкциях по волоконно-оптическим линиям связи на подготовку и заделку оптических разъемов обращают особое внимание. Заделанный в разьеме конец оптоволокна герметизируют клеем, эпоксидной смолой или другим заполнителем (рис. 4.9). Затем пристальное внимание обращается обычно на радиус изгиба оптического кабеля. При недостаточно большом радиусе изгиба увеличивается затухание тракта, а при слишком маленьком – возможны поломки световедущих частей оптических кабелей.



Рис. 4.9. Оптический коннектор

Операция по изгибанию оптического кабеля выполняется не как с медными кабелями (просто в пространстве), а на специальной полке, где аккуратно изогнутые кольца и петли из оптического кабеля тщательно закрепляют. Само собой разумеется, что и соединители (рис. 4.9) для оптических линий изготавливают более тщательно, чем обычные, а заделку в них оптоволокна выполняют часто под микроскопом, оснащенный хорошим дисплеем.

Соединение оптоволоконного кабеля выполняется электрически с помощью специальных коннекторов или механически – «свариванием» концов кабеля. Каждый оптоволоконный проводник передает сигналы только в одном направлении, поэтому для передачи данных в противоположном направлении необходимо использовать два независимо подключенных волокна с отдельными коннекторами.

4.8. Структурированные кабельные системы

Структурированная кабельная система (СКС) представляет собой иерархическую кабельную систему здания или группы зданий, разделенную на структурные подсистемы. Она состоит из набора медных и оптических кабелей, коммутационных панелей или кросс-панелей (кроссов), соединительных шнуров, кабельных разъемов, модульных гнезд, информационных розеток и вспомогательного оборудования. Все элементы интегрируются в единую систему и эксплуатируются согласно определенным правилам. СКС обеспечивает подключение локальной АТС,

одновременную работу компьютерной и телефонной сети, охранно-пожарной сигнализации, управление различными инженерными системами зданий и сооружений с использованием общей среды передачи. Эта система предоставляет также возможность гибкого изменения конфигурации кабельной сети. При перемещении служб и персонала внутри здания достаточно сделать необходимые переключения на коммутационных панелях.

Таким образом, СКС является универсальным и гибким решением задачи создания коммуникационной инфраструктуры здания или группы зданий. Как кабели являются основой сети, средой передачи данных, так коммутационные панели являются тем элементом, который обеспечивает такой сети гибкость и простоту конфигурирования. Кабельным разъемам в этой структуре отводится роль точки подключения сетевых устройств.

Топологически СКС представляет собой дерево, «листьями» которого являются кабельные разъемы на рабочих местах пользователей, узлами – коммутационные панели. Между собой все они соединены кабелем. Отличие лишь в том, что от кабельного разъема к коммутационной панели ведет один кабель; между собой, однако, панели соединяются несколькими кабелями. В коммутационных панелях обычно предусмотрена возможность соединения нескольких коммутаций в одном узле, в том числе и активного оборудования.

В коммутационных панелях, как правило, больше входных линий, чем выходных. Дело в том, что при построении сети розеток устанавливается больше, чем это необходимо. Розетка устанавливается не только на каждом рабочем месте, независимо от того, нужна она сегодня его владельцу или нет, но даже и там, где сегодня рабочего места нет, однако возможно его появление в будущем. Впоследствии переезд или подключение нового пользователя потребует лишь изменения коммутации на одной или нескольких панелях.

Как правило, панель первого уровня приходится одна на комнату либо на этаж. Возможны и другие варианты, например, одна коммутационная панель обслуживает несколько этажей. В СКС есть и центральный коммутационный узел, куда сходятся кабели от панелей более низкого уровня и внешние коммуникации. Коммутационные панели принято устанавливать в помещения с контролируемым доступом, там же располагают и активное сетевое оборудование, а часто и сетевые серверы.

Существуют два варианта архитектуры проводки СКС:

- иерархической звезды;
- одноточечного управления.

Архитектура **иерархической звезды** применяется как для группы зданий, так и для одного отдельного здания. В первом случае иерархическая звезда состоит из центрального кросса системы, главных кроссов зданий и горизонтальных этажных кроссов. Центральный кросс связан с главными кроссами зданий внешними кабелями. Этажные кроссы связаны с главным кроссом здания кабелями вертикального ствола. Во втором случае «звезда» состоит из главного кросса здания и горизонтальных этажных кроссов, соединенных между собой кабелями вертикального ствола.

Архитектура иерархической звезды обеспечивает максимальные гибкость управления и способность адаптации системы к новым приложениям.

Архитектура **одноточечного администрирования** разработана для наибольшей простоты управления. Обеспечивая прямое соединение всех рабочих мест с главным кроссом, она позволяет управлять системой из одной точки, оптимально расположенной для централизованного активного оборудования. Администрирование в одной точке обеспечивает простейшее управление цепями, возможное благодаря исключению необходимости кроссировки цепей во многих местах. Архитектура одноточечного администрирования не применяется для группы зданий.

Прорыв в области проектирования и создания СКС произошел в начале 90-х годов после принятия в июле 1991 г. в США стандарта *EIA/TIA-568* (в октябре 1995 г. был принят новый стандарт *EIA/TIA-568 A*) и выпуска сопутствующих документов. Позднее этот стандарт был дополнен документами *TSB-36* (ноябрь 1991 г.) и *TSB-40* (август 1992 г.), в которых определены категории 3, 4 и 5 для кабелей с неэкранированными витыми парами и соответствующего соединительного оборудования. Эти документы содержат технические требования к компонентам горизонтальной проводки, функционирующей на частотах до 100 МГц. Такая проводка поддерживает как давно существующие стандарты локальных сетей *Ethernet* и *Token Ring*, так и относительно недавно появившиеся *Fast Ethernet*, *ATM*, *100VG-AnyLAN*.

В стандарте *EIA/TIA-568* даны следующие рекомендации по составу и параметрам проводки:

- длина горизонтальных кабелей не должна превышать 90 м независимо от типа кабеля;
- к применению допускаются кабели четырех типов:
 - четырехпарный из неэкранированных витых пар с волновым сопротивлением 100 Ом;

- двухпарный из экранированных витых пар с волновым сопротивлением 150 Ом;
 - коаксиальный (типа *RJ-58*) с волновым сопротивлением 50 Ом;
 - волоконно-оптический с волокнами диаметром 62,5/125 мкм.
- следует использовать соответствующие соединители:
- модульный восьмиконтактный *RJ-45*;
 - четырехконтактный, соответствующий стандарту *IEEE 802.5*;
 - коаксиальный *BNC*;
 - оптический (тип соединителя не определен);
- на каждом рабочем месте устанавливается модульная восьмиконтактная розетка типа *RJ-45* или любая другая, соответствующая одному из перечисленных выше типов разъемов;
- разводка четырехпарного кабеля в соединителе *RJ-45* должна быть выполнена по двум схемам:
- *TIA-568A*;
 - *TIA-568B* (соответствует спецификации *AT&T*);
- разводка кабеля должна соответствовать топологии «звезда».
- В стандарте есть и другие рекомендации: о принципах размещения оборудования, способах соединения горизонтальной и вертикальной проводки и т.д.

4.9. Типы кроссовых панелей

Неотъемлемыми элементами структурированных кабельных систем являются коммутационные или кроссовые панели (*Cross Connect Panel*), обеспечивающие коммутацию соединений кабелей горизонтальной и вертикальной проводки с портами активного сетевого оборудования (концентраторов, маршрутизаторов и т.д.). Существуют два основных типа кроссовых панелей. К первому типу относятся панели с врезными контактами. Они были разработаны телефонными компаниями для коммутации сотен и тысяч соединений, как правило, аналоговых. Контакты в этом соединителе относятся к соединителям со сдвигом изоляции (*IDC – Insulation Displacement Connector*). Лезвия контакта разрезают изоляцию провода при вставке, обеспечивая тем самым электрическое соединение с жилой провода и фиксацию провода в контакте.

Ко второму типу относятся модульные панели, разработанные специально для передачи данных. Эти панели имеют модульные гнезда для кабелей различных типов, например *RJ-45* для *UTP*, *BNC* для тонкого коаксиального кабеля, *ST* или *SC* для оптоволоконного кабеля и т.д.

Панели с врезными контактами дешевле модульных и обеспечивают большую гибкость и плотность соединений. Однако заделка проводов в них требует специальных инструментов и определенных навыков. Кроме того, существуют некоторые ограничения на число повторных заделок проводов в контакты с целью перекоммутации электрических цепей. Как правило, один и тот же контакт можно использовать не более 250 раз. Однако необходимость в таком числе перекоммутаций на практике возникает крайне редко. Для перекоммутации соединений на модульных панелях не нужно специальных навыков, и проводить ее можно до 750 раз с помощью стандартных соединительных шнуров.

Каналы связи – средства передачи данных. Примером канала может служить полоса частот, выделенная одному передатчику при радиосвязи. В некоторой линии можно образовать несколько каналов связи, по каждому из которых передается своя информация. При этом говорят, что линия разделяется между несколькими каналами. Существуют два метода разделения линии передачи данных:

- **временное мультиплексирование** (иначе разделение по времени или *TDM – Time Division Method*), при котором каждому каналу выделяется некоторый квант времени;
- **частотное разделение** (*FDM – Frequency Division Method*), при котором каналу выделяется некоторая полоса частот.

При этом каналы по характеру передаваемых сигналов могут быть **аналоговыми** или **цифровыми**, на одной линии связи одновременно можно создать как аналоговые, так и цифровые каналы, функционирующие раздельно. Для этого существует несколько возможностей. Например, в кабеле связи, как правило, имеется несколько скрученных пар или коаксиалов. Так вот, по одним парам (или коаксиалам) могут работать аналоговые системы передачи (рис. 4.10), а по другим – цифровые (рис. 4.11). Общая тенденция – замена первых на вторые в новых системах.

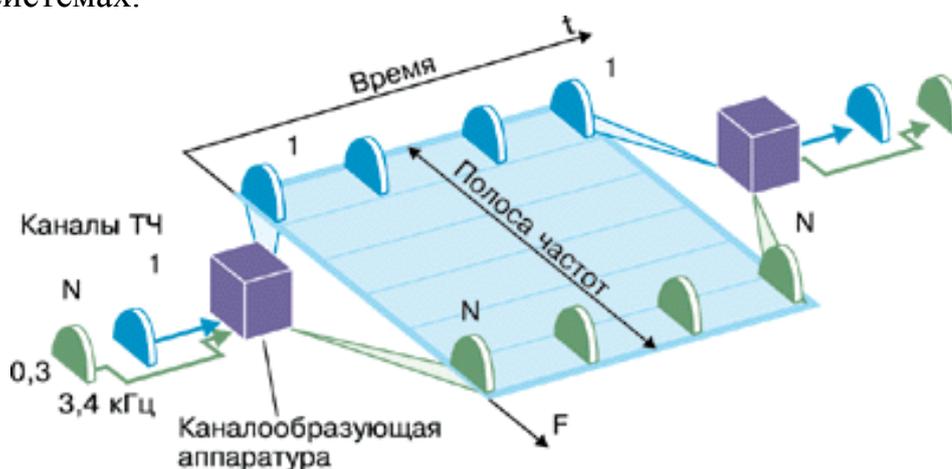


Рис. 4.10. Аналоговые каналы с частотным разделением

Создание различных каналов связи по одной и той же паре проводов (электрической цепи) связистами осуществляется давным-давно – с 1920-х годов. Есть, например, линии связи, где по одному коаксиалу образуется до 10800 телефонных каналов или несколько тысяч телефонных (и телеграфных) каналов + 1–2 канала телевидения (с шириной полосы по 6 МГц каждый). По такому же коаксиалу можно передавать цифровые сигналы с темпом 565 Мбит/с (во Франции была построена такая линия – по одному коаксиалу). Вот различие между линией и каналом.

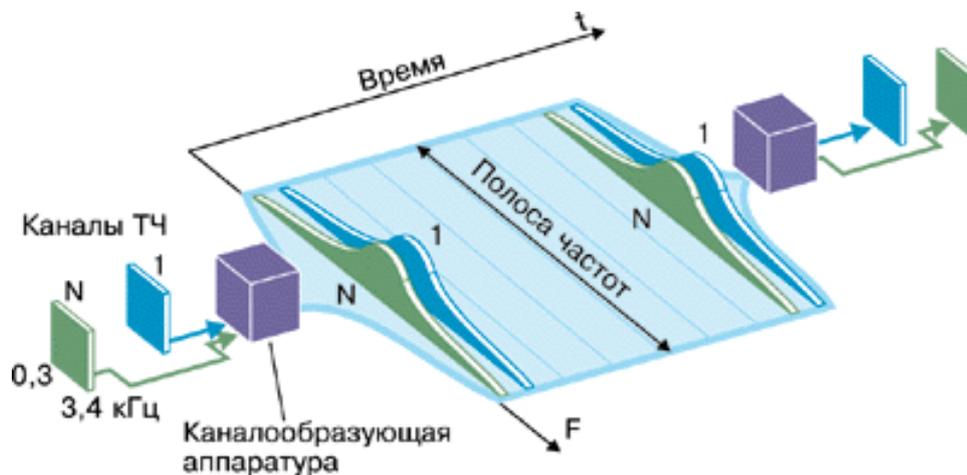


Рис. 4.11. Цифровые каналы с временным разделением

Про линию нельзя сказать, что она имеет такую-то пропускную способность до тех пор, пока не определено во всех подробностях ее построение, структура направляющих и длина. И наоборот, достаточно назвать канал, и его характеристики практически заданы: все каналы четко стандартизованы и подробно описаны, и на всех линиях они одинаковы. Собственно говоря, для этого понятие канала и введено. В какой-то степени линия связи напоминает железнодорожную линию, а канал – вагон: грузоподъемность последнего четко задана (и даже, как правило, на нем написана). При этом железнодорожный состав (поезд) напоминает групповой тракт, образованный по линии.

Наиболее распространенный канал во всем мире – так называемый канал тональной частоты (канал ТЧ), с шириной полосы 3,4 кГц. На основе каналов ТЧ формируются следующие групповые тракты в сети с частотным способом разделения каналов:

Первичный – 12 каналов ТЧ (60–108 кГц);

Вторичный – 60 каналов ТЧ (312–552 кГц);

Третичный – 300 каналов ТЧ (812–2044 кГц).

Широко применяющийся цифровой канал (его часто называют основным) имеет пропускную способность 64 Кбит/с. На его базе строят цифровые групповые тракты:

Первичный – 30 каналов (2,048 Мбит/с);

Вторичный – 120 каналов (8,448 Мбит/с);

Третичный – 480 каналов (34,468 Мбит/с).

Четвертичный – 1920 каналов (139,264 Мбит/с).

Все описанные групповые тракты могут использоваться как для образования указанного количества каналов, так и для передачи по ним одного потока, соответствующего ширине полосы частот или пропускной способности. Таким образом, групповые тракты представляют собой просто-напросто мощные и сверхмощные каналы передачи сигналов (информации) по магистральным линиям. Именно на базе таких трактов и строится супермагистраль.

Можно предложить следующую аналогию для пояснения разницы между цифровым каналом, групповым трактом и линией. Представим себе групповой тракт в виде эскалатора метро. Вход на станцию происходит через турникеты, имитирующие каналы связи. Пропускная способность турникета стабильна и в основном зависит от скорости срабатывания контрольного устройства. Пассажиры ручейками проходят через турникеты и сливаются в один поток, напоминающий групповые сигналы. Этот поток, в свою очередь, идет на эскалатор, т.е. попадает в групповой тракт. Очевидно, что пропускная способность тракта (эскалатора) должна соответствовать сумме пропускных способностей каналов (турникетов), иначе на входе эскалатора будут возникать пробки (что пассажиры метро часто и видят). Если же на станции несколько эскалаторов (групповых трактов), то все они сходятся на линии метро – подобно линии связи.

Аналогия с передачей цифровых сигналов еще более полная, поскольку отдельный пассажир имитирует один бит информации, а турникеты работают дискретно, реагируя на проход каждого пассажира. Таким образом, турникеты, эскалаторы, линии метро дают возможность моделировать процессы передачи сигналов: пропускную способность каждого канала (турникета), группового тракта (эскалатора) и всей линии связи (линии метро); мультиплексирование – слияние и разделение потоков; образование пробок, перегрузку как отдельных каналов, так и всей линии и т.п.

Основной аналоговый канал ТЧ имеет ширину полосы 0,3–3,4 кГц, а основной цифровой канал – пропускную способность 64 Кбит/с. Вот именно о таких каналах (а не о линиях связи) и говорят обычно авторы статей по компьютерным сетям. Следует отметить, что эти понятия – не

синонимы. Дело в том, что, получив в пользование линию к АТС, по ней можно организовать несколько каналов той сети, куда входит данная линия. И наоборот, взяв в аренду канал связи, вы можете его эффективно использовать только собственными средствами: каналы по линиям создает только предприятие связи (сеть). Таким образом, платя за аренду линии или канала, но путая эти понятия, можно значительно занизить свои ресурсы связи.

Пример 4.1. Вы можете договориться с городской телефонной сетью и организовать по линии несколько (сколько – это скажут вам связисты) каналов различной пропускной способности. А если этого не предусмотреть, то у вас нормально будет функционировать лишь один канал по этой линии – телефонный, так как работа других не гарантируется. Сдавая в аренду телефонную линию ГТС гарантирует нормальную работу только телефонного аппарата; никакие другие услуги (или каналы) не предусматриваются.

Основной цифровой канал (64 Кбит/с) введен давным-давно для телефонной связи. Именно такое количество бит в секунду требуется для высококачественной передачи речи при помощи импульсно-кодовой модуляции. Рассчитывается эта пропускная способность очень просто. При ширине полосы голосового сигнала 4 кГц требуется (согласно теореме Котельникова) не менее 8000 отсчетов уровня аналогового сигнала при его квантовании. Каждый такой отсчет, как выяснилось, удобнее всего передавать одним байтом. Вот и получается темп передачи голоса 64 Кбит/с.

Такой пропускной способностью (64 Кбит/с) и обладает канал, принятый в качестве основного для *ISDN* (ЦСИС – цифровая сеть с интеграцией служб), поскольку он хорошо должен передавать голос и данные. Этот канал дает возможность организовать различные службы связи по основному цифровому каналу. В так называемой «Узкополосной ЦСИС» к каждому рабочему месту подводится два базовых цифровых канала (канал *B*) и один дополнительный (16 Кбит/с) (*D*). Итого «на стол» заводится пропускная способность $2B + D$ суммарно 144 Кбит/с, которая может использоваться в виде трех отдельных цифровых каналов, а также как единый цифровой канал. У нас в стране еще мало каналов ЦСИС, а подавляющее большинство компьютеров связывается по телефонным сетям общего пользования, испытывая при этом очень большие трудности.

4.10. Ввод каналов

Как же подать цифровые потоки в здание банка или на территорию завода? Самый старинный способ – проложить (или арендовать) обычный

многопарный телефонный городской кабель. Если при этом договориться с телефонной сетью, то по такому кабелю можно образовать множество цифровых каналов, как базовых (64 Кбит/с), так и более скоростных – $T1$ (1,544 Мбит/с) и $E1$ (2,048 Мбит/с). Условия для этого следующие: необходимо, чтобы выделенная для вас на АТС телефонная линия нигде не заходила в аппаратуру уплотнения (мультиплексирования), т.е. не должно быть преобразований сигнала. По одной выделенной физической цепи в городе или районе можно без всяких повторителей образовать канал типа $T1$ или $E1$ длиной до 3–5 км, а с повторителями – в пределах всего города. Модемы, работающие по выделенным линиям, обычно называют «модемами ограниченного действия»: – они дают связь только в пределах выделенной линии, но не позволяют выйти на междугородные и международные каналы. Причина в том, что на междугородных линиях связи стоит аппаратура уплотнения, «нарезающая» аналоговые (3,1 кГц) и цифровые (64 Кбит/с) каналы для телефонии, а по ним модемы ближнего действия не работают.

Такой способ организации цифровых каналов удобен в условиях уже развитой городской телефонной сети, при относительном избытке городских кабелей связи. Подходящая ситуация может возникнуть, если кабели в городе проложены с запасом, а телефонные станции пока не введены в эксплуатацию. Еще одно условие – сеть предприятия не нуждается в выходах за пределы города или района. Подобную компьютерную сеть могут иметь розничная торговля или городской транспорт. Но способ неудобен для территориально распределенных сетей типа авиационных, железнодорожных или банковских. Для них лучше арендовать скоростные цифровые каналы, способные действовать на любые расстояния. Такие каналы можно ввести по коаксиальным и оптическим кабелям, с помощью радиорелейной или спутниковой линий (рис. 4.12).

Высокоскоростные цифровые тракты для компьютерных сетей удобно организовать по оптическому кабелю, который вводится в здание по типу медного кабеля и заводится на отдельный оптический кросс. Если многоволоконный оптический кабель заведен в здание, то дальнейшее распределение оптических волокон уже неплохо отработано и больших сложностей обычно не вызывает. Способы прокладки оптических кабелей внутри здания, присоединение их к имеющейся кабельной инфраструктуре, заделка на кросс-панелях и в монтажных шкафах в достаточной мере освоены. Через оптические линии связи можно создать большое количество высокоскоростных цифровых каналов со скоростью передачи 155 и 622 Мбит/с. Поговаривают и о супермагистральных, достигающих скорости

2,5–10 Гбит/с. Правда, такой уровень в корпоративных сетях пока еще не востребован.

Еще один способ провести в здание нужные цифровые потоки – это установить на крыше микроволновую антенну радиорелейной или спутниковой линии. Обычные частоты для таких систем – 2, 4, 7, 11, 14, 24 ГГц. В последнее время появились и более высокочастотные системы, но они пока широко не используются. Связная антенна, в отличие от телевизионной, должна быть приемно-передающей, что предполагает у нее некоторые особенности. Эту антенну устанавливают недалеко от антенны спутникового ТВ, а приемно-передающую аппаратуру лучше всего разместить в одном помещении с телевизионной. Вполне вероятно, что в недалеком будущем эти две системы сольются, так как уже вовсю разворачивается цифровое телевидение и постоянно обсуждаются способы работы компьютерных служб с использованием телевизионных сетей.

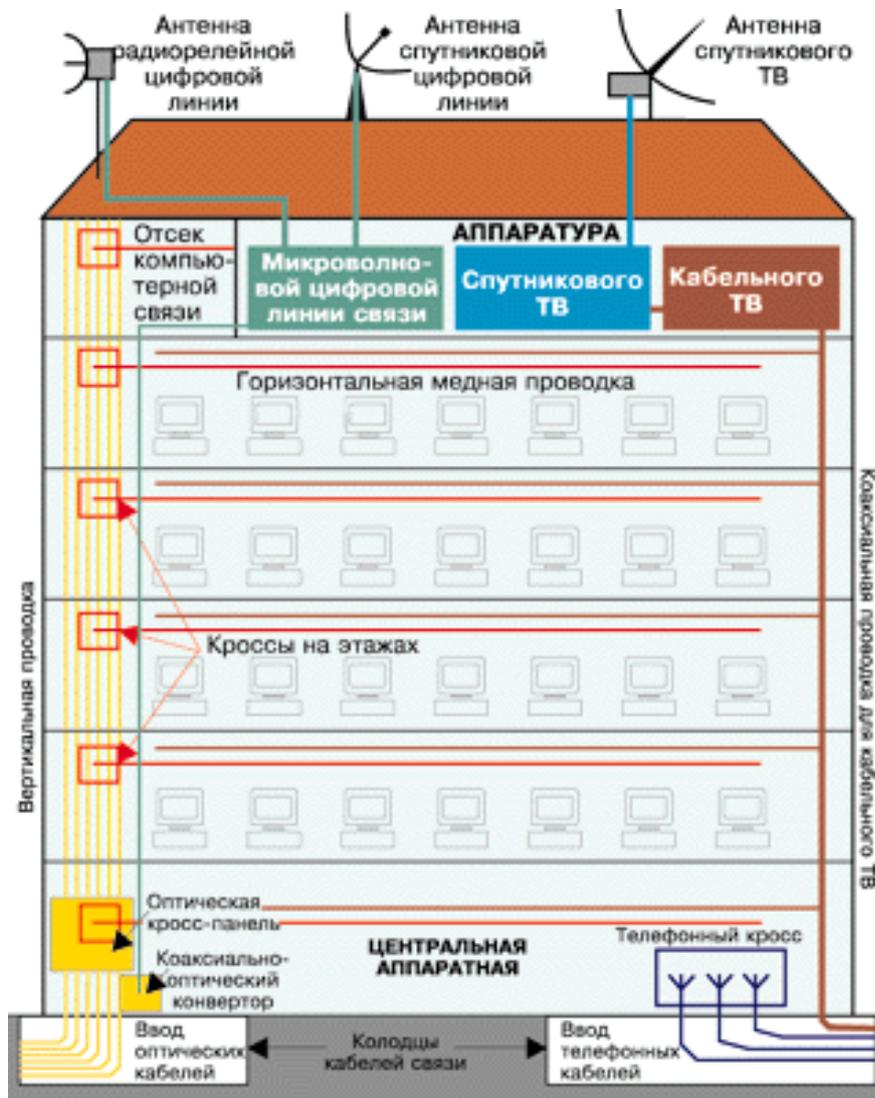


Рис. 4.12. Структурированная кабельная система

При подведении к компьютерной локальной сети высокоскоростного цифрового канала, организованного по радиорелейной или спутниковой линии, возникает одна любопытная проблема. Дело в том, что главный кросс кабельной системы расположен обычно внизу, на первом этаже здания, а микроволновая линия заходит сверху, с крыши или карниза. Кроме того, выход сигнала от антенны (точнее, от СВЧ-конвертора), как правило, коаксиальный, а вертикальный ствол структурированной кабельной системы обычно оптический. Сопряжение этих двух типов направляющих систем – коаксиальной и оптической – потребует коаксиального фидера от антенны вниз, к аппаратной, где необходим еще один конвертор (коаксиально-оптический). Ничего принципиально нового в этих элементах нет, так что особых трудностей не предвидится. Исключение могут составить высокоскоростные системы (155 Мбит/с и выше), у которых все отнюдь не так гладко. Но поскольку такие каналы спутниковой и радиорелейной связи пока еще встречаются не часто, каких-то существенных препятствий для осуществления коаксиально-оптического перехода нет. Можно, правда, установить коаксиально-оптический конвертор на верхнем этаже, скажем, в помещении головной станции кабельного телевидения, но при этом меняется вся схема организации связи и обслуживания кабельной системы здания, что нежелательно.

Другая возможность передачи скоростных цифровых компьютерных сигналов включает использование сетей кабельного телевидения. В современных жилых комплексах имеется широкополосная коаксиальная проводка, предназначенная для телевизионного вещания. Компьютерные фирмы широко применяют готовую кабельную систему с шириной полосы до 900 МГц.

Известные компании выпускают соответствующую технику и программные средства. По ТВ-сетям можно образовать несколько сотен каналов класса 100 Мбит/с или меньшее количество более скоростных.

Локальные сети. В последние десятилетия во всем мире распространились кабельные системы, занимающие здания и территорию предприятия, аэропорта, вуза, банка и передающие разнообразные потоки информации. Это – так называемые локальные кабельные системы (не путать с местными сетями, существующими еще с довоенных времен в городах и сельских районах). Чем же характерны эти системы? Они имеют иерархическую звездную топологию, иначе говоря – «кустовидное» построение. Такие проводки чаще всего сочетают в себе электрические и оптические кабели. Эксплуатируются они той организацией, на

территории которой проложены, а не предприятием связи, как это имеет место в других сетях – магистральных, зонавых и местных. Интересно, что локальные кабельные системы обеспечивают (в компьютерной литературе часто говорят «поддерживают») все виды информационного обмена, начиная от обычной телефонной связи до скоростных локальных компьютерных сетей (таких как *100VG-AnyLAN*, *Fast Ethernet*, *TP-PMD*), вместе с передачей информационных потоков по управлению кондиционированием воздуха, охраной зданий и территории, других служб.

Современная многофункциональная проводка представляет собой сложный комплекс, состоящий из кабелей, кроссового оборудования, многочисленных и многообразных розеток, желобов для прокладки кабелей, массы всякой установочной фурнитуры, устройств обозначения трасс и маркировки кабелей и т.п. Она структурирована как по вертикали, так и по горизонтали, т.е. вся система разбита на относительно самостоятельные подсистемы, выполняющие свои функции. Это качество сообщает проводке гибкость, универсальность, нужную избыточность.

Гибкость позволяет легко менять конфигурацию проводки, приспособив ее к возникающим потребностям, без новых работ по прокладке кабелей и монтажу. Все, конечно, понимают, как это важно на действующем объекте, где любые переделки сопряжены с помехами основной деятельности. На заводе перестройки мешают производству, в вузе – учебе, а в банке могут распугать клиентов. Поэтому кабельная система строится на 15–20 лет, а затем меняется лишь незначительно, в несущественных деталях.

Универсальность проводки означает, что она поддерживает любые информационные системы – телефонные, телевизионные, компьютерные сети; охрану и сигнализацию; управление окнами, дверями, воротами; кондиционированием, отоплением, освещением. При появлении новых потребностей правильно спроектированная проводка воспримет и их! Для хорошей приспособляемости кабельная система должна обладать избыточностью, т.е. должны быть заранее проложены кабели и смонтированы розетки во всех местах, где может появиться персонал и оборудование. Избыточность позволяет при всех переездах не прокладывать дополнительные кабели, а использовать ранее проложенные. Проектировщики такой системы должны иметь большой, разнообразный и богатый опыт. **Структурированная кабельная система (СКС)** тем самым попадает в разряд капитальных сооружений: затраты на нее относят не к текущим, а к капитальным расходам. Поставку оборудования для нее выполняют, как правило, специализированные компании, а проектирование и монтаж ведут предприятия, которые обладают

соответствующими знаниями и опытом и называются «системными интеграторами». Эти фирмы изучают потребности заказчика и выполняют проект, где отражаются все стадии осуществления структурированной кабельной системы, от начала монтажа до сдачи в эксплуатацию.

Сейчас в зданиях больше всего распространена схема проводки в виде куста (так называемая «иерархическая звезда»). При такой топологии кабели расходятся от комнат связи в виде лучей, на каждом участке – вертикальном или горизонтальном. На каждом этаже кабели идут веером от комнаты (отсека) связи к рабочим местам. Возможен вариант, когда многопарные кабели (как правило, 25 пар) идут до рабочих групп, а уже затем разводятся до рабочих мест.

Как видно из рис. 4.12, электронное оборудование при этой схеме может размещаться как в центральной аппаратной, так и в отсеках связи на этажах. Это расположение имеет и преимущества, и недостатки. Централизованное оборудование удобнее обслуживать – оно находится в одном месте, и не надо бегать по этажам. Если электронику поместить на этажах, то появляется возможность легче строить самые скоростные сети: кабельные трассы при таком расположении короче и, соответственно, больше их пропускная способность. Но отсеки (комнаты) связи необходимо обслуживать – в них надо следить за чистотой и порядком, тщательно их запирать, обеспечивать электропитание, заземление оборудования и т.д. Короче говоря, нужно хорошо взвесить, какую схему размещения оборудования выбрать.

С применением только оптических кабелей возможна схема элементарной звезды с «одноточечным администрированием», т.е. с управлением проводкой из одного места. При такой топологии оптические кабели идут из центрального кросса прямо к рабочим местам. Конечно, по пути разводки могут потребоваться различные стыковки и сростки кабелей, но электронное оборудование сетей на этажах (в отсеках связи) не устанавливается. Для оптических кабелей такая схема удобнее, так как затухание сигнала в них небольшое, а экономия на поэтажном оборудовании значительная. Правда, для этой топологии нет пока принятых, утвержденных стандартов, но в ближайшее время они должны появиться.

Если подать оптическое волокно к каждому рабочему месту (к каждому столу), появляется возможность передавать по нему гигабиты информации в секунду. Вопрос, конечно, нужно ли такое большое количество в ближайшее время, но этот вопрос, скорее всего, риторический. Можно только отметить, что подобные проводки предложены и кое-где уже проложены.

При проектировании локальных кабельных систем надо принимать во внимание множество факторов, в том числе – долговременность проводки, ее надежность и стоимость, удобство обслуживания, управления, сроки строительства и возможности эксплуатации, характер и класс объекта, перспективы развития...

Во время разработки проводки возникает множество вопросов: «Какой категории – 3 или 5 – выбрать медный кабель? Если выбор падает на оптический кабель, то одномодовый или многомодовый? Или выбрать сочетание электрических и оптических кабелей?» Допустим, так: в вертикальной проводке будут проложены оптические, а в горизонтальной – электрические кабели. Тогда следует рассчитать оптимальное сочетание длин тех и других, ибо от этого зависят места расположения кроссов.

Поскольку кабельные системы предлагают различные фирмы-изготовители, надо внимательно взвесить все «за» и «против» и выбрать наиболее надежную фирму. Это же относится и к отбору системного интегратора, монтажной организации и т.п. Хорошо бы предварительно навести справки и выяснить репутацию, опыт работы и отзывы заказчиков о намеченном партнере. Нелишне знать, какие гарантии предоставляет намечаемый исполнитель, на сколько лет (требовать надо не менее 15 лет гарантии), сертифицирует ли смонтированные им кабельные системы, и снова – гарантии, обеспеченные сертификатом (это еще один вид гарантий). Разработка и монтаж структурированных кабельных систем за последние 2–3 года стали такой же самостоятельной областью деятельности, как ранее – создание локальных сетей.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение физической среды передачи данных и расскажите классификации.
2. Когда возникли телекоммуникации?
3. Дайте определение проводным электрическим каналам связи.
4. Нарисуйте и опишите конструкцию телекоммуникационного кабеля.
5. Расскажите о витой паре проводов и коннекторах?
6. Дайте определение коаксиальному кабелю.
7. Для чего используется BNC-баррел-коннектор?
8. Расскажите о каналах связи, использующие в качестве физической среды передачи информации существующую сеть электропитания.

9. Дайте определение оптическим каналам и конструкции волоконнооптической линии связи.

10. Какие преимущества у оптоволоконных каналов передачи данных?

11. Что из себя представляет структурированная кабельная система (СКС)?

12. Дайте определение аналоговым каналам с частотным разделением.

13. Дайте определение цифровым каналам с временным разделением.

14. Расскажите о вводе каналов в объект.

Глава 5. МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

5.1. Методы передачи данных на физическом уровне

Физический уровень является самым нижним уровнем в Эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС) и обеспечивает взаимодействие оконечного оборудования обработки данных (ООД) со средой передачи данных, связывающей системы друг с другом. В модемах производятся преобразования двоичных данных в аналоговые сигналы, параметры которых согласованы с параметрами физической среды. На приемной стороне осуществляется обратное преобразование аналоговых сигналов в двоичные, которое может отличаться от исходного из-за воздействия помех.

Также в качестве каналов связи могут использоваться цифровые каналы, вместо модемов используются линейные контроллеры, которые обеспечивают сопряжения оконечного оборудования обработки данных с физическим каналом. На физическом уровне не решается задача исправления искаженных бит, поэтому его считают ненадежной системой передачи. Основная задача физического уровня – обеспечить соединения для передачи физических сервисных блоков данных, при этом информационной системой базы данных (СБД) физического уровня является один бит. Биты передаются дуплексным или полудуплексным способом и передаются получателю в том же порядке, в котором они поступили от источника.

Физический уровень формирует передаваемый сигнал, кодирует, декодирует и синхронизирует биты данных, а также контролирует состояния среды передачи. Физическое соединение представляется

пользователем, расположенным на канальном уровне. В соответствии с архитектурой открытых систем физический уровень должен предоставлять каналному:

- физические услуги (соединение) между двумя или более числом объектов канального уровня;
- разъединять при необходимости установленные соединения;
- обеспечить требуемые параметры качества обслуживания.

Качество обслуживания физическим уровнем определяется:

- частотой появления ошибок;
- скоростью передачи двоичных данных в секунду;
- задержкой передачи.

При обмене данными по выделенным каналам связи необходимость в установлении соединения на физическом уровне отсутствует. Назначением физического уровня является обеспечение механических, электрических, функциональных и процедурных средств, с целью передачи последовательностей бит между объектами канального уровня. Механические характеристики физического уровня определяют организацию сопряжения оконечного оборудования данных с аппаратурой коммутации данных, т.е. с реальной физической средой передачи. Непосредственное соединение устанавливается при помощи соединителей различных типов, которые обеспечивают гальваническую связь ООД с физической средой передачи. В качестве механических характеристик выступают:

- конструктивное исполнение соединения;
- тип крепления;
- способы крепления;
- схемы расположения контактов;
- соответствие цепей обмена контактам разъема.

Механические характеристики представлены в стандарте *ISO 2110, 2593, 4902, 4903*. Обмен в данных сетях осуществляется электрическим сигналом и модули сопряжения должны производить сигналы к приемлемому виду.

Электрические характеристики физического уровня определяются стандартами МККТТ *V.28; V.10/X.26; V.11/X.27*, где *V* – аналоговые каналы связи, *X* – цифровые. В процессе установления соединения обмена сети с узлом коммутации или другими абонентами происходит обмен служебной информации, связанный с управлением и синхронизацией. После установления соединения обеспечивается обмен данными, причем в случае использования полудуплексного режима соответствующие сигналы

должны иметь направление информации, по окончании обмена данными может потребоваться выполнение разъединения соединения. Выполнение этих функций обеспечивается построением стыка между ООД и АПД. Функциональные характеристики физического уровня определяют тип, число и назначения соединительных линий (цепей) стыка ООД/АПД. При разработке этого стыка применяют два основных подхода:

1. Для выполнения каждой функцией управления стыком предназначена отдельная цепь, в этом случае стык содержит цепи заземления, передачи приема данных; цепи управления для передачи команд от ООД к АПД; цепи оповещения для передачи сигналов от АПД к ООД; цепи автоматического установления соединения, обеспечивающие передачу сигнала вызова к другим абонентам и цепи синхронизации (Пример: рекомендация V.24 МККТТ, она определяет цепи стыка между ООД и АПД для работы по аналоговым каналам связи.) В соответствии этой рекомендацией ООД и АПД (модем) соединяются с помощью 34 цепей общего назначения и 12 цепей автоматического вызова. Цепи общего назначения делятся на 4 категории:

- заземление;
- данные;
- управление;
- синхронизация.

С помощью этих цепей ООД управляет модемом, он сообщает ООД о своем состоянии, и производится двусторонний обмен данными. Цепи автоматического вызова используются для установления физического соединения при работе по коммутируемым каналам связи: *RS-232*, *RS-422*, *RS-423*, *RS-449*, *RS-485*.

2. Разработка и создание стыков с наименьшим числом цепей. В этом случае ООД непосредственно участвует в установлении и разъединении физического соединения, т.е. ООД ведет обмен управляющей информацией с другими ООД, для чего оно должно формировать и передавать служебные знаки по цепи передачи и распознавать знаки, принимаемые по цепи приема. В этом случае при работе «*start – stop*» в режиме цепи управления оповещения автоматические.

При работе в синхронном режиме необходимы цепи приема, передачи, управления и оповещения. X.21 определяет цепи стыка между ООД и АПД при работе по цифровым каналам (имеет 8 цепей). Процедурные характеристики физического уровня определяют последовательность изменений состояния цепей между ООД и АПД, т.е. определяют логику взаимодействия объектов на физическом уровне, а именно какие сигналы посылаются и какие ожидаются.

5.2. Основные рекомендации МККТТ

5.2.1. Протоколы МККТТ V.24, X.21, X.21 бис, X.20

Данный уровень определяет интерфейсы системы с каналом связи, а именно, механические, электрические, функциональные и процедурные параметры соединения. Физический уровень также описывает процедуры передачи сигналов в канал и получения их из канала. Он предназначен для переноса потока двоичных сигналов (последовательности бит) в виде, пригодном для передачи по конкретной используемой физической среде. В качестве такой физической среды передачи могут выступать канал тональной частоты, соединительная проводная линия, радиоканал или что-то другое. Физический уровень выполняет три основные функции: установление и разъединение соединений; преобразование сигналов и реализация интерфейса.

5.2.2. Установление и разъединение соединения

При использовании коммутируемых каналов на физическом уровне необходимо осуществить предварительное соединение взаимодействующих систем и их последующее разъединение. При использовании выделенных (арендуемых) каналов такая процедура упрощается, так как каналы постоянно закреплены за соответствующими направлениями связи. В последнем случае обмен данными между системами, не имеющими прямых связей, организуется с помощью коммутации потоков, сообщений или пакетов данных через промежуточные взаимодействующие системы (узлы). Однако функции такой коммутации выполняются уже на более высоких уровнях и к физическому уровню отношения не имеют. Кроме физического подключения взаимодействующие модемы могут также «договариваться» об устраивающем их режиме работы, т.е. способе модуляции, скорости передачи, режимах исправления ошибок и сжатия данных и т.д. После установления соединения управление передается более высокому канальному уровню.

5.2.3. Преобразование сигналов

Для согласования последовательности передаваемых бит с параметрами используемого аналогового или цифрового канала требуется выполнить их преобразование в аналоговый либо дискретный сигнал

соответственно. К этой же группе функций относятся процедуры, реализующие стык с физическим (аналоговым или цифровым) каналом связи. Такой стык часто называется стыком, зависящим от среды, и он может соответствовать одному из гостированных канальных стыков С1, например: С1-ТФ (ГОСТ 23504-79, 25007-81, 26557-85) – для каналов ТфОП, С1-ТЧ (ГОСТ 23475-79, 23504-79, 23578-79, 25007-81, 26557-85) – для выделенных каналов тональной частоты, С1-ТК (ГОСТ 22937-78) – для телеграфных каналов связи, С1-ШП (ГОСТ 24174-80, 25007-81, 26557-85) – для первичных широкополосных каналов, С1-ФЛ (ГОСТ 24174-80, 26532-85) – для физических линий связи, С1-АК – для акустического сопряжения с каналом связи и ряд других. Функция преобразования сигналов является главной функцией модемов. По этой причине первые модемы, не обладавшие интеллектуальными возможностями и не выполнявшие аппаратное сжатие и коррекцию ошибок, часто называли устройствами преобразования сигналов.

5.2.4. Реализация интерфейса

Реализация интерфейса между *DTE* и *DCE* является третьей важнейшей функцией физического уровня. Такого рода интерфейсы регламентируются соответствующими рекомендациями и стандартами, к которым, в частности, относятся *V.24*, *RS-232*, *RS-449*, *RS-422A*, *RS-423A*, *V.35* и др. Такие интерфейсы определяются отечественными ГОСТ как преобразовательные стыки С2 или стыки, не зависящие от среды. Стандарты и рекомендации по интерфейсам *DTE/DCE* определяют общие характеристики (скорость и последовательность передачи), функциональные и процедурные характеристики (номенклатура, категория цепей интерфейса, правила их взаимодействия); электрические (величины напряжений, токов и сопротивлений) и механические характеристики (габариты, распределение контактов по цепям).

На физическом уровне происходит диагностика определенного класса неисправностей, например таких, как обрыв провода, пропадание питания, потеря механического контакта и т.п. Типовой профиль протоколов при использовании модема, поддерживающего только функции физического уровня, приведен на рис. 5.1. При этом считается, что компьютер (*DTE*) соединяется с модемом (*DCE*) посредством интерфейса *RS-232*, а модем использует протокол модуляции *V.21*. Помехозащищенность канала связи, состоящего из двух модемов и среды передачи между ними, является ограниченной и, как правило, не

удовлетворяет требованиям, предъявляемым к достоверности передаваемых данных. По этой причине физический уровень рассматривается как ненадежная система. Задача исправления искаженных в канале передачи битов решается на более высоких уровнях, в частности, на канальном уровне.

Протокол *Ethernet* позволяет передавать данные со скоростью 10 Мбит/с и использовать следующие типы кабелей: толстый коаксиальный кабель (стандарт *10Base-5*), тонкий коаксиал (стандарт *10Base-2*), неэкранированную витую пару (стандарт *10Base-T*), оптоволоконный кабель (стандарт *10Base-F*).

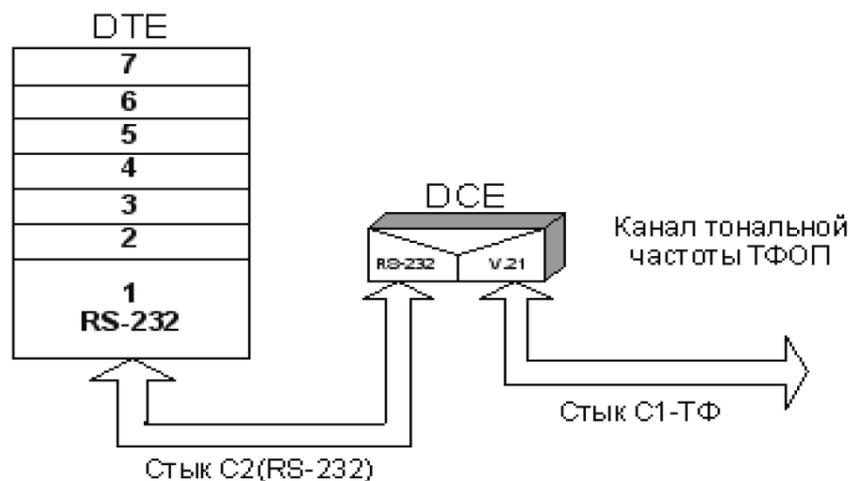


Рис. 5.1. Типовой профиль протоколов при использовании модема

5.3. Стандартные архитектуры локальных вычислительных сетей

Под архитектурой вычислительной сети принято понимать совокупность стандартов, топологий и протоколов, необходимых для ее функционирования.

Разработка стандартов локальных вычислительных сетей возложена на комитет 802 международного института *IEEE*, который почти за четверть века своего существования разработал и утвердил по крайней мере три наиболее распространенные на сегодняшний день стандартные архитектуры локальных вычислительных сетей (рис. 5.2):

- *Ethernetc*– *IEEE* 802.3;
- *Token bus* – *IEEE* 802.4;
- *Token ring* – *IEEE* 802.5.



Рис. 5.2. Стандартные локальные вычислительные сети

К моменту создания комитета *IEEE 802* уже существовали и широко использовались такие архитектуры локальных сетей, как *Ethernet* (*Xerox*, 1973), *Token ring* (*IBM*, 1972), *Arcnet* (*Datapoint*, 1977) и др.

5.3.1. Архитектура *Ethernet* – *IEEE 802.3*

Разработанная *Xerox* архитектура *Ethernet* стала основой для стандарта *IEEE 802.3*, который был принят по предложению *Xerox* в 1983 г. *IEEE* внес некоторые изменения в первоначальную архитектуру *Ethernet*, поэтому сети стандарта *Ethernet* и *IEEE 802.3* – это сети с разной архитектурой, хотя и очень близкой. Сегодня термин «*Ethernet*» чаще всего используется для описания сетей, работающих по принципу множественного доступа с обнаружением несущей, который реализуется как *Ethernet*, так и *IEEE 802.3*. *Ethernet* и *IEEE 802.3* являются наиболее распространенными архитектурами локальных вычислительных сетей. Название *Ethernet* («эфирная сеть») связано первоначально с сетью для общего использования принтера.

Общая характеристика архитектуры сетей стандарта *IEEE 802.3* такова:

- информационный блок – кадр;
- размер кадра – до 1518 байт (без учета преамбулы (8 байт) и завершителя кадра (1 байт));
- обмен кадрами – широковещательный с проверкой адресата;

- среда передачи – коаксиальный кабель (тонкий, толстый), витая пара (3, 4, 5-й категории), оптоволоконный кабель;
- доступ к среде передачи – множественный доступ с обнаружением несущей (*CSMA/CD*);
- скорость передачи данных – 10–1000 Мбит/с;
- физическая топология – «шина», «звезда»;
- логическая топология – «шина»;
- размеры сетей – от нескольких метров до нескольких километров (при использовании повторителей).

Формат кадра сетей стандарта *IEEE 802.3* показан на рис. 5.3.

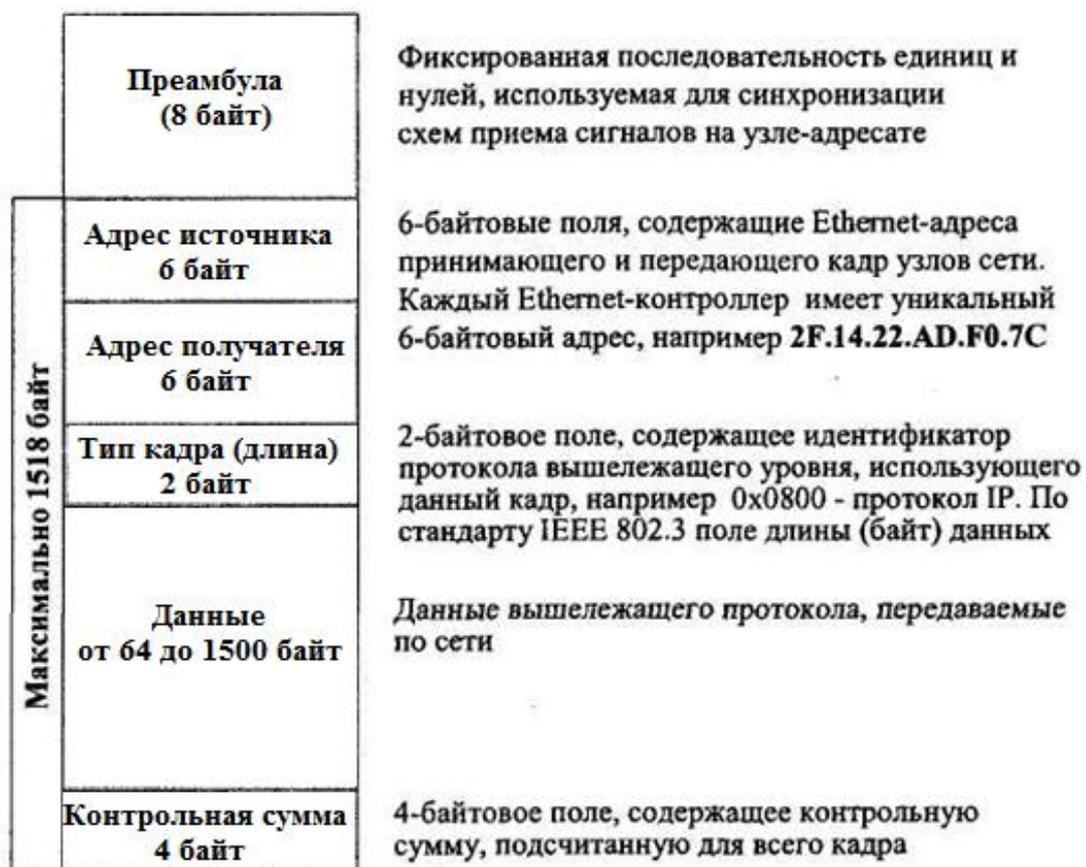


Рис. 5.3. Формат кадра стандарта *IEEE 802.3*

Данные в протоколах канального уровня передаются в виде группы бит, организованных в кадр данных. Исторически существует 4 различных формата кадров *Ethernet*:

- кадр *Ethernet DIX (Ethernet II)* – один из первых форматов, стандарт фирм *Digital, Intel* и *Xerox*;
- кадр *802.3/LLC* – международный стандарт;
- кадр *Raw 802.3 (Novell 802.3)* – стандарт фирмы *Novell*;

- кадр *Ethernet SNAP* – второй доработанный вариант международного стандарта.

Обычно сетевые карты автоматически распознают и поддерживают все четыре формата кадров. Для простоты изложения ограничимся рассмотрением самого простого по формату кадра *Ethernet II*, который имеет следующие поля:

- преамбула (для синхронизации) и признак начала кадра;
- адрес назначения пакета;
- адрес источника пакета;
- тип пакета (указывает, какому протоколу более высокого уровня принадлежит пакет);
- данные (передаваемая информация);
- *CRC* – контрольная сумма.

Однако, помимо структуры кадра данных, в протоколе необходимо оговорить и порядок передачи этого кадра по сети.

Основным принципом работы *Ethernet* является использование общей среды передачи данных, разделяемой по времени, когда кадры данных передаются всеми компьютерами по общему кабелю. Особенно наглядно это проявляется при топологии «общая шина», хотя принцип сохраняется и при любой другой топологии. Впервые такой метод доступа к разделяемой общей среде был опробован во второй половине 60-х годов, в радиосети *Aloha* Гавайского университета, где общей средой передачи данных являлся радиоэфир. В 1975 году этот принцип был реализован и для коаксиального кабеля, в первой экспериментальной сети *Ethernet Network* фирмы *Xerox*.

В настоящее время сети *Ethernet* используют метод доступа *CSMA/CD* (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) – коллективный доступ с проверкой несущей и обнаружением коллизий. Порядок передачи данных и коррекция ошибок происходит следующим образом: каждый кадр данных, переданный в сеть, получают все компьютеры, но только один из них распознает свой адрес и обрабатывает кадр. В каждый отдельный момент времени только один компьютер может передавать данные в сеть. Компьютер, который хочет передать кадр данных, прослушивает сеть, и если там отсутствует несущая частота (сигнал с частотой 5–10 МГц), то он решает, что сеть свободна и начинает передавать кадр данных. Однако может случиться, что другой компьютер, не обнаружив несущей, тоже начнет передачу данных одновременно с первым. В таком случае, возникает столкновение (коллизия). Если один из передающих компьютеров обнаружил коллизию (передаваемый и

наблюдаемый в кабеле сигнал отличаются), то он прекращает передачу кадра и усиливает ситуацию коллизии посылкой в сеть специальных помех – последовательности из 32 бит для того, чтобы и второй компьютер надежно обнаружил коллизию. После этого компьютеры ждут (каждый – случайное время) и повторяют передачу. Поскольку время случайное (у каждого свое), то вероятность повторного столкновения невелика.

Если столкновение произойдет снова (возможно с другими компьютерами), то в следующий раз диапазон, в котором выбирается случайное время задержки, увеличится в 2 раза (после 10-й попытки увеличение не происходит, а после 16-й попытки кадр отбрасывается). В любом случае время задержки, при возникновении коллизии невелико (максимум 52,4 миллисекунды) и незаметно для пользователя, однако при большой загрузке сети (начиная с 40–50 %) слишком большая доля времени тратится на устранение коллизий, и полезная пропускная способность падает. Более рациональным способом получения доступа к общей разделяемой среде является протокол *Token Ring*.

В зависимости от среды передачи данных *IEEE 802.3* определяет несколько различных стандартов (*Ethernet* определяет только один физический стандарт – частный случай стандарта *IEEE 802.3*) локальной сети – *10Base5*, т.е. сеть с шинной топологией на толстом коаксиальном кабеле со скоростью передачи данных 10 Мбит/с и максимальным размером сегмента до 500 м физических подключений локальных сетей, каждый из которых имеет наименование, в котором отражены такие его важнейшие характеристики:

- *1Base5* – неэкранированная витая пара категории 2;
- *10Base5* – толстый коаксиальный кабель;
- *10Base2* – тонкий коаксиальный кабель;
- *10Base-T* – неэкранированная витая пара категории 3;
- *10Base-F* – волоконно-оптический кабель.

5.3.2. Протокол *Fast Ethernet 83*

Классический 10-мегабитный *Ethernet* устраивал большинство пользователей на протяжении около 15 лет. Однако в начале 90-х годов начала ощущаться его недостаточная пропускная способность.

Назрела необходимость в разработке «нового» *Ethernet*, т.е. технологии, которая была бы такой же эффективной по соотношению цена/качество при производительности 100 Мбит/с. В результате поисков и исследований специалисты разделились на два лагеря, что в конце

концов привело к появлению двух новых технологий – *Fast Ethernet* и *100VG-AnyLAN*. Они отличаются степенью преемственности с классическим *Ethernet*.

В 1992 году группа производителей сетевого оборудования, включая таких лидеров технологии *Ethernet*, как *SynOptics*, *3Com* и ряд других, образовали некоммерческое объединение *Fast Ethernet Alliance* для разработки стандарта новой технологии, которая должна была в максимально возможной степени сохранить особенности технологии *Ethernet*. Второй лагерь возглавили компании *Hewlett-Packard* и *AT&T*, *IBM*, которые предложили воспользоваться удобным случаем для устранения некоторых известных недостатков технологии *Ethernet*.

В центре дискуссий была проблема сохранения случайного метода доступа *CSMA/CD*. Предложение *Fast Ethernet Alliance* сохраняло этот метод и тем самым обеспечивало преемственность и согласованность сетей 10 Мбит/с и 100 Мбит/с. Технология *100VG-AnyLAN* предлагала совершенно новый метод доступа, который существенно менял картину поведения узлов в сети, поэтому не смог вписаться в технологию *Ethernet*.

В 1995 году обе технологии стали стандартами *IEEE*. Спецификация *Fast Ethernet* была принята в качестве стандарта 802.3u, который не является самостоятельным стандартом, а представляет собой дополнение к существующему стандарту 802.3 в виде отдельных глав. Технология *100VG-AnyLAN* была принята в виде нового стандарта – *IEEE 802.12*.

Высокоскоростные сети класса *Ethernet* (*Fast Ethernet* и *Gigabit Ethernet*) определены стандартами *IEEE 802.3u* и *IEEE 802.3z* соответственно. В первом случае различают варианты 100 мегабитовых сетей:

- *100Base-TX* – 2 неэкранированные витые пары категории 5;
- *100Base-T4* – 4 неэкранированные витые пары категории 5;
- *100Base-FX* – волоконно-оптический кабель.

Коаксиальный кабель в *Fast Ethernet* не поддерживается. Поддержка витой пары 3-й категории, несмотря на технические сложности, была реализована из-за того, что на Западе большинство уже проложенных телефонных кабелей являются витой парой 3-й категории. Метод доступа к разделяемой среде (*CSMA/CD*) в протоколе *Fast Ethernet* остался прежним. Отличия от *Ethernet* заключаются в следующем:

- другой формат кадров;
- другие временные параметры межкадрового и битового интервала (все параметры алгоритма доступа, измеренные в битовых интервалах, сохранены прежними);

- признаком свободного состояния среды является передача по ней символа *Idle* (не занято), а не отсутствие сигнала, как в протоколе *Ethernet*.

Для совместимости со старыми сетевыми картами *Ethernet* в протокол *Fast Ethernet* введена функция «автопереговоров» (*autonegotiation*). При включении питания сетевой карты или по команде модуля управления сетевой карты начинается процесс «переговоров»: сетевая карта посылает специальные служебные импульсы (*FLP – fastlink pulse burst*), в которых предлагается самый приоритетный (с наибольшей скоростью передачи данных) протокол. Если второй компьютер поддерживает функцию «автопереговоров», то он ответит своими служебными импульсами, в которых согласится на предложенный протокол или предложит другой (из поддерживаемых). Если же на втором компьютере стоит старая сетевая карта *Ethernet*, не поддерживающая «автопереговоров», то ответа на запрос первого компьютера не последует, и он автоматически переключится на использование протокола *Ethernet*.

5.3.3. Протокол 100VG-AnyLAN

Протокол *100VG-AnyLAN* был разработан совместными усилиями фирм *Hewlett-Packard*, *AT&T* и *IBM*. Протоколы *Fast Ethernet* и *100VG-AnyLAN* являются развитием технологии *Ethernet* и позволяют работать на скорости 100 Мбит/с. Однако если *Fast Ethernet* ориентировался на минимальные изменения в протоколе *Ethernet* и совместимости со старыми сетевыми картами, то в протоколе *100VG-AnyLAN*, пользуясь сменой протоколов, была сделана попытка полностью отказаться от старых и перейти к новым, более эффективным технологическим решениям.

Основным отличием *100VG-AnyLAN* является другой метод доступа к разделяемой среде, *Demand Priority* (приоритетный доступ по требованию), который обеспечивает более эффективное распределение пропускной способности сети, чем метод *CSMA/CD*. При доступе *Demand Priority* концентратору (*hub*) передаются функции арбитра, решающего проблему доступа к разделяемой среде. Сеть *100VG-AnyLAN* состоит из центрального (корневого) концентратора и соединенных с ним конечных узлов и других концентраторов (рис. 5.4).

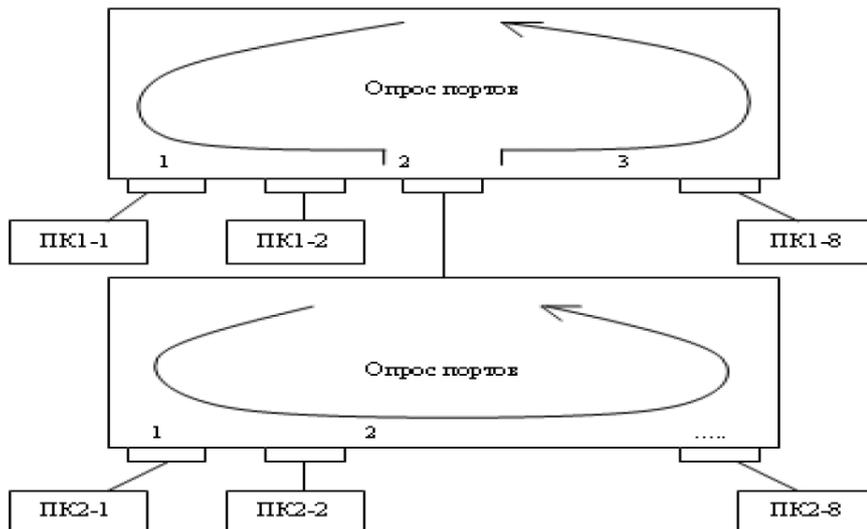


Рис. 5.4. Протокол 100VG-AnyLAN

Допускаются три уровня каскадирования. Концентратор циклически выполняет опрос портов, к которым подключены компьютеры. Если к порту подключен другой концентратор, то опрос приостанавливается до завершения опроса концентратором нижнего уровня.

Компьютер, желающий передать пакет, посылает специальный низкочастотный сигнал концентратору, запрашивая передачу кадра и указывая его приоритет: низкий (для обычных данных) или высокий (для данных, которые чувствительны к задержкам, например, видеоизображение).

Компьютер с низким уровнем приоритета, долго не имевший доступа к сети, получает высокий приоритет. Если сеть свободна, то концентратор разрешает передачу пакета.

Анализируется адрес назначения в пакете и передается на тот порт, к которому подключен соответствующий компьютер (адрес сетевой карты компьютера, подключенного к тому или иному порту, определяется автоматически, в момент физического подключения компьютера к концентратору). Если сеть занята, концентратор ставит полученный запрос в очередь. В очередь ставятся именно не сами кадры данных, а лишь запросы на их передачу. Запросы удовлетворяются в соответствии с порядком их поступления и с учетом приоритетов. У концентратора 100VG-AnyLAN отсутствует внутренний буфер для хранения кадров, поэтому в каждый момент времени концентратор может принимать и передавать только один кадр данных – тот, до запроса на передачу которого дошла очередь (с учетом приоритетов). В концентраторах 100VG-AnyLAN поддерживаются кадры *Ethernet* и *Token Ring* (именно это

обстоятельство дало добавку *AnyLAN* в названии технологии). Каждый концентратор и сетевой адаптер *100VG-AnyLAN* должен быть настроен либо на работу с кадрами *Ethernet*, либо с кадрами *Token Ring*, причем одновременно циркуляция обоих типов кадров не допускается. Другой особенностью является то, что кадры передаются не всем компьютерам сети, а только компьютеру назначения, что улучшает безопасность сети, так как кадры труднее перехватить при помощи анализаторов протоколов (снифферов). Несмотря на много хороших технических решений, технология *100VG-AnyLAN* не нашла большого количества сторонников и значительно уступает по популярности технологии *Fast Ethernet*.

5.3.4. Протокол *Gigabit Ethernet*

Протокол *Gigabit Ethernet* обеспечивает скорость передачи 1000 Мбит/с на всех основных типах кабельных систем: неэкранированная витая пара 5-й категории, многомодовое и одномодовое оптоволокно (стандарты *1000 Base-SX* и *1000 Base-LX*), твин-аксиальный кабель (коаксиальный кабель с двумя проводниками, каждый из которых помещен в экранирующую оплетку):

- *1000Base-SX* – многомодовый волоконно-оптический кабель с длиной волны 830 нм;
- *1000Base-LX* – одномодовый (с длиной волны 1270 нм) или многомодовый волоконно-оптический кабель;
- *1000Base-CX* – экранированная витая пара;
- *1000Base-T* – неэкранированная витая пара категории 5.

Протокол *Gigabit Ethernet* сохраняет максимально возможную преемственность с протоколами *Ethernet* и *Fast Ethernet*:

- сохраняются все форматы кадров *Ethernet*;
- сохраняется метод доступа к разделяемой среде *CSMA/CD*;
- поддерживается также полнодуплексный режим работы, когда данные передаются и принимаются одновременно (для отделения принимаемого сигнала от передаваемого, приемник вычитает из результирующего сигнала известный ему собственный сигнал);
- минимальный размер кадра увеличен (без учета преамбулы) с 64 до 512 байт.

Для сокращения накладных расходов при использовании слишком длинных кадров для передачи небольших пакетов данные разработчики разрешили конечным узлам передавать несколько кадров подряд, без передачи среды другим станциям в режиме *Burst Mode* (монополюсный

пакетный режим). Если станции нужно передать несколько небольших пакетов данных, то она может не дополнять каждый кадр до размера в 512 байт (минимальный размер кадра), а передавать их подряд. Станция может передать подряд несколько кадров с общей длиной не более 65 536 бит или 8192 байт. Предел 8192 байт называется *Burst Length*. Если станция начала передавать кадр и предел *Burst Length* был достигнут в середине кадра, то кадр разрешается передать до конца.

5.4. Протокол *Token Ring*

Сети класса *Token Ring* первоначально были разработаны фирмой *IBM* в 1970-х гг. для обмена данными на скорости 4 Мбит/с. Впоследствии архитектура *Token Ring* стала основой стандарта *IEEE 802.5*, сохранив полную совместимость с ним. В стандарте *IEEE 802.5* топология сети не оговаривается, не регламентирована и среда передачи данных. Ключевой особенностью этой архитектуры является метод доступа (метод маркерного доступа), определяющий сети без конкуренции с детерминированным доступом к среде передачи данных. По своей распространенности *Token Ring* уступают лишь сетям стандарта *IEEE 802.3*.

Использование протокола *Token Ring* позволяет карте работать на скоростях 4 и 16 Мбит/с, а протокола *High Speed Token Ring* – на скоростях 100 и 155 Мбит/с. Компания *IBM* является основным разработчиком протокола *Token Ring*, производя около 60 % сетевых адаптеров этой технологии.

Общая характеристика архитектуры сетей стандарта *IEEE 802.5* следующая:

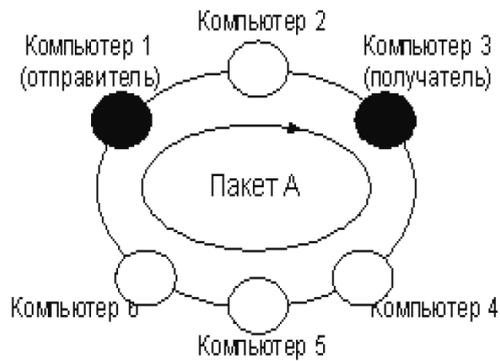
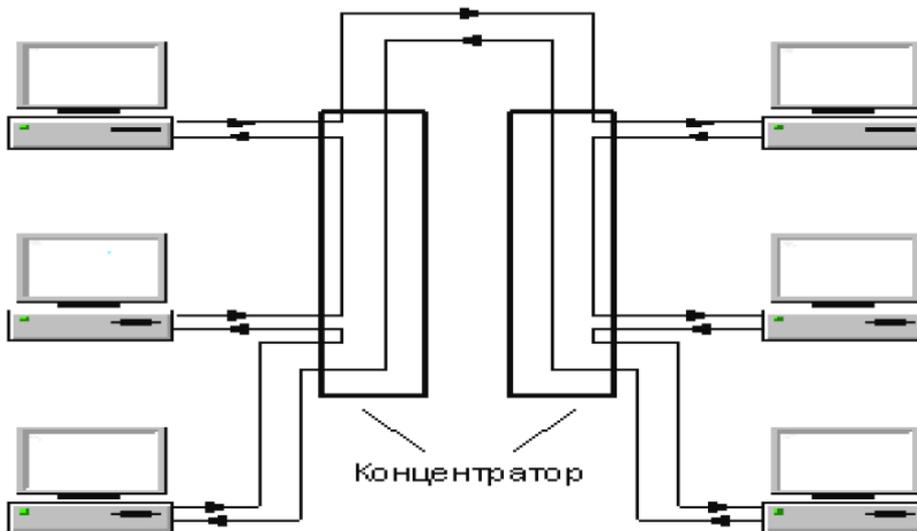
- информационный блок – кадр;
- размер кадра – до 4522 байт (данных не более 4502 байт);
- обмен кадрами – широковещательный с проверкой адресата;
- среда передачи – экранированная и неэкранированная витая пара;
- доступ к среде передачи – маркерный метод;
- скорость передачи данных – 4, 16 Мбит/с;
- физическая топология – «звезда»;
- логическая топология – «кольцо»;
- размеры сетей – до нескольких километров (при использовании повторителей между *MAU*).

Формат кадра сетей стандарта *IEEE 802.5* показан на рис. 5.5.

Максимально 4522 байта	Начальный разделитель 1 байт	Уникальная комбинация битов, обозначающая начало кадра
	Поле управления 2 байта	Поле включает признак кадра управления доступом к среде (код типа кадра = 00) или информационного кадра (код типа кадра = 01), биты приоритета (всего 8 уровней приоритета), резервирования и управления маркером
	Адрес источника 6 байт	6-байтовые поля, содержащие адреса принимающего и передающего кадр узлов сети. Каждый сетевой интерфейс имеет уникальный адрес. В сети администратор может назначать логические адреса. Адресация многоуровневая
	Адрес получателя 6 байт	
	Данные до 4502 байт	Поле данных может иметь произвольную длину, в том числе и нулевую. В это поле может быть вложен пакет другого протокола, например IP
	Контрольная сумма 4 байт	4-байтовое поле, содержащее контрольную сумму, подсчитанную для всего кадра.
	Конечный разделитель 1 байт	Признак конца кадра
	Статус кадра 1 байт	Поле включает ряд признаков (флагов) состояния кадра: - правильный/ошибочный; - получен/не получен и др.

Рис. 5.5. Формат кадра стандарта *IEEE 802.5*

Сеть стандарта 802.5 имеет физическую топологию «звезда», при которой все узлы подключаются к общему устройству (*MSAU – Multi-Station Access Unit*, устройство многостанционного доступа – концентратор), обеспечивающему логическую топологию «кольцо» (рис. 5.6). Каждый компьютер соединен кабелем только с предыдущим и последующим компьютером в кольце. Физически это реализуется при помощи специальных концентраторов (рис. 5.7), которые обеспечивают целостность кольца даже при выключении или отказе одного из компьютеров за счет обхода порта выключенного компьютера.

Рис. 5.6. Схема сети *Token Ring*Рис. 5.7. Реализация сети *Token Ring* на маршрутизаторах

Разработанный *IBM* концентратор имеет 10 портов соединения, 8 из которых для подключения узлов, 2 для расширения сети при объединении *MSAU* (по топологии «кольцо»). Каждое кольцо может содержать до 33 концентраторов.

В общем случае при использовании неэкранированной витой пары максимальное число узлов составляет 72, а при использовании экранированной витой пары – 260. Расстояние между концентраторами до 45 м (неэкранированная витая пара) и до 152 м (экранированная витая пара). Узлы подключаются к концентратору отводами до 45 и 100 м соответственно.

Функционирование сети доступа с передачей маркера заключается в следующем. По сети циркулирует маркер (*token*), имеющий структуру, представленную на рис. 5.8. Компьютер может начать передавать данные в сеть, только если получит от предыдущего компьютера в кольце «маркер» специальный короткий пакет, свидетельствующий о том, что сеть

свободна. Если компьютеру нечего передавать в сеть, то он передает маркер следующему компьютеру в кольце. Если компьютеру есть что передавать, то он уничтожает маркер и передает свой пакет в сеть. Пакет по битам ретранслируется по кольцу от компьютера к компьютеру, адресат получает пакет, устанавливает в пакете биты, подтверждающие, что пакет достиг адресата, и передает пакет дальше по кольцу. Наконец, пакет возвращается к отправителю, который уничтожает его и передает в сеть новый маркер. Компьютер может и не передавать в сеть новый маркер, а продолжить передавать кадры данных до тех пор, пока не истечет время удержания маркера (*token holdingtime*). После истечения времени удержания маркера компьютер обязан прекратить передачу собственных данных (текущий кадр разрешается завершить) и передать маркер далее по кольцу. Обычно время удержания маркера по умолчанию равно 10 мс.



Рис. 5.8. Формат маркера

Если флаг $T = 0$, то маркер свободен. В этом случае если он доступен станции, имеющей данные для передачи, и приоритет станции не ниже значения, записанного в *PPP* (3 бита – биты приоритета), то станция преобразует маркер в информационный кадр, устанавливая $T = 1$ («захват» маркера), и записывает между *RRR* (3 бита – биты резервирования) и конечным разделителем адрес получателя, данные и другие сведения в соответствии со структурой кадра. Далее сформированный информационный кадр проходит по кольцу от узла к узлу.

Если в момент получения информационного кадра какой-то из узлов готов к передаче данных, то (поскольку маркер занят $T = 1$) этот узел записывает в субполе *RRR* значение своего приоритета (при этом приоритет этого узла должен быть больше уже записанного в это поле значения).

Узел, которому адресован информационный пакет, считывает данные и изменяет бит поля «статус кадра», подтверждая этим получение данных.

Совершив полный оборот по кольцу, кадр возвращается к узлу-отправителю, который анализирует статус кадра. Если передача не произошла, то делается повторная попытка передачи; в противном случае кадр преобразуется в маркер с $T = 0$. Одновременно с этим значения субполя *RRR* переносятся в субполе *PPP*, а субполе *RRR* обнуляется.

При следующем движении по кольцу маркер будет «захвачен» узлом-претендентом на передачу с наивысшим приоритетом, значение которого записано в субполе *PPP*.

В процессе работы сети из-за сбоев возможна потеря маркера. За наличие в сети маркера, причем единственной его копии, отвечает один из компьютеров – активный монитор. Если активный монитор не получает маркер в течение длительного времени (например, 2,6 с), то он порождает новый маркер. Активный монитор выбирается во время инициализации кольца как станция с максимальным значением *MAC*-адреса сетевой карты. Если активный монитор выходит из строя, то процедура инициализации кольца повторяется и выбирается новый активный монитор. Чтобы сеть могла обнаружить отказ активного монитора, последний в работоспособном состоянии каждые 3 секунды генерирует специальный кадр своего присутствия. Если этот кадр не появляется в сети более 7 секунд, то остальные станции сети начинают процедуру выборов нового активного монитора.

Описанный выше алгоритм доступа используется в сетях 4 Мбит/с. В сетях со скоростью 16 Мбит/с алгоритмы доступа более сложные: используется алгоритм доступа к кольцу, называемый алгоритмом раннего освобождения маркера (*Early Token Release*). Компьютер передает маркер доступа следующей станции сразу же после окончания передачи последнего бита кадра, не дожидаясь возвращения по кольцу этого кадра с битом подтверждения приема. В этом случае пропускная способность кольца используется более эффективно, так как по кольцу одновременно продвигаются кадры нескольких компьютеров. Тем не менее, свои кадры в каждый момент времени может генерировать только один компьютер – тот, который в данный момент владеет маркером доступа. Остальные компьютеры в это время только повторяют чужие кадры, так что принцип деления кольца во времени сохраняется, ускоряется только процедура передачи владения кольцом.

Передаваемым кадрам протокол верхнего уровня (например, прикладного) может также назначить различные приоритеты: от 0 (низший) до 7 (высший). Маркер тоже всегда имеет некоторый уровень текущего приоритета и уровень резервного приоритета. При инициализации кольца основной и резервный приоритеты устанавливаются в ноль. Компьютер имеет право захватить переданный ему маркер только в том случае, если приоритет кадра, который он хочет передать, выше текущего приоритета маркера или равен ему. В противном случае компьютер обязан передать маркер следующему по

кольцу компьютеру. Однако, даже если компьютер не захватил маркер, он может записать в поле резервного приоритета значение приоритета своего кадра (при условии, что предыдущие компьютеры не записали в это поле более высокий приоритет). При следующем обороте маркера резервный приоритет станет текущим, и компьютер получит возможность захватить маркер.

Хотя механизм приоритетов в технологии *Token Ring* имеется, но он начинает работать только в том случае, когда приложение или прикладной протокол решают его использовать. Иначе все станции будут иметь равные права доступа к кольцу, что в основном и происходит на практике, так как большая часть приложений этим механизмом не пользуется. Развитием протокола *Token Ring* стал протокол *High-Speed Token Ring*, который поддерживает скорости в 100 и 155 Мбит/с, сохраняя основные особенности технологии *Token Ring* 16 Мбит/с.

5.5. Протокол *FDDI*

Одной из распространенных архитектур вычислительных сетей, стандартизированной не *IEEE 802*, является архитектура *FDDI (Fiber Distributed Data Interface* – распределенный волоконно-оптический интерфейс передачи данных), которая разработана Американским национальным институтом стандартизации (*ANSI*).

Появление *FDDI* в конце 80-х гг. связано с возросшими требованиями к скорости передачи данных в вычислительных сетях и между ними.

С функциональной точки зрения сети *FDDI* являются развитием стандарта *IEEE 802.5*, поскольку используют один и тот же метод доступа к среде передачи данных (маркерный метод), а самое главное имеют практически идентичные форматы кадров.

Общая характеристика архитектуры *FDDI* следующая:

- информационный блок – кадр;
- размер кадра – до 4500 байт (с преамбулой 30 байт);
- среда передачи – волоконно-оптический кабель (может быть экранированная витая пара);
- доступ к среде передачи – маркерный метод;
- скорость передачи данных – 100 Мбит/с;
- физическая топология – «звезда», «двойное кольцо»;
- логическая топология – «кольцо»;
- размеры сетей – до 100 км при расстоянии между узлами до 2 км.

Отличие *FDDI* от *IEEE 802.5* заключается в топологии, поскольку в *FDDI* реализована физическая топология «двойное кольцо», при этом допускается физическое подключение отдельных узлов по топологии «звезда». В связи с этим в стандарте определены два типа узлов сети *FDDI*: однократно подключенные (*SAS*) и двукратно подключенные (*DAS*).

Другим принципиальным отличием *FDDI* является способ управления маркером. Если в сетях *IEEE 802.5* маркер освобождается узлом, передавшим данные после подтверждения их получения, то в *FDDI* маркер освобождается сразу после окончания передачи кадра в сеть, поэтому в сетях *FDDI* одновременно могут существовать несколько маркеров и соответственно по сети одновременно могут передаваться несколько кадров с данными.

Вместе с тем опять же, в отличие от *IEEE 802.5*, маркер «захватывается» на определенный интервал времени, в течение которого узел может формировать и передавать кадры в сеть. Маркер освобождается в двух случаях: либо истек временной интервал, либо узел закончил передачу данных. Эти два решения в совокупности со средой передачи данных (волоконно-оптический кабель) позволили достичь высокой скорости передачи данных до 100 Мбит/с.

Протокол *FDDI* используется в оптоволоконных сетях и работает на скорости 100 Мбит/с. Исторически, когда скорости других протоколов ограничивались 10–16 Мбит/с, *FDDI* использовался на магистральных оптоволоконных сетях передачи данных. Технология *FDDI* во многом основывается на технологии *Token Ring*, развивая и совершенствуя ее основные идеи. Отличительная особенность данной архитектуры – аппаратная избыточность, обусловленная наличием двух колец с линиями связи (основное и дополнительное). Сеть *FDDI* строится на основе двух опто-волоконных колец, которые образуют основной и резервный пути передачи данных между узлами сети. Информационные потоки (кадры) в кольцах ориентированы в противоположных направлениях. Наличие двух колец необходимо для повышения отказоустойчивости сети *FDDI*, и компьютеры, которые хотят воспользоваться этой повышенной надежностью, могут (хотя это и не требуется) быть подключены к обоим кольцам (рис. 5.9).

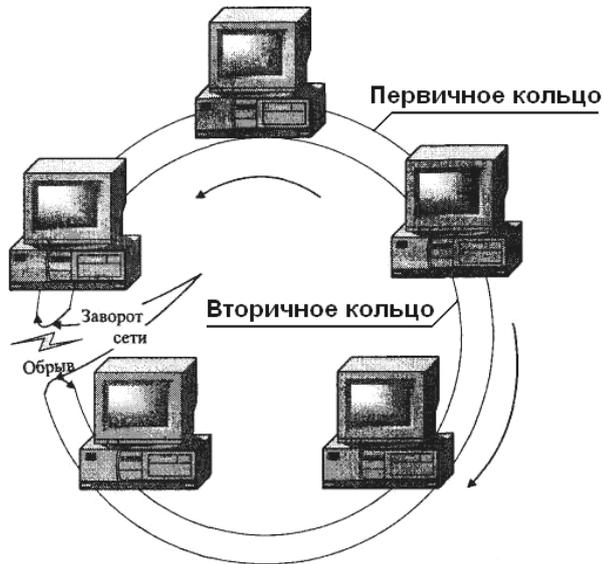


Рис. 5.9. Топология «двойное кольцо» (FDDI) и обход поврежденного участка сети

В нормальном режиме работы сети данные проходят через все узлы и все участки кабеля только первичного (*Primary*) кольца. Этот режим назван режимом *Thru* – «сквозным» или «транзитным». Вторичное кольцо (*Secondary*) в этом режиме не используется. В случае какого-либо отказа, когда часть первичного кольца не может передавать данные (например, обрыв кабеля или отказ компьютера), первичное кольцо объединяется со вторичным (рис. 5.10), вновь образуя единое кольцо. Этот режим работы сети называется *Wrap*, т.е. «свертывание» или «сворачивание» колец (рис. 5.9). Схемы реконфигурации сети при различных неисправностях показаны на рис. 5.10.

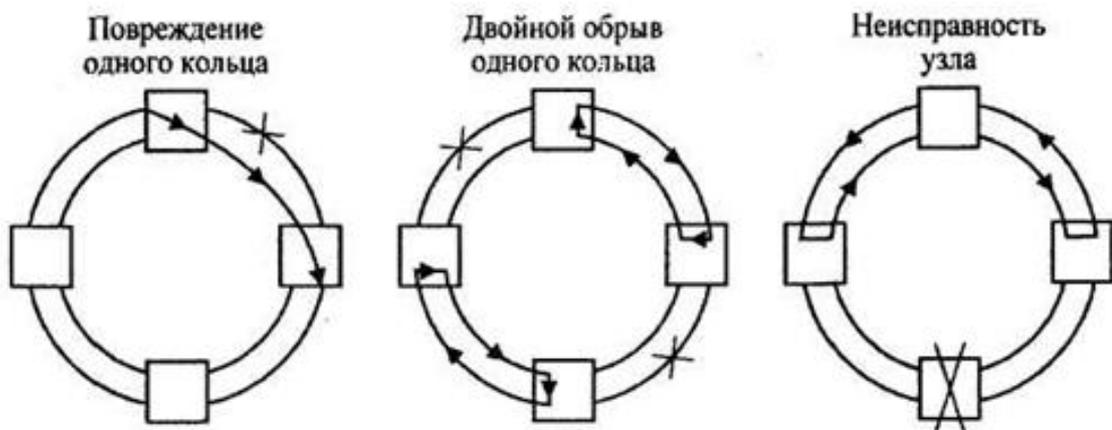


Рис. 5.10. Обход мест повреждения сети

Операция свертывания производится средствами концентраторов и/или сетевых карт *FDDI*. Для упрощения этой процедуры данные по первичному кольцу всегда передаются в одном направлении, а по вторичному – в обратном. Поэтому при образовании общего кольца из двух колец направление передачи данных по кольцам остается верным. Сеть *FDDI* может полностью восстанавливать свою работоспособность в случае единичных отказов ее элементов. При множественных отказах сеть распадается на несколько не связанных сетей.

В случае сбоя в одном кольце сеть автоматически реконфигурируется, и данные начинают передаваться по второму кольцу в другом направлении. Если в сети присутствуют однократно подключенные узлы, то они в реконфигурации при повреждениях не участвуют.

Метод доступа к разделяемой среде в сети *FDDI* аналогичен методу доступа в сети *Token Ring*. Отличия заключаются в том, что время удержания маркера в сети *FDDI* не является постоянной величиной, как в сети *Token Ring*, а зависит от загрузки кольца – при небольшой загрузке оно увеличивается, а при больших перегрузках может уменьшаться до нуля. В сети *FDDI* нет выделенного активного монитора, все компьютеры и концентраторы равноправны, и при обнаружении отклонений от нормы любой из них может начать процесс повторной инициализации сети, а затем и ее реконфигурации. В остальном пересылка кадров между станциями кольца полностью соответствует технологии *Token Ring* со скоростью 16 Мбит/с (применяется алгоритм раннего освобождения маркера). На физическом уровне технология «сворачивания» колец реализуется специальными концентраторами. В стандарте *FDDI* допускаются два вида подсоединения компьютера к сети.

Одновременное подключение к первичному и вторичному кольцам называется двойным подключением (*Dual Attachment, DA*). Компьютеры, подключенные таким образом, называются *DAS (Dual Attachment Station)*, а концентраторы – *DAC (Dual Attachment Concentrator)*. Подключение только к первичному кольцу называется одиночным подключением – *Single Attachment, SA*. Компьютеры, подключенные таким образом, называются *SAS (Single Attachment Station)*, а концентраторы – *SAC (Single Attachment Concentrator)*. Чтобы устройства легче было правильно присоединять к сети, их разъемы маркируются. Разъемы типа *A* и *B* должны быть у устройств с двойным подключением, разъем *M (Master)* имеется у концентратора для одиночного подключения станции, у которой ответный разъем должен иметь тип *S (Slave)*. В случае однократного обрыва кабеля между устройствами с двойным подключением сеть *FDDI*

сможет продолжить нормальную работу за счет автоматической реконфигурации внутренних путей передачи кадров между портами концентратора. При обрыве кабеля, идущего к компьютеру с одиночным подключением, он становится отрезанным от сети, а кольцо продолжает работать. Эта ситуация изображена на рис. 5.11.

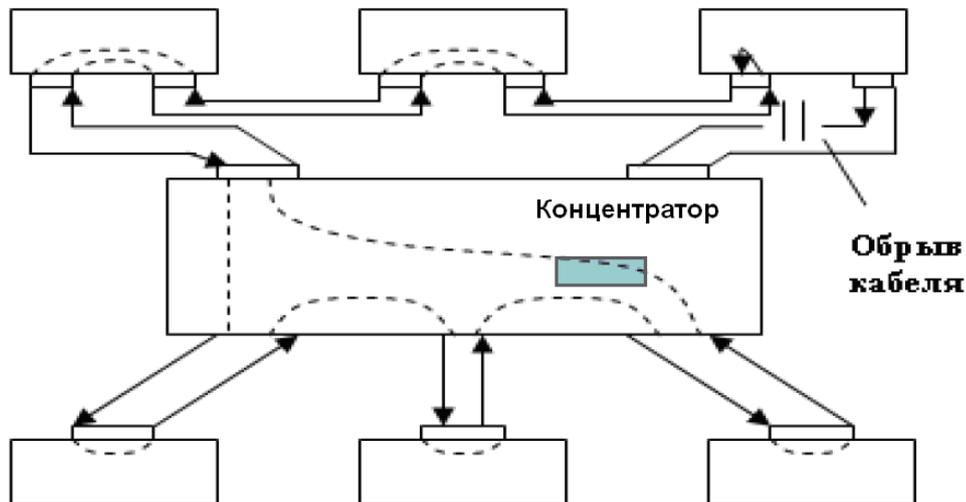


Рис. 5.11. Ситуация обрыва кабеля

Сети архитектуры *FDDI* чаще всего используются для объединения в единую сеть отдельных вычислительных подсетей, например для объединения двух локальных вычислительных сетей стандартов *IEEE 802.3* и *IEEE 802.4*, расположенных в пределах от сотен метров до десятка километров. На базе архитектуры *FDDI* могут создаваться локальные вычислительные сети, основным трафиком которых является мультимедийная информация.

5.6. Протоколы *SLIP* и *PPP*

Основное отличие протоколов *SLIP* и *PPP* от рассмотренных выше протоколов – это то, что они поддерживают связь «точка – точка», когда сетевой кабель используется для передачи информации только между двумя компьютерами (или другим сетевым оборудованием), соединенным этим кабелем. Такое соединение характерно при подключении к *Internet* по телефонной линии, при соединении локальных сетей между собой по выделенным или коммутируемым линиям, а также в сетях *X.25*, *Frame Relay* и *ATM*. Существует большое количество протоколов канального уровня для соединения «точка – точка», однако здесь мы ограничимся рассмотрением только *SLIP* и *PPP*.

SLIP (Serial Line IP) – протокол канального уровня, который позволяет использовать последовательную линию передачи данных (телефонную линию) для связи с другими компьютерами по протоколу *IP* (протокол сетевого уровня). *SLIP* появился достаточно давно, для связи между *Unix* – компьютерами по телефонным линиями в настоящее время является устаревшим, так как не позволяет использовать протоколы сетевого уровня, отличные от *IP*. Не позволяет согласовывать *IP*-адреса сторон и имеет слабую схему аутентификации (подтверждения личности) пользователя, заключающуюся в пересылке по сети имени и пароля пользователя. Таким образом, имя и пароль (даже зашифрованный) могут быть перехвачены и повторно использованы злоумышленником, или он может просто дождаться, пока пользователь пройдет аутентификацию, а затем отключить его и самому подключится от имени пользователя. Поэтому большинство провайдеров *Internet* для подключения к своим машинам используют протокол *PPP*.

Протокол канального уровня *PPP (Point to Point Protocol)* – протокол точка – точка) позволяет использовать не только протокол *IP*, но также и другие протоколы сетевого уровня (*IPX, Apple Talk* и др.). Достигается это за счет того, что в каждом кадре сообщения хранится не только 16-битная контрольная сумма, но и поле, задающее тип сетевого протокола. Протокол *PPP* также поддерживает сжатие заголовков *IP*-пакетов по методу Ван Джакобсона (*VJ*-сжатие), а также позволяет согласовать максимальный размер передаваемых дейтаграмм, *IP*-адреса сторон и др.

Аутентификация в протоколе *PPP* является двусторонней, т.е. каждая из сторон может потребовать аутентификации другой. Процедура аутентификации проходит по одной из двух схем:

- *PAP (Password Authentication Protocol)* – в начале соединения на сервер посылается имя пользователя и (возможно зашифрованный) пароль;
- *CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol)* – в начале соединения сервер посылает клиенту случайный запрос (*challenge*). Клиент шифрует свой пароль, используя однонаправленную хэш-функцию (функция, у которой по значению *Y* невозможно определить *X*) и запрос в качестве ключа шифрования. Зашифрованный отклик (*response*) передается серверу, который, имея в своей базе данных пароль клиента, выполняет те же операции, и если полученный от клиента отклик совпадает с вычисленным сервером, то аутентификация считается успешной. Таким образом, пароль по линиям связи не передается. Даже если отклик клиента и будет перехвачен, то в следующий раз использовать его не удастся, так как запрос сервера будет другим. Определить же пароль

на основании отклика невозможно, так как хэш-функция шифрует данные только «в одну сторону». Для предотвращения вмешательства в соединение уже после прохождения клиентом аутентификации в схеме *SNAP* сервер регулярно посылает испытательные запросы через равные промежутки времени. При отсутствии отклика или неверном отклике соединение прерывается.

5.7. Архитектура *Arcnet*

Одной из самых старых технологий локальных вычислительных сетей, разработанных компанией *Datapoint* еще в 1977 г., является архитектура *Arcnet* (*Attached Resource Computer Network* – вычислительная сеть с подключенными ресурсами).

Технология *Arcnet* была стандартизирована *ANSI* после почти 20-летнего неофициального существования.

Популярность сетей *Arcnet* обусловлена низкой стоимостью аппаратных средств, возможностью использования различных сетевых кабелей (неэкранированная витая пара, коаксиальный кабель, волоконно-оптический кабель), надежностью и гибкостью архитектуры. Аппаратные средства *Arcnet* поддерживают работу практически с любой сетевой операционной системой, совместимой со стеком протоколов *NetBIOS*.

Архитектура *Arcnet* поддерживает шинную, звездообразную и распределенную звездообразную топологии. Каждый сегмент шины *Arcnet* может содержать до восьми узлов, соединенных в шлейф, и иметь в длину до 300 м. Добавление в сегмент шины активного концентратора увеличивает длину еще на 300 м.

Сети *Arcnet* с топологией «звезда» более привлекательны, поскольку в них достаточно просто локализируются неисправности, а неисправность одного узла не приводит к отключению всей сети, так как каждая станция имеет отдельное кабельное соединение с концентратором.

К центральному (активному) концентратору возможно подключение до восьми узлов с максимальной длиной соединения 600 м. Пассивные концентраторы обеспечивают подключение на расстоянии до 30 м. Объединение активных концентраторов позволяет построить сеть с максимальной длиной 6400 м.

Общая характеристика архитектуры *Arcnet* следующая:

- информационный блок – кадр;
- размер кадра – до 514 байт + 6 бит поля предупреждения;
- среда передачи – неэкранированная витая пара, коаксиальный кабель (RG-62, разъемы BNC), волоконно-оптический кабель;

- доступ к среде передачи – маркерная шина;
- скорость передачи данных – 2,5 Мбит/с (20 Мбит/с для *ArcnetPlus*);
- физическая топология – «шина», «звезда»;
- логическая топология – «кольцо»;
- размеры сетей – до 6400 м при использовании активных концентраторов.

Архитектура *Arcnet* определяет сеть без конкуренции, в которой каждый узел по очереди получает право на передачу в соответствии с адресом своего сетевого адаптера (устанавливается с помощью 8-разрядного DIP-переключателя). Схема взаимодействия узлов сети показана на рис. 5.12.

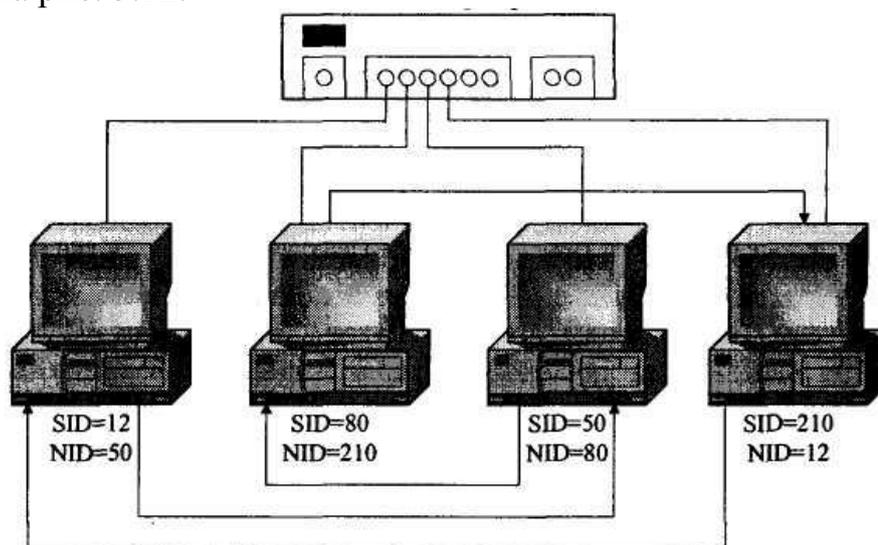


Рис. 5.12. Взаимодействие узлов в сети *Arcnet*

Каждый адаптер знает свой сетевой адрес (*SID*) и адрес узла, которому он передает маркер (*NID*). Узел с самым старшим адресом (*SID* = 210) замыкает логическое кольцо, передавая маркер узлу с самым младшим адресом (*SID* = 12).

Архитектура *Arcnet* не соответствует стандартам *IEEE*, а главное и принципиальное несоответствие заключается в методе адресации. В *Arcnet* используется 8-разрядный формат адресов (адрес устанавливается 8-разрядным *DIP*-переключателем) узлов (в *IEEE* 802 – 48-разрядный адрес).

В начале 90-х г. компания *Datapoint* попыталась реанимировать архитектуру *Arcnet*, предложив свою новую разработку *Arcnet Plus* со скоростью передачи данных до 20 Мбит/с. В *Arcnet Plus* можно динамически изменять частоту передачи сигналов, за счет чего обеспечивается ее совместимость со стандартной *Arcnet*. Кроме этого, *Arcnet Plus* поддерживает размеры кадра от 12,5 до 4224 байт (в *Arcnet* максимальный размер пакета 514 байт). В *Arcnet Plus* сохранена традиционная *Arcnet*-адресация, но при этом расширена поддержка совместимости с другими сетями стандартов *IEEE* 802.

Тем не менее, за последнее время с развитием рассмотренных ранее технологий и снижением их стоимости распространение сетей с архитектурой *Arcnet* практически прекратилось, на смену старым архитектурам приходят новые, более универсальные и производительные архитектуры, но не всегда более надежные.

В табл. 5.1 приведены основные параметры некоторых стандартных локальных вычислительных сетей.

Таблица 5.1

Параметры локальных вычислительных сетей

Название стандарта сети	Топология	Быстродействие, Мбит/с	Доступ	Тип кабеля	Размер сети (сегмента)
<i>1Base5 (starlan)</i>	Шина/ звезда	1	<i>CSMA/CD</i>	<i>UTP-2</i>	400 м
<i>10Base5/Ethernet</i>	Шина	10	<i>CSMA/CD</i>	<i>RG-58 (50 Ом)</i>	500 м
<i>10Base2</i>	Шина	10	<i>CSMA/CD</i>	<i>RG-58 (50 Ом)</i>	185 м
<i>10Base-T</i>	Шина	10	<i>CSMA/CD</i>	<i>UTP-3; (100 Ом)</i>	100 м
<i>100Base-TX</i>	Звезда	100	<i>CSMA/CD</i>	<i>UTP-5; (100 Ом)</i>	200 м
<i>100Base-FX</i>	Звезда	100	<i>CSMA/CD</i>	Оптоволокно	300 м
<i>100Base-T4</i>	Звезда	100	<i>CSMA/CD</i>	<i>UTP-5; (100 Ом)</i>	200 м
<i>1000Base-T</i>	Звезда	1000	<i>CSMA/CD</i>	<i>UTP-5; (100 Ом)</i>	100 м
<i>1000Base-SX</i>	Звезда	1000	<i>CSMA/CD</i>	Оптоволокно	300 м
IEEE 802.4 <i>Token Bus</i>	Шина	1/5/10/ 20	Маркер	<i>RG-59 (75 Ом)</i>	
IEEE 802.5 <i>Token Ring</i>	Звезда	4/16	Маркер	<i>STP/UTP (150/120 Ом)</i>	366 м
<i>Arcnet/Arcnet Plus</i>	Звезда/ шина	2,5/20	Маркер	<i>RG-62/ UTP (93 Ом)</i>	6400/ 600 м
<i>Appletalk</i>	Шина/ звезда	0,23	<i>CSMA/CD</i>	<i>STP/UTP (100 Ом)</i>	300/ 3000 м
<i>FDDI</i>	Двойное кольцо	100	Маркер	Оптоволокно	100 км
<i>S-net</i>	Шина/ звезда	1	Индивидуальный	<i>STP (100 Ом)</i>	700 м

5.8. Компоненты глобальных вычислительных сетей

Аппаратные средства

Чтобы обеспечить передачу информации из ЭВМ в коммуникационную среду, необходимо согласовать сигналы внутреннего интерфейса ЭВМ с параметрами сигналов, передаваемых по каналам связи. При этом должно быть выполнено как физическое согласование (форма, амплитуда и длительность сигнала), так и кодовое.

Мультиплексор (коммутатор – *switch*) передачи данных – устройство сопряжения ЭВМ с несколькими каналами связи.

Мультиплексоры передачи данных использовались в системах телеобработки данных – первом шаге на пути к созданию вычислительных сетей. В дальнейшем при появлении сетей со сложной конфигурацией и с большим количеством абонентских систем для реализации функций сопряжения стали применяться специальные связные процессоры.

Узел сети (*Node*) – вычислительная машина с сетевым интерфейсом (выступающим в роли рабочей станции, сервера или в обеих ролях), принтер или другое разделяемое устройство с сетевым интерфейсом.

Сетевая карта – адаптер (сетевой интерфейс) – плата расширения компьютера, с помощью которой он подключается к сети. Сетевые платы выпускались с *PCI*-интерфейсами подключения к системной плате компьютера. Для подключения сетевого кабеля сетевые платы содержат *BNC* (тонкий коаксиальный кабель) и/или *UTP* – разъемы (коннекторы) (экранированная и неэкранированная витая пара), а некоторые и разъем *AUI* (толстый коаксиальный кабель). Каждая сетевая плата имеет уникальный адрес из 6 байт, например *2F.14.22.AD.F0.7C* (шестнадцатеричная система счисления). Один адаптер обеспечивает сопряжение с ЭВМ одного канала связи. Сейчас компьютеры выпускаются с встроенными в материнскую плату сетевыми картами (*LAN*-интерфейс).

Концентратор (*Hub*) – устройство физического подключения нескольких сегментов сети (в том числе и различных архитектур) или ее отдельных узлов. Интеллектуальный *Hub* имеет специальные средства для диагностики и управления, что позволяет оперативно получать сведения об активности и исправности узлов, отключать неисправные узлы и т.д. Активный *Hub* усиливает сигналы.

Повторитель (*Repeater*) – устройство для соединения сегментов одной сети, обеспечивающее промежуточное усиление и формирование сигналов. Оперирует на физическом уровне модели *OSI*. Расширяет сеть по расстоянию и количеству подключенных узлов.

Мост (*Bridge*) – средство передачи пакетов между вычислительными сетями, оперирует на двух нижних уровнях модели *OSI* (физическом и канальном). Осуществляет фильтрацию пакетов, не выпуская из сети пакеты для адресатов, находящихся внутри сети, а также переадресацию-передачу пакетов в другую сеть в соответствии с таблицей маршрутизации или во все другие сети при отсутствии адресата в таблице. Таблица маршрутизации обычно составляется в процессе самообучения по адресу источника приходящего пакета.

Различают мосты подуровня управления доступом (*MAC-Layer Bridges*) и подуровня управления логической связью (*IXC-Layer Bridges*). Первые используются для объединения сетей с одинаковой архитектурой (одинаковый формат пакетов данных), а вторые позволяют объединять вычислительные сети с разной архитектурой, например *Ethernet* и *Token Ring*.

Мосты могут быть программными (внутренний мост, функционирует на одном из узлов вычислительной сети) и аппаратно-программными (внешний мост – самостоятельный аппаратно-программный комплекс).

Маршрутизатор (*Router*) – средство обеспечения связи между узлами различных сетей, оперирует на сетевом уровне модели *OSI*, использует сетевые (логические) адреса. Маршрутизатор анализирует адрес получателя и перенаправляет пакет в соответствии с таблицей маршрутизации в сеть назначения.

Сети могут находиться на значительном расстоянии, и путь, по которому передается пакет, может проходить через несколько маршрутизаторов. Маршрутизаторы поддерживают протоколы сетевого уровня: *IP*, *IPX*, *X.25* и др. Существуют мультипротокольные маршрутизаторы, поддерживающие несколько протоколов одновременно для различных сетей.

Шлюз (*Gateway*) – средство соединения существенно разнородных сетей, оперирующее на верхних уровнях модели *OSI*.

Шлюз выполняет преобразование форматов и размеров пакетов, преобразование протоколов, преобразование данных, мультиплексирование. Обычно реализуется на основе компьютера с большим объемом памяти.

Модем (модулятор-демодулятор) предназначен для передачи информации на большие расстояния по телефонным и выделенным линиям связи. Модемы осуществляют преобразование цифровых сигналов вычислительной машины в аналоговые для их передачи по линиям связи.

Факс-модемы позволяют передавать и принимать факсимильные изображения, как правило, совместимы с факс-машинами.

Голосовые модемы (*Voice Modem*) преобразуют звуковое сообщение в файл данных. Сообщение может передаваться или воспроизводиться голосовым модемом через внутренний динамик.

Конструктивно модемы для PC выпускаются в двух исполнениях: внутренние (*Internal*) и внешние (*External*).

Внутренние модемы устанавливаются в слот системной шины (*PCI*).

Внешние модемы, имеющие собственный корпус и блок питания, подключаются кабелем к *COM*-порту.

Современные модемы, используемые для коммутируемых линий, имеют средства набора номера и определения состояния линии (гудок, занято и т.п.), а также средства настройки параметров передачи.

Для коррекции ошибок и сжатия данных используются различные протоколы семейства протоколов *MNP-1 – MNP-10* и протоколы группы *V.X* (*V.34, V.42, V.90* Международного телекоммуникационного Союза – *ITU* и др.).

Современные модемы для коммутируемых телефонных линий связи поддерживают скорость передачи данных до 56 кбит/с (протокол *V.90*).

Кабельная сеть – совокупность кабельных сегментов и узлов, связанных между собой повторителями.

Кабельный (физический) сегмент сети – цепочка отрезков кабелей, электрически соединенных друг с другом.

Логический сегмент сети – группа узлов сети, имеющих непосредственный доступ друг к другу на уровне пакетов канального уровня.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте основные рекомендации МККТТ по методам передачи данных на физическом уровне.

2. В каком году был образован комитет 802 института *IEEE*? Каковы его функции?

3. Перечислите виды стандартных архитектур локальных вычислительных сетей?

4. Расскажите про архитектуру *Ethernet – IEEE 802.3*.

5. Какая из разновидностей сетевых технологий *Ethernet* обеспечивает скорость передачи данных до 100 Мбит/с?

6. Расскажите про протокол *Fast Ethernet*.

7. Расскажите про протокол *100VG-AnyLan*.

8. Расскажите про протокол *Gigabit Ethernet*.

9. Расскажите про протокол *Token Ring (High Speed Token Ring)*.

10. Относится ли к сетям с детерминированным доступом архитектура *Token Ring*?

11. Расскажите про протокол *FDDI*.

12. Расскажите про протоколы *SLIP* и *PPP*.
13. Расскажите про архитектуру *Arcnet*.
14. К какой группе методов доступа к физической среде передачи данных относится маркерный метод?
15. Каким образом в сетях с недетерминированным доступом к физической среде передачи данных устраняется возможность повторного конфликта узлов?
16. Каково назначение контрольной суммы в кадре стандарта *IEEE 802.3*?
17. Что понимается под маркером в сетях с детерминированным доступом?
18. Чем принципиально отличаются топологии сетей *FDDI* от *IEEE 802.5*?
19. Каковы функции концентратора?
20. В чем отличие между мостом и шлюзом?
21. Какая из реализаций вычислительных сетей, *10Base-T* или *10Base-T*, обладает большей скоростью передачи данных?
22. Какие бывают компоненты глобальных вычислительных сетей.

Глава 6. ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Различают передачи аналоговой и цифровой информации. Аналоговой называется информация, принимающая бесконечно большое количество значений в определенном диапазоне. Цифровая (дискретная) информация в том же диапазоне может принимать ограниченное количество значений. Кодировать (т.е. присваивать символы значениям) можно только цифровую информацию. Значение аналоговой информации неопределенно, поскольку количество возможных значений бесконечно, его бесконечно можно уточнять. Можно только определить вероятностные характеристики аналогового сигнала. Как аналоговая, так и цифровая информации могут быть переданы по аналоговым каналам. Чтобы передавать аналоговую информацию по цифровым каналам, её необходимо сначала преобразовать из аналоговой формы в цифровую. Аналоговые каналы безнадежно отстают по качеству от цифровых каналов.

6.1. Способы передачи информации по физической среде

Существуют два способа передачи информации по физической передающей среде: цифровой и аналоговый.

Цифровой способ передачи информации. Цифровые данные по проводнику передаются путем смены текущего напряжения (рис. 6.1): нет напряжения – «0», есть напряжение – «1». Приемником отсчет данных осуществляется в момент появления синхроимпульса тактовой частоты, она определяет скорость передачи/приема. Если все абоненты сети ведут передачу данных по каналу на одной частоте, такой канал называется **узкополосным** (пропускает одну частоту). Очевидно, цифровой способ передачи является узкополосным, поскольку наложение второй и более частот нарушило бы верность приема (в момент отсчета мог появиться ошибочный бит – бит другой частоты).

При **цифровом**, или **узкополосном**, способе передачи (рис. 6.1) данные передаются в их естественном виде на единой частоте. Узкополосный способ позволяет передавать только цифровую информацию, обеспечивает в каждый данный момент времени возможность использования передающей среды только двумя пользователями и допускает нормальную работу только на ограниченном расстоянии (длина линии связи не более 1000 м). В то же время узкополосный способ передачи обеспечивает высокую скорость обмена данными (до 10 Мбит/с) и позволяет создавать легко конфигурируемые вычислительные сети.

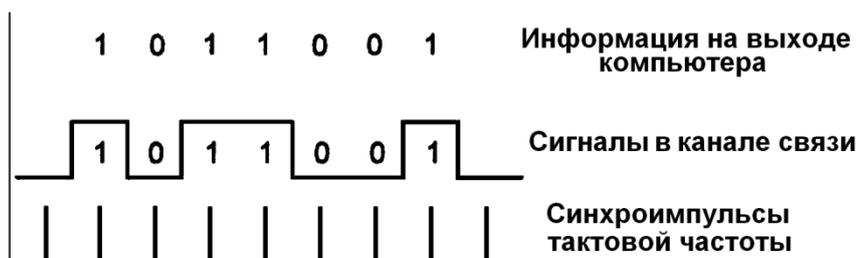


Рис. 6.1. Цифровой способ передачи

Если каждый абонент работает на своей собственной частоте по одному каналу, то такой канал называется **широкополосным** (пропускает много частот). Использование широкополосных каналов позволяет экономить на их количестве, но усложняет процесс управления обменом данными.

Аналоговый способ передачи цифровых (аналоговых) данных (рис. 6.2) обеспечивает широкополосную передачу за счет использования в одном канале сигналов различных несущих частот переменного тока. В качестве несущего сигнала используется гармонический сигнал, частота которого должна совпадать с центральной частотой полосового фильтра, соответствующего используемому каналу. Чисто гармонический сигнал

пройдет через канал без искажений, вызванных фильтрацией, поскольку он имеет спектр нулевой ширины. Однако и информации такой сигнал переносить не может. Для переноса информации необходимо осуществить наложение на него потока битов (аналогового изменения, несущего полезную информацию). Этот процесс называется модуляцией. **Модуляция** – это управление изменением одного из параметров гармонического сигнала в соответствии с передаваемой информацией. В гармоническом сигнале $S = X\sin(\omega t + \varphi)$ таких параметров три: амплитуда X , частота ω , фаза φ . Соответственно называются и виды модуляции: **амплитудная (АМ), частотная (ЧМ), фазовая (ФМ)**. Возможно управление изменением одновременно двух параметров, например, амплитуды и частоты и др. На приемной стороне возникает обратная задача – восстановить исходный сигнал, т.е. осуществить **демодуляцию**.

Для передачи цифровой информации (данных) необходимо последовательностью единиц и нулей управлять (модулировать) соответственно амплитудой, частотой, фазой.

Вид модуляции выбирается исходя из соображений устойчивости к помехам определенного типа, имеющих место в выбранном для использования канале, с учетом ширины спектра модулированного сигнала, необходимом для обеспечения требуемой скорости передачи, простоты аппаратной реализации. Перед подачей на модулятор информационные биты кодируются одним из кодов так же, как и при передаче данных постоянным током. Это необходимо для обеспечения правильного декодирования сигналов на приемной стороне.

Проще всего понять принцип **амплитудной** модуляции: «0» – отсутствие сигнала, т.е. отсутствие колебаний несущей частоты; «1» – наличие сигнала, т.е. наличие колебаний несущей частоты. Есть колебания – единица, нет колебаний – нуль (рис. 6.2).

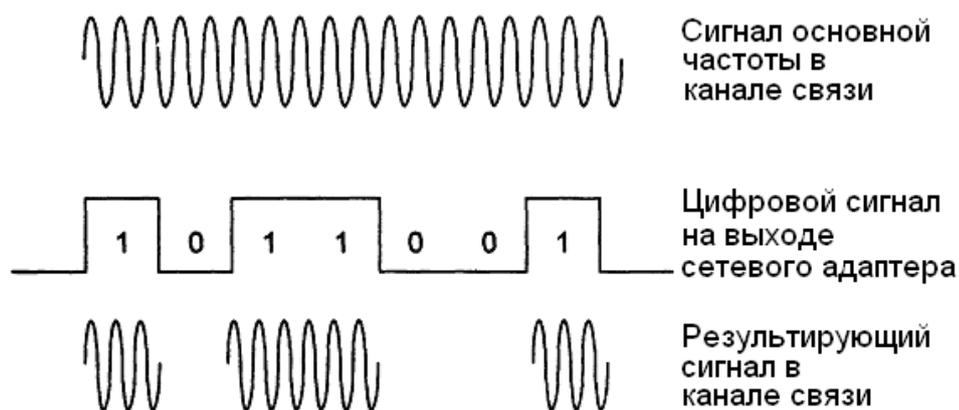


Рис. 6.2. Передача цифровой информации по аналоговому сигналу способом амплитудной модуляции

Частотная модуляция предусматривает передачу сигналов 0 и 1 на разной частоте. При переходе от 0 к 1 и от 1 к 0 происходит изменение сигнала несущей частоты (рис. 6.3).

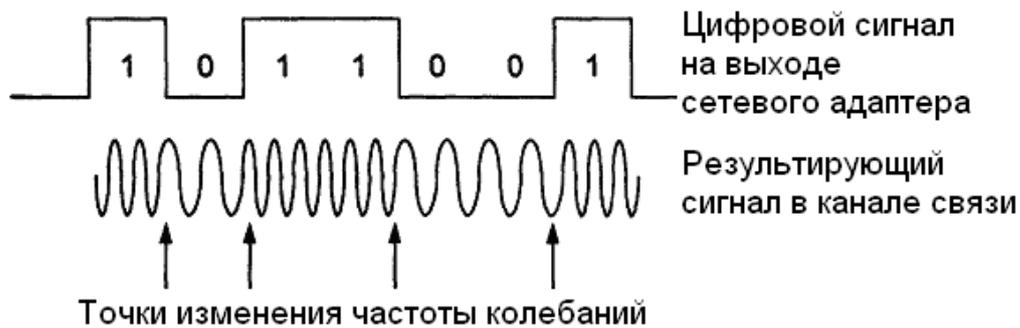


Рис. 6.3. Передача цифровой информации по аналоговому сигналу способом частотной модуляции

Наиболее сложной для понимания является фазовая (фазоразностная) модуляция. Суть ее в том, что при переходе от 0 к 1 и от 1 к 0 меняется фаза колебаний, т.е. их направление (рис. 6.4).

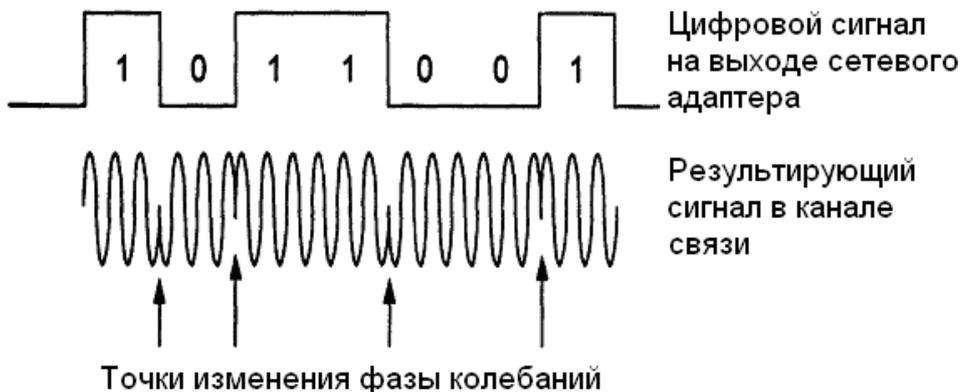


Рис. 6.4. Передача цифровой информации по аналоговому сигналу способом фазовой модуляции

Широкополосная передача позволяет совмещать в одном канале передачу цифровых данных, изображения и звука, что является необходимым требованием современных систем мультимедиа.

При использовании прямоугольных импульсов (цифровая узкополосная передача) спектр результирующего сигнала получается весьма широким. Это не удивительно, если вспомнить, что спектр идеального импульса имеет бесконечную ширину. Применение синусоиды приводит к спектру гораздо меньшей ширины при той же скорости

передачи информации. Однако для реализации синусоидальной модуляции необходима более сложная и дорогая аппаратура, чем для реализации прямоугольных импульсов.

В настоящее время все чаще данные, изначально имеющие аналоговую форму – речь, телевизионное изображение, – передают по каналам связи в дискретном виде, т.е. в виде последовательности единиц и нулей. Процесс представления аналоговой информации в дискретной форме называется **дискретной модуляцией**.

Как правило, аналоговую модуляцию применяют для передачи дискретных данных по каналам с узкой полосой частот, типичным представителем которых является канал тональной частоты (ТЧ), предоставляемый в распоряжение пользователям общественных телефонных сетей. Этот канал передает частоты в диапазоне от 300 до 3400 Гц, таким образом, его полоса пропускания равна 3100 Гц. Строгое ограничение полосы пропускания канала ТЧ связано с использованием аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях. Устройство, осуществляющее модуляцию несущей синусоиды на передающей стороне и демодуляцию на приемной стороне, носит название **модем (модулятор-демодулятор)**.

6.2. Основные характеристики линий связи

Основными характеристиками каналов связи являются:

- амплитудно-частотная характеристика;
- полоса пропускания;
- затухание;
- помехоустойчивость;
- шумы;
- пропускная способность;
- достоверность передачи данных;
- резервы развития (расширяемость);
- удельная стоимость.

Для определения характеристик канала связи часто используют анализ его реакций на некоторые эталонные воздействия. Такой подход позволяет достаточно просто и однотипно определять характеристики линий связи любой природы, не прибегая к сложным теоретическим исследованиям. Чаще всего в качестве эталонных сигналов для исследования реакций линий связи используют синусоидальные сигналы различных частот. Это связано с тем, что сигналы этого типа часто

встречаются в технике и с их помощью можно представить любую функцию времени: – как непрерывный процесс колебаний звука, так и прямоугольные импульсы, генерируемые компьютером.

6.2.1. Амплитудно-частотная характеристика

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) – это зависимость отношения амплитуды гармонического сигнала на выходе к амплитуде на входе канала связи от частоты гармонического сигнала. Общий вид АЧХ представлен на рис. 6.5.



Рис. 6.5. Амплитудно-частотная характеристика канала связи

Из теории гармонического анализа (см. пп. 3.6) известно, что любой периодический процесс можно представить в виде суммы синусоидальных колебаний различных частот и амплитуд (рис. 6.6). Каждая составляющая синусоида называется гармоникой, а набор всех гармоник – спектральным разложением исходного сигнала. Непериодические сигналы можно представить в виде интеграла синусоидальных сигналов с непрерывным спектром частот. Например, спектральное разложение идеального импульса (единичной мощности и нулевой длительности) имеет составляющие всего спектра частот, от $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 6.7).

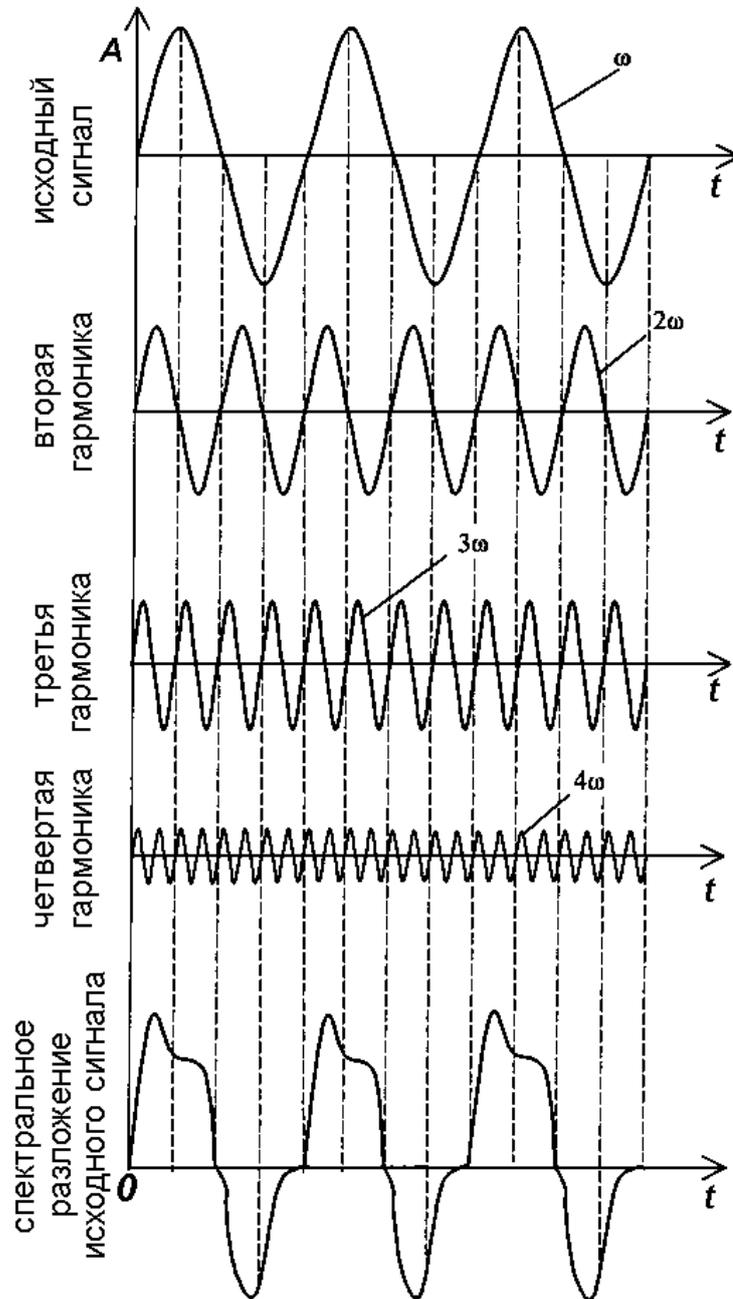


Рис. 6.6. Представление периодического сигнала суммой синусоид

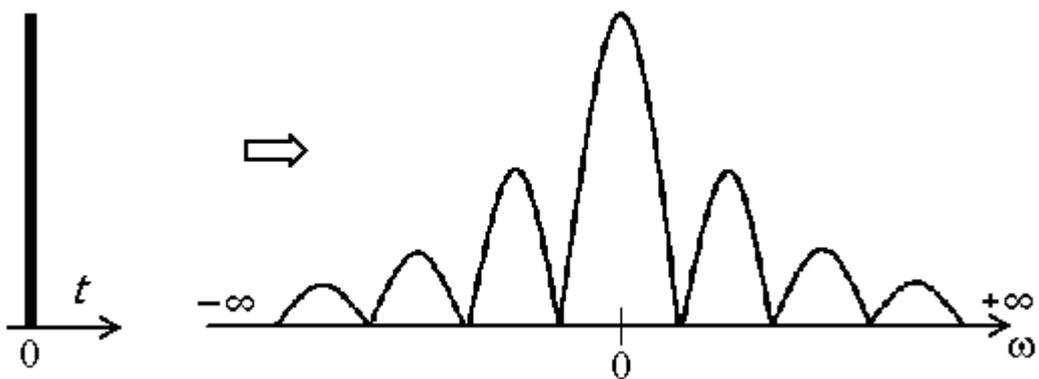


Рис. 6.7. Спектральное разложение идеального импульса

Техника определения спектра любого исходного сигнала известна. Для некоторых сигналов, которые хорошо описываются аналитически (например, для последовательности прямоугольных импульсов одинаковой длительности и амплитуды), спектр легко вычисляется по формулам Фурье (см. пп. 3.6). Для сигналов произвольной формы, встречающихся на практике, спектр можно найти с помощью специальных приборов – спектральных анализаторов, которые измеряют спектр реального сигнала и отображают амплитуды составляющих гармоник на экране или распечатывают их на принтере.

Знание амплитудно-частотной характеристики реальной линии позволяет определить форму выходного сигнала практически для любого входного сигнала. Для этого необходимо найти спектр входного сигнала, преобразовать амплитуду составляющих его гармоник в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой, а затем найти форму выходного сигнала, сложив преобразованные гармоники.

Несмотря на полноту информации, предоставляемой амплитудно-частотной характеристикой о линии связи, ее использование осложняется тем обстоятельством, что получить ее весьма трудно. Ведь для этого нужно провести тестирование линии эталонными синусоидами по всему диапазону частот от нуля до некоторого максимального значения, которое может встретиться во входных сигналах. Причем менять частоту входных синусоид нужно с небольшим шагом, а значит, количество экспериментов должно быть очень большим. Поэтому на практике вместо амплитудно-частотной характеристики применяются другие, упрощенные характеристики – **полоса пропускания** и **затухание**.

Воздействия на сигнал различных факторов в процессе передачи изображены на рис. 6.8. Как видно, сигнал, передаваемый по любой среде передачи, подвергается воздействию затухания, ограниченности полосы пропускания, задержке передачи и шумов. Хотя все эти факторы оказывают совокупное воздействие, рассмотрим источник каждого из них в отдельности.

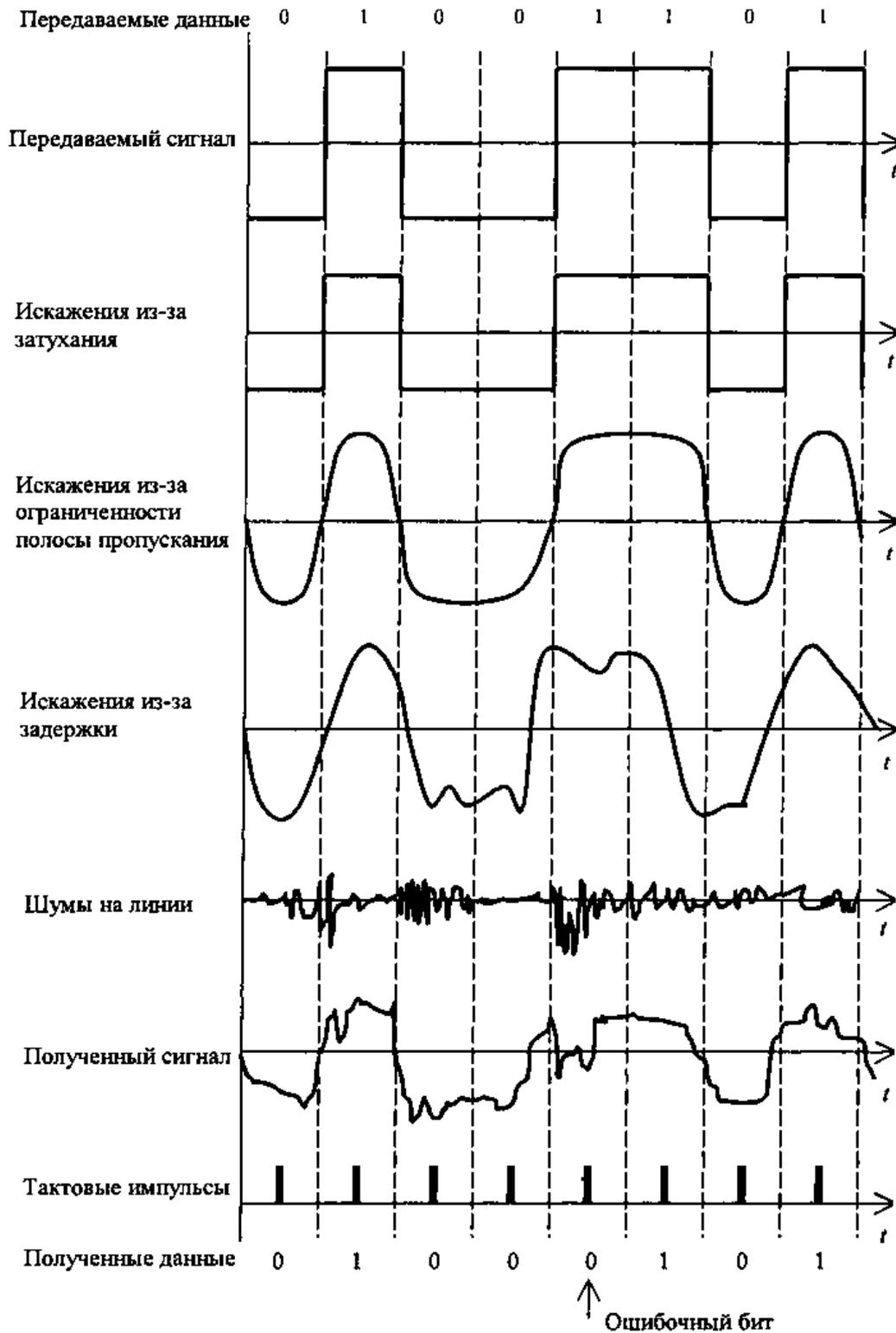
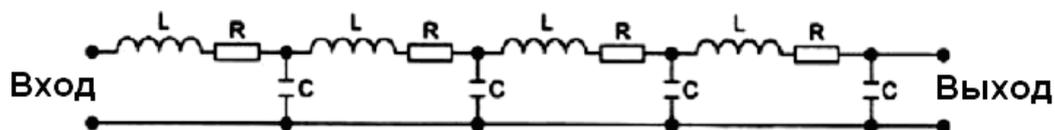


Рис. 6.8. Источники затухания и искажения сигнала

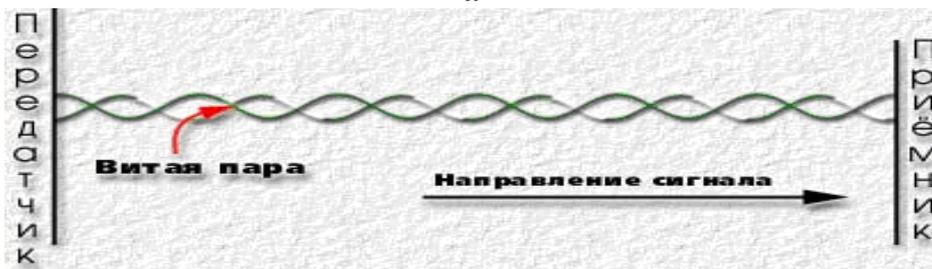
Искажение передающим каналом синусоиды какой-либо частоты приводит в конечном счете к искажению передаваемого сигнала любой формы, особенно если синусоиды различных частот искажаются неодинаково. Если это аналоговый сигнал, передающий речь, то

изменяется тембр голоса за счет искажения обертонов – боковых частот. При передаче импульсных сигналов, характерных для компьютерных сетей, искажаются низкочастотные и высокочастотные гармоники, в результате фронты импульсов теряют свою прямоугольную форму.

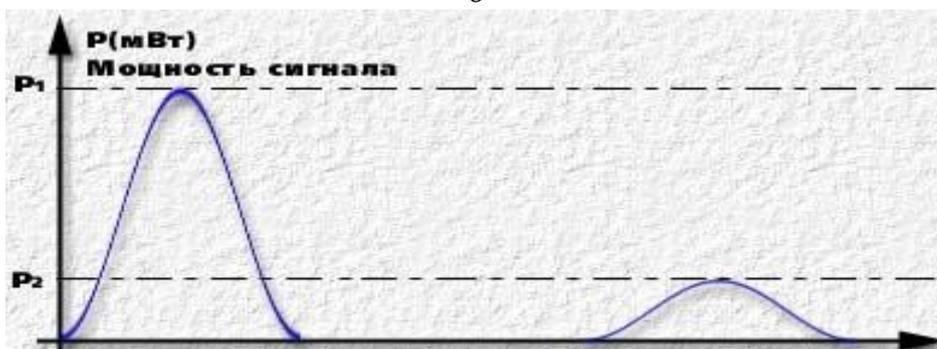
Линия связи искажает передаваемые сигналы из-за того, что ее физические параметры отличаются от идеальных. Так, например, медные провода всегда представляют собой некоторую распределенную по длине комбинацию активного сопротивления, емкостной и индуктивной нагрузки (рис. 6.9). В результате для синусоид различных частот линия будет обладать различным полным сопротивлением, а значит, и передаваться они будут по-разному, т.е. линия связи представляет собой канал с характеристиками «полосовой фильтр». Волоконно-оптический кабель также имеет отклонения, мешающие идеальному распространению света. Если линия связи включает промежуточную аппаратуру, то она также может вносить дополнительные искажения, так как невозможно создать устройства, которые бы одинаково хорошо передавали весь спектр синусоид, от нуля до бесконечности.



а



б



в

Рис. 6.9. а – распределенная индуктивно-емкостная нагрузка; б – потеря мощности сигнала; в – представление линии связи

Кроме искажений сигналов, вносимых внутренними физическими параметрами линии связи, существуют и внешние помехи, которые вносят свой вклад в искажение формы сигналов на выходе линии. Эти помехи создают различные электрические двигатели, электронные устройства, атмосферные явления и т.д. Несмотря на защитные меры, предпринимаемые разработчиками кабелей и усилительно-коммутирующей аппаратуры, полностью компенсировать влияние внешних помех не удастся. Поэтому сигналы на выходе линии связи обычно имеют сложную форму (как это и показано на рис. 6.8), по которой иногда трудно понять, какая дискретная информация была подана на вход линии.

6.2.2. Затухание

Затухание (*attenuation*) определяется как относительное уменьшение мощности или амплитуды сигнала определенной частоты при прохождении им определенного расстояния вдоль линии связи. Таким образом, затухание представляет собой одну точку на амплитудно-частотной характеристике. Амплитудно-частотная характеристика (рис. 6.10) показывает, как затухает амплитуда синусоиды (или мощность) на выходе канала связи по сравнению с амплитудой (или мощностью) на его входе для всех возможных частот передаваемого сигнала.

Часто при эксплуатации канала заранее известна основная частота передаваемого сигнала, т.е. та частота, гармоника которой имеет наибольшую амплитуду и мощность. Поэтому достаточно знать затухание на этой частоте, чтобы приблизительно оценить искажения передаваемых по каналу сигналов. Более точные оценки возможны при известном затухании на нескольких частотах, соответствующих нескольким основным гармоникам передаваемого сигнала.

Затухание A в децибелах (дБ) вычисляют по формуле (используется десятичный логарифм):

$$A = 10 \cdot \lg(P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}), \quad (6.1)$$

где $P_{\text{вых}}$ – мощность сигнала на выходе канала; $P_{\text{вх}}$ – мощность сигнала на входе канала.

Децибел является очень важной единицей, используемой в телекоммуникациях, волоконной оптике, также и в электронике для выражения усиления или затухания в системе в целом или в ее компонентах. Эту величину ввел Александр Грэхем Белл для измерения силы звука. Единица стала называться «Бел». Одна десятичная Бела называется децибел (дБ).

Человеческое ухо воспринимает силу звука логарифмически. Так, уровень в 100 Ватт по сравнению с уровнем в 10 Ватт для человеческого уха слышится громче в два раза (но не в 10 раз). Возрастание силы звука на один децибел является примерно наименьшим приростом, которое способно различить человеческое ухо.

Таким образом, двухкратная потеря мощности на линии соответствует -3 дБ, 90 %-ная потеря мощности (остается 10 %) равна -10 дБ. Аналогично, десятикратное возрастание мощности соответствует $+10$ дБ.

Так как мощность выходного сигнала среды передачи без промежуточных усилителей всегда меньше, чем мощность входного сигнала, затухание среды передачи всегда является отрицательной величиной.

Например, витая пара – кабель категории 5 – характеризуется затуханием не ниже $-23,6$ дБ для частоты 100 МГц при длине кабеля 100 м. Частота 100 МГц выбрана потому, что кабель этой категории предназначен для высокоскоростной передачи данных, сигналы которых имеют значимые гармоники с частотой примерно 100 МГц. Кабель категории 3 предназначен для низкоскоростной передачи данных, поэтому для него определяется затухание на частоте 10 МГц (не ниже $-11,5$ дБ). Часто оперируют с абсолютными значениями затухания, без указания знака.

Абсолютный уровень мощности, например, уровень мощности передатчика, также измеряется в децибелах. При этом в качестве базового значения мощности сигнала, относительно которого измеряется текущая мощность, принимается значение в 1 МВт. Таким образом, уровень мощности, дБм,

$$p = 10 \cdot \lg(P/1\text{МВт}), \quad (6.2)$$

где P – мощность сигнала, МВт.

Единица измерения уровня мощности дБм (dBm) – децибел соотнесенный к 1 МВт.

Соотношение мощности и единиц дБм: **100 мкВт = -10 дБм; 1 МВт = 0 дБм; 10 МВт = $+10$ дБм.**

Затухание зависит от длины кабеля и частоты. Типичная зависимость затухания от частоты представлена на рис. 6.10.

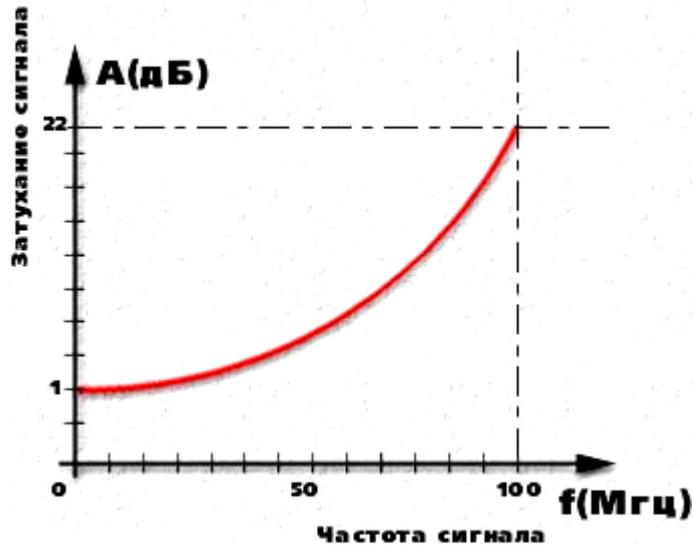


Рис. 6.10. Зависимость затухания от частоты

Затухание представляет собой обобщенную характеристику линии связи, так как позволяет судить не о точной форме сигнала, а о его мощности (интегральной результирующей от формы сигнала). На практике затухание является важным атрибутом описания линий связи: в частности, в стандартах на кабель этот параметр считается одним из основных.

6.2.3. Полоса пропускания

Полоса пропускания (*bandwidth*) – непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала к входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5; т.е. полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по каналу связи без значительных искажений (рис. 6.11).

Полоса пропускания зависит от типа линии и ее протяженности. На рис. 6.11 показаны полосы пропускания линий связи различных типов, а также наиболее часто используемые в технике связи частотные диапазоны.

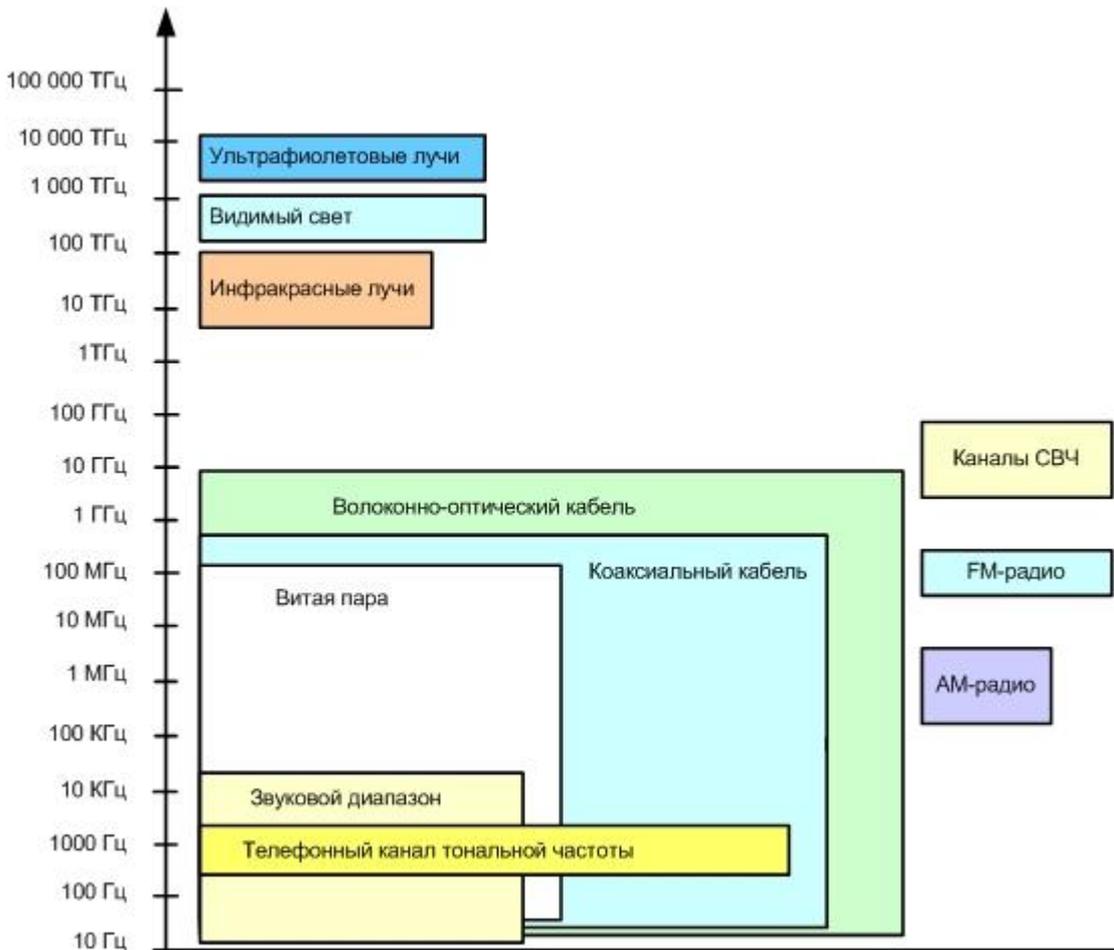


Рис. 6.11. Полосы пропускания линий связи и распространенные частотные диапазоны

Так как любой дискретный сигнал состоит из компонент различной частоты, то на вход приемного устройства поступают только те компоненты, частоты которых находятся внутри полосы пропускания. Ограниченность полосы пропускания приводит к частотным искажениям сигнала. Известно, что амплитуда каждой из частотных гармоник снижается с ростом частоты. Поэтому, чем шире полоса пропускания среды передачи, тем большее число высокочастотных компонент проходит по линии связи, а следовательно, тем надежнее будет полученный сигнал воспроизводить переданный сигнал.

Искажение из-за задержки определяется тем, что скорость распространения синусоидального сигнала по линии связи изменяется с изменением частоты. Следовательно, при передаче цифрового сигнала различные компоненты, из которых образован сигнал, достигают приемника с различными задержками. Результатом этого является искажение сигнала, называемое искажением, вызванным задержкой.

Степень искажения растет с увеличением скорости передачи битов, что вызвано тем, что по мере роста скорости битов некоторые частотные компоненты, связанные с передачей данного бита, задерживаются и начинают влиять на частотные компоненты следующего бита. Поэтому искажения из-за задержки называют также межсимвольными взаимными помехами. В результате действия этого искажения в моменты измерения поступивший сигнал изменяется. Так как обычно поступивший сигнал измеряется в номинальном центре каждого битового интервала, то, следовательно, при увеличении скорости битов искажение из-за задержки может привести к некорректной интерпретации полученного сигнала.

6.2.4. Помехоустойчивость

Шумы постоянно присутствуют в реальном канале. В отсутствие передаваемого сигнала в идеальной линии связи должен быть нулевой уровень электрического сигнала. Однако на практике в линии имеют место случайные всплески даже тогда, когда никакой сигнал не передается. Эти всплески называют уровнем шумов в линии, и в пределе по мере затухания передаваемого сигнала его уровень становится сравнимым с уровнем шума.

Важным параметром, связанным со средой передачи является отношение мощности полученного сигнала P_{signal} к мощности уровня шумов P_{noise} , так называемое отношение сигнал – шум (ОСШ – S/N или SNR , *signal-to-noise ratio*) $SNR = P_{signal}/P_{noise}$, которое обычно выражают в децибелах:

$$SNR = 10 \cdot \lg(P_{signal}/P_{noise}), \text{ дБ.} \quad (6.3)$$

Некоторые виды шума можно очистить с помощью электронных фильтров. Совершенно очевидно, что высокое значение отношения свидетельствует о высокой мощности сигнала по отношению к имеющемуся уровню шумов и поэтому характеризует сигнал хорошего качества. Наоборот, низкое значение отношения SNR свидетельствует о сигнале низкого качества.

Для передачи речи с низким качеством ОСШ приемлемо около 16 дБ, а для высококачественного радиовещания музыкальных программ ОСШ составляют 50 – 60 дБ.

Помехоустойчивость линии определяет ее способность уменьшать уровень помех, создаваемых внешней средой, на внутренних проводниках. Помехоустойчивость линии зависит от типа используемой физической

среды, а также от экранирующих и подавляющих помехи средств самой линии. Наименее помехоустойчивыми являются радиолнии, хорошей устойчивостью обладают кабельные линии и отличной – волоконно-оптические линии, малочувствительные ко внешнему электромагнитному излучению. Обычно для уменьшения помех, появляющихся из-за внешних электромагнитных полей, проводники экранируют и/или скручивают.

Перекрестные наводки на ближнем конце *NEXT* (*Near End Cross Talk*) определяют помехоустойчивость кабеля к внутренним источникам помех, когда электромагнитное поле сигнала, передаваемого выходом передатчика по одной паре проводников, наводит на другую пару проводников сигнал помехи. Если ко второй паре будет подключен приемник, то он может принять наведенную внутреннюю помеху за полезный сигнал. Показатель *NEXT*, выраженный в децибелах, равен

$$NEXT = 10 \cdot \lg(P_{\text{вых}}/P_{\text{нав}}), \quad (6.4)$$

где $P_{\text{вых}}$ – мощность выходного сигнала; $P_{\text{нав}}$ – мощность наведенного сигнала.

Показатель *NEXT* обычно используют применительно к кабелю, состоящему из нескольких витых пар, так как в этом случае взаимные наводки одной пары на другую могут достигать значительных величин.

6.2.5. Пропускная способность

Пропускная способность (*throughput*) линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи. Пропускная способность измеряется в битах в секунду – бит/с, а также в производных единицах: килобит в секунду (Кбит/с), мегабит в секунду (Мбит/с), гигабит в секунду (Гбит/с) и т.д. Пропускная способность линий связи и коммуникационного сетевого оборудования традиционно измеряется в битах в секунду, а не в байтах в секунду. Это связано с тем, что данные в сетях передаются последовательно, т.е. побитно, а не параллельно, байтами, как это происходит между устройствами внутри компьютера. Такие единицы измерения, как килобит, мегабит или гигабит, в сетевых технологиях строго соответствуют степеням 10 (то есть килобит – это 1000 бит, а мегабит – это 1 000 000 бит), как это принято во всех отраслях науки и техники, а не близким к этим числам степеням 2, как это принято в программировании, где приставка «кило» равна $2^{10} = 1024$, а «мега» – $2^{20} = 1\,048\,576$.

Пропускная способность линии связи зависит не только от ее характеристик, таких как амплитудно-частотная характеристика, но и от того, какие сигналы передаются – аналоговые или цифровые. Если значимые гармоники сигнала (т.е. те гармоники, амплитуды которых вносят основной вклад в результирующий сигнал) попадают в полосу пропускания линии, то такой сигнал будет хорошо передаваться данной линией связи и приемник сможет правильно распознать информацию, отправленную по линии передатчиком. Если же значимые гармоники выходят за границы полосы пропускания линии связи, то сигнал будет значительно искажаться, приемник будет ошибаться при распознавании информации, а значит, информация не сможет передаваться с заданной пропускной способностью.

Выбор способа представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи, называется **физическим** или **линейным кодированием**. От выбранного способа кодирования зависит спектр сигналов и, соответственно, пропускная способность линии. Таким образом, для одного способа кодирования линия может характеризоваться одной пропускной способностью, а для другого – другой.

Из теории информации следует, что любое различимое и непредсказуемое изменение принимаемого сигнала несет в себе информацию. В соответствии с этим прием синусоиды, у которой амплитуда, фаза и частота остаются неизменными, информации не несет, так как изменение сигнала хотя и происходит, но является хорошо предсказуемым. Большинство способов кодирования используют изменение какого-либо параметра периодического сигнала: **частоты, амплитуды и фазы** синусоиды или же знак потенциала последовательности импульсов. Периодический сигнал, параметры которого изменяются, называют **несущим** (*carrier*) сигналом, сигналом-переносчиком или несущей частотой, если в качестве такого сигнала используется синусоида.

Если сигнал изменяется так, что равновероятно можно различить только два состояния его информативного параметра, то в соответствии с оценкой Р. Хартли любое изменение сигнала, как отмечалось выше, будет соответствовать наименьшей единице информации – биту. Если же сигнал может иметь более двух различных состояний, то любое его изменение будет нести несколько бит информации.

Количество изменений информативного параметра несущего периодического сигнала в секунду измеряется в **бодах** (*baud*) (по фамилии французского изобретателя телеграфного аппарата *Emile Baudot* – Э. Бодо).

Период времени между соседними изменениями информативного параметра сигнала называется **тактом** работы передатчика или бодовым интервалом.

Пропускная способность линии в бит/с в общем случае не совпадает с числом бод. Она может быть как выше, так и ниже числа бод, что зависит от способа кодирования.

Если сигнал имеет более двух различных состояний, то пропускная способность в бит/с будет выше, чем число бод. Например, если информативными параметрами являются фаза и амплитуда синусоиды, причем различаются 4 состояния фазы в 0, 90, 180 и 270 ° и 2 значения амплитуды сигнала, то информационный сигнал может иметь 8 различных состояний. В этом случае модем, работающий со скоростью 2400 бод (с тактовой частотой 2400 Гц), передает информацию со скоростью 7200 бит/с, так как при одном изменении сигнала передается 3 бита информации.

При использовании сигналов с двумя различными состояниями может наблюдаться обратная картина. Это часто происходит потому, что для надежного распознавания приемником пользовательской информации каждый бит в последовательности кодируется с помощью нескольких изменений информативного параметра несущего сигнала. Например, при кодировании единичного значения бита импульсом положительной полярности, а нулевого значения бита – импульсом отрицательной полярности, физический сигнал дважды изменяет свое состояние при передаче каждого бита. При таком кодировании пропускная способность линии в два раза ниже, чем число бод, передаваемое по линии.

На пропускную способность линии оказывает влияние не только физическое, но и **логическое кодирование**. Логическое кодирование выполняется до физического кодирования и подразумевает замену бит исходной информации новой последовательностью бит, несущей ту же информацию, но обладающей, кроме этого, дополнительными свойствами, например возможностью для приемной стороны обнаруживать ошибки в принятых данных. Сопровождение каждого байта исходной информации **одним битом четности** – это пример очень часто применяемого способа логического кодирования при передаче данных с помощью модемов. Другим примером логического кодирования может служить шифрация данных, обеспечивающая их конфиденциальность при передаче через общественные каналы связи. При логическом кодировании чаще всего исходная последовательность бит заменяется более длинной последовательностью, поэтому пропускная способность канала по отношению к полезной информации при этом уменьшается.

Чем выше частота несущего периодического сигнала, тем больше информации в единицу времени передается по линии и тем выше пропускная способность линии при фиксированном способе физического кодирования. Однако, с другой стороны, с повышением частоты периодического несущего сигнала увеличивается и ширина спектра этого сигнала, т.е. разность между максимальной и минимальной частотами того набора синусоид, которые в сумме дадут выбранную для физического кодирования последовательность сигналов. Линия связи передает этот спектр синусоид с теми искажениями, которые определяются ее полосой пропускания. Чем больше несоответствие между полосой пропускания линии и шириной спектра передаваемых информационных сигналов, тем больше сигналы искажаются и тем вероятнее ошибки в распознавании информации принимающей стороной, а значит, скорость передачи информации на самом деле оказывается меньше, чем можно было предположить.

Связь между полосой пропускания линии и ее максимально возможной пропускной способностью, вне зависимости от принятого способа физического кодирования, установлена законом Шеннона – Хартли (логарифм двоичный):

$$C = 2\Delta f \cdot \log_2(1 + SNR) = B \cdot \log_2(1 + SNR), \quad (6.5)$$

где C – максимальная пропускная способность линии, бит/с; $B = 2\Delta f$ – ширина полосы пропускания линии, Гц; SNR – отношение сигнал/шум.

Из формулы (6.5) видно, что хотя теоретического предела пропускной способности линии с фиксированной полосой пропускания не существует, на практике такой предел имеется. Действительно, повысить пропускную способность линии можно за счет увеличения мощности передатчика или же уменьшения мощности шума (помех) на линии связи. Обе эти составляющие поддаются изменению с большим трудом. Повышение мощности передатчика ведет к значительному увеличению его габаритов и стоимости. Снижение уровня шума требует применения специальных кабелей с хорошими защитными экранами, что весьма дорого, а также снижения шума в передатчике и промежуточной аппаратуре, чего достичь весьма не просто. К тому же влияние мощностей полезного сигнала и шума на пропускную способность ограничено логарифмической зависимостью, которая растет далеко не так быстро, как прямо пропорциональная. Так, при достаточно типичном исходном отношении мощности сигнала к мощности шума в 100 раз, повышение мощности передатчика в 2 раза даст только 15 % увеличения пропускной способности линии.

Зависимость максимальной скорости передачи информации (данных) C (бит/с) от ширины полосы пропускания B без учета шума в канале установлена формулой Найквиста:

$$C = 2B \log_2 M, \quad (6.6)$$

где M – число различных состояний информативного параметра сигнала.

Если сигнал имеет 2 состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи.

Если же передатчик использует более чем 2 устойчивых состояния сигнала для кодирования данных, то пропускная способность линии повышается, так как за один такт работы передатчик передает несколько бит исходных данных.

Пример 6.1. Модем в телефонной сети общего пользования применяет метод квадратурной амплитудной модуляции с 8-ю уровнями (4 значения фазы \times 2 значения амплитуды для каждой фазы) на каждый сигнальный элемент. Если полоса пропускания телефонной сети равна 3100 Гц то, согласно формуле Найквиста, максимальная скорость передачи данных будет равна: $C = 2B \log_2 M = 2 \cdot 3100 \cdot \log_2 8 = 18600$ бит/с.

Хотя формула Найквиста явно не учитывает наличие шума, косвенно его влияние отражается в выборе числа состояний информативного параметра сигнала. Для повышения пропускной способности канала хотелось бы увеличить это число до значительной величины, но на практике этого сделать нельзя из-за шума на линии. Поэтому число возможных состояний сигнала фактически ограничивается соотношением мощности сигнала и шума, а формула Найквиста определяет предельную скорость передачи данных в том случае, когда количество состояний уже выбрано с учетом возможностей устойчивого распознавания приемником.

6.2.6. Достоверность передачи данных

Достоверность передачи данных характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных. Иногда этот же показатель называют интенсивностью битовых ошибок (*BER – Bit Error Rate*):

$$BER = (\text{Число ошибочных битов}) / (\text{Всего битов}).$$

Данный параметр является отношением объема неправильно принятой информации к общему объему переданной информации, выраженной в битах.

Значение *BER* для каналов связи без дополнительных средств защиты от ошибок (например, самокорректирующихся кодов или

протоколов с повторной передачей искаженных кадров) составляет, как правило, $10^{-4} - 10^{-6}$, в оптоволоконных линиях связи – 10^{-9} . Значение достоверности передачи данных, например, 10^{-4} говорит о том, что в среднем из 10000 бит искажается значение одного бита.

Интенсивность битовых ошибок BER является аналогом отношения сигнал – шум S/N . Лучшее S/N подразумевает лучшее отношение BER .

Искажения бит происходят как из-за наличия помех на линии, так и по причине искажений формы сигнала ограниченной полосой пропускания линии. Поэтому для повышения достоверности передаваемых данных нужно повышать степень помехозащищенности линии, снижать уровень перекрестных наводок в кабеле, а также использовать более широкополосные линии связи.

6.3. Амплитудная модуляция

Исходное гармоническое колебание (несущая частота) имеет вид:

$$S_{\text{нес}}(t) = A_{\text{нес}}(\Omega t + \Phi). \quad (6.7)$$

Для осуществления амплитудной модуляции необходимо производить изменение амплитуды сигнала $A_{\text{нес}}$ в соответствии с передаваемым, т.е. модулирующим сигналом. В нашем случае информация представляется импульсными сигналами, и этот процесс иногда называют **манипуляцией**, относя понятие модуляции к аналоговым сигналам. Итак, передаваемые биты представляются:

$$\begin{aligned} A_{\text{мод}} &= +1 \text{ при } 0 < t < t_{\text{и}} \text{ и} \\ A_{\text{мод}} &= -1 \text{ при } t_{\text{и}} < t < T, \end{aligned}$$

где $t_{\text{и}}$ – длительность модуляции; T – период модулирующих колебаний.

Для получения модулированных колебаний необходимо подставить в амплитуду несущего гармонического сигнала выражение для модулирующего сигнала, отображающего передаваемые биты.

Наглядно это можно увидеть на рис. 6.12.

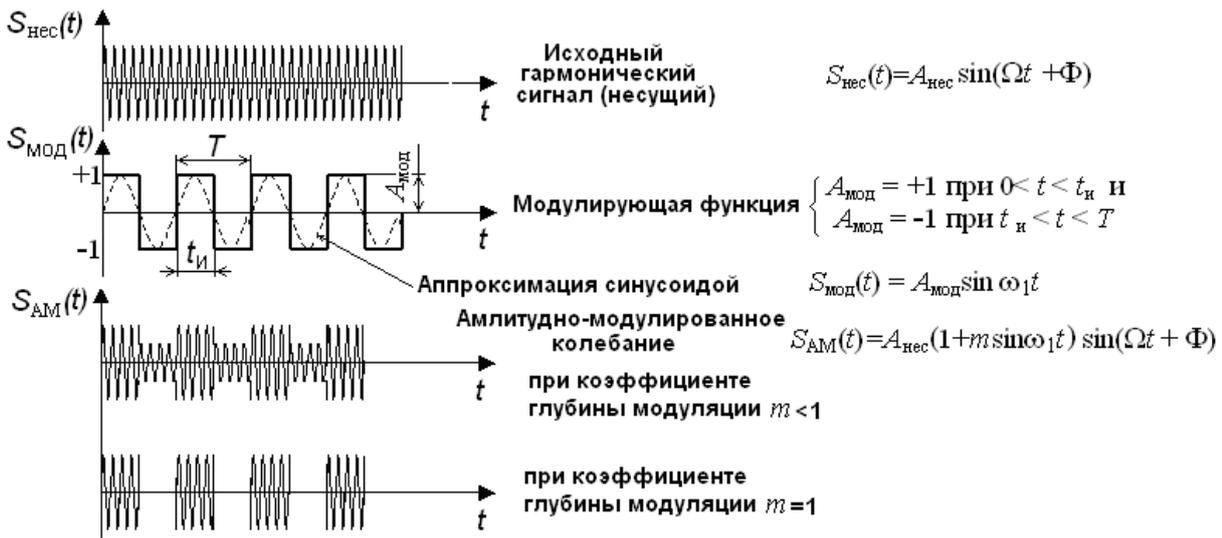


Рис. 6.12. Амплитудная модуляция

Изменение формы несущего колебания приводит к изменению его спектра. Для упрощения математического анализа аппроксимируем модулирующее колебание синусоидой с периодом $T = 2t_{\text{и}}$ и амплитудой $A_{\text{мод}}$.

Тогда модулирующее колебание можно записать в виде:

$$S_{\text{мод}}(t) = A_{\text{мод}} \sin \omega_1 t,$$

где $A_{\text{нec}}$, $A_{\text{мод}}$ – амплитуды сигналов; Ω , ω_1 – частоты сигналов, Φ – начальная фаза.

В системах с амплитудной модуляцией (АМ) модулирующая функция $X(t)$ изменяет **амплитуду** высокочастотной гармонической функции (6.7) несущего и амплитудно-модулированный сигнал имеет вид:

$$S_{\text{АМ}}(t) = A_{\text{нec}}[1 + m\lambda(t)]\sin(\Omega t + \Phi), \quad (6.8)$$

где m – коэффициент модуляции; $\lambda(t)$ – модулирующая функция.

Модулирующая функция $\lambda(t) = A_{\text{мод}} \sin \omega_1 t$, тогда, подставив ее в выражение (6.8) для $S_{\text{АМ}}(t)$ и осуществив замену и преобразования, получим:

$$S_{\text{АМ}}(t) = A_{\text{нec}}\{\sin(\Omega t + \Phi) + (m/2)\cos[(\Omega - \omega_1)t + \Phi] - \cos[(\Omega + \omega_1)t + \Phi]\} \dots (6.9)$$

Амплитудно-модулированный сигнал имеет дискретный (линейчатый) спектр, состоящий из трех линий (рис. 6.13): несущей частоты $-\Omega$ и двух боковых частот $(\Omega - \omega_1)$ и $(\Omega + \omega_1)$ – одна ниже, другая

выше несущей частоты. Их называют верхней и нижней боковыми частотами. Нижняя боковая – это зеркальное отображение верхней боковой по отношению к частоте несущей Ω . Из формулы (6.9) видно, что вся информация о модулирующей функции полностью содержится в любой из боковых частот.

Если центральную частоту канала связи (полосового фильтра) совместить с Ω и если полоса пропускания охватывает боковые составляющие спектра модулированного колебания, то сигнал будет передан без искажений. Таким образом, задачей приемного устройства является точная настройка на частоту передаваемого сигнала.



Рис. 6.13. Спектр амплитудно-модулированного сигнала

Система с АМ, которая передает обе боковых и несущую частоту, известна, как двухполосная система (*DSB – double sideband*). Несущая не несет никакой полезной информации и может быть удалена, но с несущей или без неё полоса сигнала *DSB* вдвое больше полосы изначального сигнала. Для сужения рабочей полосы частот канала связи и увеличения скорости передачи возможно вытеснение не только несущей, но и одной из боковых, так как они несут одну информацию. Этот вид АМ известен как однополосная модуляция с подавленной несущей *SSB-SC (Single SideBand Suppressed Carrier)*. Этот вид модуляции создает новый сигнал, идентичный оригиналу, но сдвинутый вверх по частоте. Частоту несущей выбирают в соответствии с условиями среды передачи. Демодуляция сигнала АМ достигается путем смешивания модулированного сигнала с несущей той же самой частоты, что и на модуляторе. Изначальный сигнал затем получают как отдельную частоту (или полосу частот), и его можно отфильтровать от других сигналов. При использовании *SSB-SC* несущая для демодуляции генерируется на месте, и она может не совпадать с частотой несущей на модуляторе. Небольшая разница между двумя несущими частотами является причиной несовпадения восстанавливаемых частот, что присуще телефонным цепям.

6.4. Амплитудная модуляция с использованием цифровых сигналов

Особым случаем амплитудной модуляции является случай, когда нижний из двух уровней амплитуд доведен до нуля; тогда процесс модуляции состоит во включении и выключении несущей. Однако скачки в передаваемой энергии делают этот вид модуляции, не подходящим для передачи данных по сетям связи. Прямоугольная волна содержит высокочастотные компоненты, и на практике в системах АМ-сигнал данных пропускают через фильтр нижних частот до модулятора. Это скругляет прямоугольную волну, но не влияет на информацию, содержащуюся в сигнале данных. Поскольку бинарный сигнал данных имеет составляющие вплоть до нулевой частоты, верхняя и нижняя боковые частоты фактически встретились на частоте Ω . Это обстоятельство делает затруднительным подавление несущей или одной боковой и несущей, без влияния на оставшуюся полосу. Для уменьшения полосы модулированного сигнала можно реально убрать большую часть одной полосы, оставив только небольшой ее конец рядом с несущей. Потери информации нет, так как нижняя полоса просто дублирует информацию верхней полосы. Описанный подход называется *VSB* (*VSB – vestigial sideband*) – модуляция с частично подавленной боковой. При разумном построении фильтра в системах *VSB* можно подавить несущую. Это приведет к подавлению и части верхней полосы, но остаток нижней полосы, который будет сохранен, восполнит недостающие частоты. Правильная однополосная амплитудная модуляция с цифровым модулирующим сигналом может быть достигнута только путем **скремблирования** (*scrambeing – перемешивание*) изначальных данных (т.е. внося беспорядочность в поток битов) с целью удаления низкочастотных компонентов, которые образуются от ряда последовательных единиц или нулей. Это влечет рассоединение боковых частот от несущей частоты, что позволяет отфильтровать одну боковую и несущую.

Импульсная амплитудная модуляция (*PAM – pulse amplitude modulation*). Она использует модулирующий цифровой сигнал и реализует кодирование более чем одного бита на бод путем кодирования бинарного сигнала данных в сигнал с более чем двумя уровнями. Для примера, биты бинарного сигнала данных могут быть разбиты на пары. Возможны четыре комбинации пары бит, и каждая пара может быть представлена одним из четырех уровней амплитуды. Закодированный четырехуровневый сигнал имеет половину скорости в бодах изначального сигнала данных и может быть использован для амплитудной модуляции несущей обычным образом.

6.5. Частотная модуляция

В системах частотной модуляции (ЧМ) частота несущей изменяется в соответствии с формой модулирующего сигнала. В этом случае частота Ω несущей (сигнала-переносчика $S_{\text{нес}}(t) = A_{\text{нес}}\sin\Omega t$) модулируется функцией $\cos \omega_1 t$:

$$\omega = \Omega[1 + m\lambda(t)] = \Omega[1 + (\Delta\omega/\Omega)\cos\omega_1 t], \quad (6.10)$$

где $\Delta\omega/\Omega$ – коэффициент модуляции (относительное изменение частоты); $\Delta\omega$ – девиация частоты. Тогда сигнал-переносчик

$$S_{\text{нес}}(t) = A_{\text{нес}} \left(\sin \int_0^t \omega dt \right) = A_{\text{нес}} \left[\sin \Omega t \cos(\beta \sin \omega_1 t) + \cos \Omega t \sin(\beta \sin \omega_1 t) \right]. \quad (6.11)$$

Здесь $\beta = \Delta\omega/\omega_1$ – индекс модуляции.

При $\beta \ll 1$

$$\begin{aligned} S_{\text{ЧМ}}(t) &\approx A_{\text{нес}} (\sin \Omega t + \beta \sin \omega_1 \cos \Omega t) = \\ &= A_{\text{нес}} (\sin \Omega t + (\beta/2) \sin(\omega_1 + \Omega)t + (\beta/2) \sin(\omega_1 - \Omega)t), \end{aligned} \quad (6.12)$$

т.е. спектр частот ЧМ-сигнала практически не отличается от спектра АМ-сигнала.

Системы, в которых модулирующим сигналом является бинарный сигнал и, следовательно, несущая переключается сигналами с одной частоты на другую при неизменной амплитуде, называют системами *FSK* (*Frequency Shift Keying*). Примером может служить *HART* протокол, разработанный компанией *Rosemount Inc.*

HART (*Highway Addressable Remote Transducer* – адресуемый дистанционный магистральный преобразователь) протокол использует стандарт *BELL 202* кодировки сигнала методом *FSK* для обмена данными на скорости 1200 Бод; сигнал накладывается на аналоговый измерительный сигнал 4–20 мА. Поскольку среднее значение частотного сигнала равно нулю, цифровая связь не влияет на токовый сигнал (рис. 6.14).

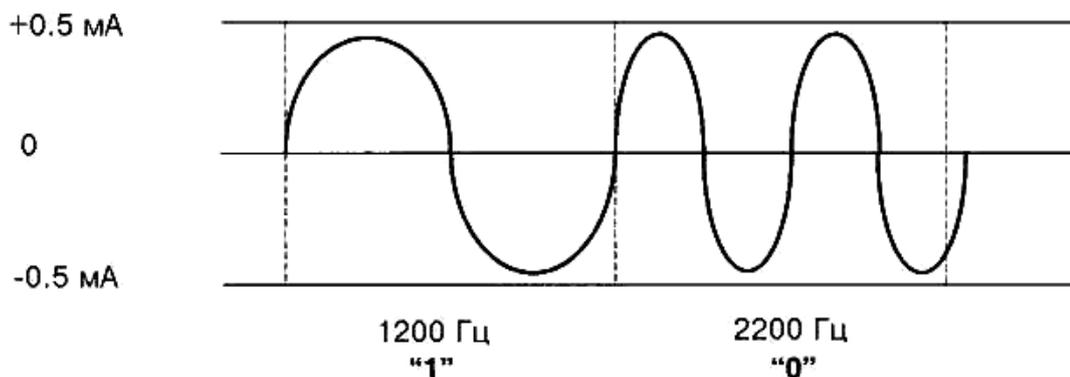


Рис. 6.14. Аналоговый и цифровые сигналы по *HART* протоколу

Частотная модуляция помехоустойчива, поскольку искажению при помехах подвергается в основном амплитуда сигнала, а не частота. Необходимая для этого вида модуляции ширина спектра сигнала может быть значительно уже всей полосы пропускания канала. Частотная модуляция превосходит амплитудную в устойчивости к некоторым воздействиям, присутствующим в телефонной сети, и ее следует использовать на более низких скоростях, где не требуется широкая полоса частот. FSK является асинхронной техникой модуляции, для нее не требуются синхроимпульсы в модеме.

6.6. Фазовая модуляция

При фазовой модуляции (ФМ) информативным параметром сигнала-переносчика служит фаза Φ несущей частоты Ω :

$$S_{\text{нес}}(t) = A_{\text{нес}} \sin\{\Omega t + \Phi + \Delta\phi \lambda(t)\}. \quad (6.13)$$

Пусть модулирующей функцией является синусоида $\lambda(t) = \sin\omega_1 t$, тогда **фазомодулированный сигнал** будет описываться выражением :

$$S_{\text{нес}}(t) = A_{\text{нес}} [\sin(\omega t + \Phi) \cos(\Delta\phi \cdot \sin\omega_1 t) + \cos(\omega t + \Phi) \sin(\Delta\phi \cdot \sin\omega_1 t)]. \quad (6.14)$$

Отсюда видно, что ЧМ- и ФМ-сигналы похожи по форме. Различие заключается лишь в том, что коэффициент модуляции для ФМ-сигнала $\Delta\phi$ постоянен, а индекс модуляции для ЧМ-сигнала β зависит от частоты модулирующего сигнала ω_1 .

При использовании ФМ для передачи данных каждому информационному элементу – биту – ставится в соответствие определенное значение фазы (например, 0 – для передачи нуля, 180 – для передачи единицы).

При **фазоразностной модуляции** (*DPSK – Differential Phase Shift Keying*) каждому информационному элементу ставится в соответствие не абсолютное значение фазы, а ее изменение относительно предыдущего значения. Если информационный элемент есть **дибит**, то в зависимости от его значения (00, 01, 10 или 11) фаза сигнала может измениться на 90, 180, 270 или не измениться вовсе. Из теории информации известно, что фазовая модуляция наиболее информативна, однако увеличение числа кодируемых бит выше трех (8 позиций поворота фазы) приводит к резкому снижению помехоустойчивости. Поэтому в высокоскоростных модемах применяются комбинированные амплитудно-фазовые методы модуляции.

6.7. Квадратурно-амплитудная модуляция

Многопозиционную амплитудно-фазовую модуляцию называют еще **квадратурной амплитудной модуляцией** (*QAM – Quadrature Amplitude Modulation*). Такое название обусловлено тем, что сформировать сигнал с амплитудно-фазовой модуляцией можно путем суммирования двух изменяемых по амплитуде сигналов, находящихся в «квадратуре» по отношению друг к другу – синусоиды и косинусоиды. Если помимо изменения фазы сигнала использовать дополнительно манипуляцию его амплитуды, то это позволяет увеличить число информационных элементов, передаваемых за время одного единичного интервала модулированного сигнала, соответственно при этом повышается пропускная способность канала. Каждое возможное состояние модулированного сигнала (вектор сигнала или точка сигнального пространства) характеризуется определенным значением амплитуды и фазы, которые входят в так называемое **созвездие**.

В настоящее время используют модуляции, в которых количество кодируемых на одном бодовом интервале информационных бит может достигать до 8, а, соответственно, созвездие имеет число состояний сигнала в сигнальном пространстве – до 256.

Однако с ростом модуляционной скорости и числа состояний сигнала устойчивость к помехам многопозиционной *QAM*-модуляции быстро снижается, что связано с уменьшением энергии элемента сигнала и различий между соседними допустимыми состояниями сигналов. Значительное повышение реальной помехоустойчивости на скоростях передачи 9600 бит/с и более было достигнуто, благодаря применению комбинации модуляции с решетчатым кодированием.

6.8. Треллис-кодирование

В современных высокоскоростных протоколах используют так называемую модуляцию с **решетчатым кодированием, или треллис-кодированием** (*TCM – Trellis Coded Modulation*), которая позволяет повысить помехозащищенность передачи информации и снизить требования к отношению «сигнал – шум» в канале от 3 до 6 дБ. Суть этого кодирования заключается во введении избыточности в пространство сигналов, за счет чего создаются корреляционные связи между передаваемыми символами. Пространство сигналов расширяется вдвое путем добавления к информационным битам еще одного, который

образуется посредством сверточного кодирования над частью информационных бит и введения элементов запаздывания. Расширенная таким образом группа подвергается все той же многопозиционной амплитудно-фазовой модуляции. В процессе демодуляции принятого сигнала проводится его декодирование по весьма изощренному алгоритму Витерби, позволяющему за счет введенной избыточности и знания предыстории выбрать по критерию максимального правдоподобия из сигнального пространства наиболее достоверную точку и, тем самым, определить значения информационных бит.

Если все принято без ошибок, то треллис-бит просто удаляется. А вот если ошибки были, то с очень большой вероятностью последовательность, содержащая сбойные биты, окажется запрещенной. При помощи специального итеративного (повторяющегося) алгоритма осуществляется поиск по решетке (отсюда и название). Декодер Витерби находит «наиболее подходящую» разрешенную последовательность и заменяет ею сбойную. Причем, с весьма большой вероятностью эта замена действительно окажется верной. Треллис-коды построены таким образом, что они защищены от перепутывания именно соседних состояний в пространстве сигналов, которые как раз и рискуют «перепутаться» в результате воздействия помехи.

6.9. Амплитудно-фазовая модуляция с несколькими несущими

Один из современных методов амплитудно-фазовой модуляции основан на одновременной передаче множества несущих. Например, в одном конкретном приложении используют 48 несущих, разделенных полосой в 45 Гц. Путем комбинирования фазовой и амплитудной модуляции, каждая несущая может иметь до 32 дискретных состояний на каждый период бода, позволяя переносить 5 бит на бод. Таким образом, 48 несущих могут переносить $5 \times 48 = 240$ бит на бод. Для работы со скоростью 9600 бит/с скорость модуляции требует только 40 бод ($9600:240$); такая низкая скорость весьма терпима к фазовым и амплитудным скачкам, которые присущи телефонной сети. Реально используемая полоса составляет 2240 Гц. Модуляция и демодуляция осуществляются в цифровом виде в микропроцессоре. Этот метод модулирования иллюстрирует, что достаточно дешевая электроника позволяет реализовывать идеи, которые никогда не стали бы практикой совсем недавно.

6.10. Спектр модулированного сигнала

Как было сказано выше, спектр результирующего модулированного сигнала зависит от типа модуляции и скорости модуляции, т.е. желаемой скорости передачи исходной информации. При амплитудной модуляции спектр состоит из синусоиды несущей частоты $f_c = \Omega$ двух боковых гармоник: $(f_c + f_m)$ и $(f_c - f_m)$, где $f_m = \omega$ – частота изменения информативного параметра синусоиды, совпадающая со скоростью передачи данных при использовании двух уровней амплитуды (рис. 6.15, а). Частота f_m определяет пропускную способность линии при данном способе кодирования. При небольшой частоте модуляции ширина спектра сигнала будет также небольшой (равной $2 \cdot f_m$), поэтому сигналы не будут искажаться в канале, если его полоса пропускания будет больше или равна $2f_m$. Для канала тональной частоты такой способ модуляции приемлем при скорости передачи данных не больше $3100/2 = 1550$ бит/с. Если же для представления данных используют четыре уровня амплитуды, то пропускная способность канала повышается до 3100 бит/с.

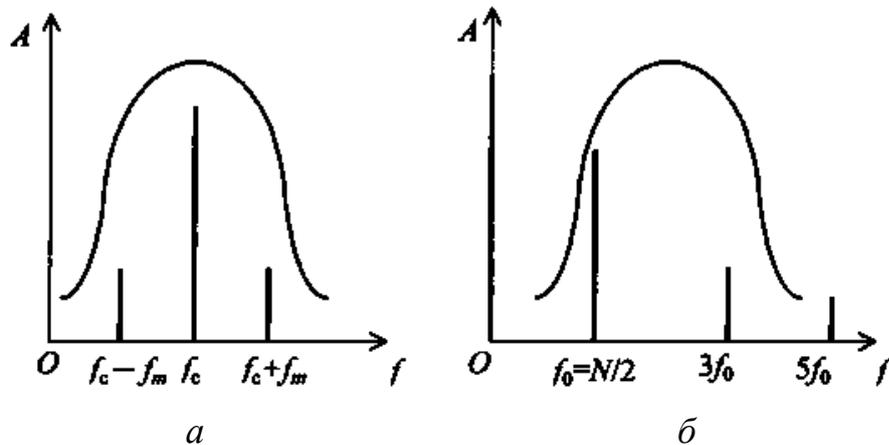


Рис. 6.15. Спектры сигналов при: а – амплитудной модуляции; б – потенциальном кодировании

При ФМ и ЧМ спектр сигнала получается более сложным, чем при АМ, так как боковых гармоник здесь образуется более двух, но они также симметрично расположены относительно основной несущей частоты, а их амплитуды быстро убывают. Поэтому эти виды модуляции также хорошо подходят для передачи данных по каналу тональной частоты.

Рассмотрим спектр сигнала при потенциальном кодировании. Пусть логическая единица кодируется положительным потенциалом, а логический ноль – отрицательным потенциалом такой же величины. Для упрощения вычислений предположим, что передается информация,

состоящая из бесконечной последовательности чередующихся единиц и нулей. В данном случае значения бод и бит в секунду совпадают.

Для потенциального кодирования спектр непосредственно получается по формулам Фурье для периодической функции. Если дискретные данные передаются с битовой скоростью N бит/с, то спектр состоит из постоянной составляющей нулевой частоты и бесконечного ряда гармоник с частотами $f_0, 3f_0, 5f_0, 7f_0, \dots$, где $f_0 = N/2$. Амплитуды этих гармоник убывают достаточно медленно – с коэффициентами $1/3, 1/5, 1/7\dots$ от амплитуды гармоники f_0 (рис. 6.15, б). В результате спектр потенциального кода требует для качественной передачи широкую полосу пропускания. Кроме того, нужно учесть, что реально спектр сигнала постоянно меняется в зависимости от того, какие данные передаются по линии связи. Например, передача длинной последовательности нулей или единиц сдвигает спектр в сторону низких частот, а в крайнем случае, когда передаваемые данные состоят только из единиц (или только из нулей), спектр состоит из гармоники нулевой частоты. При передаче чередующихся единиц и нулей постоянная составляющая отсутствует, поэтому спектр результирующего сигнала потенциального кода при передаче произвольных данных занимает полосу от некоторой величины, близкой к 0 Гц до примерно $7f_0$ (гармониками с частотами выше $7f_0$ можно пренебречь из-за их малого вклада в результирующий сигнал). Для канала тональной частоты верхняя граница при потенциальном кодировании достигается для скорости передачи данных в 971 бит/с, а нижняя неприемлема для любых скоростей, так как полоса пропускания канала начинается с 300 Гц. В результате потенциальные коды на каналах тональной частоты никогда не используют.

6.11. Цифровое кодирование

6.11.1. Требования к способам кодирования

При цифровом кодировании дискретной информации применяют потенциальные и импульсные коды. В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используют только значение потенциала сигнала, а его перепады не учитывают. Импульсные коды позволяют представить двоичные данные либо импульсами определенной полярности, либо фронтом импульса – перепадом потенциала определенного направления. При использовании прямоугольных

импульсов для передачи дискретной информации способ кодирования должен одновременно обеспечить следующие характеристики:

1. При одной и той же битовой скорости результирующий сигнал должен иметь наименьшую ширину спектра. Более узкий спектр сигналов позволяет в канале с одной и той же полосой пропускания получать более высокую скорость передачи данных. Кроме того, часто к спектру сигнала предъявляется требование отсутствия постоянной составляющей, т.е. наличия постоянного тока между передатчиком и приемником. В частности, применение различных трансформаторных схем **гальванической развязки** препятствует прохождению постоянного тока.

2. Должен обеспечить синхронизацию обмена информацией между передатчиком и приемником. Синхронизация передатчика и приемника нужна для того, чтобы приемник точно знал, в какой момент времени необходимо считывать новую информацию с линии связи. Эта проблема в сетях связи решается сложнее, чем при обмене данными между близко расположенными устройствами, например между блоками внутри компьютера или же между компьютером и принтером. На небольших расстояниях хорошо работает схема, основанная на отдельной тактирующей линии связи (рис. 6.16), в которой информация снимается с линии данных только в момент прихода тактового импульса. В сетях использование этой схемы вызывает трудности из-за неоднородности характеристик проводников в кабелях. На больших расстояниях неравномерность скорости распространения сигнала может привести к тому, что тактовый импульс придет позже или раньше соответствующего сигнала данных и бит данных будет пропущен или считан повторно. Поэтому в сетях применяют так называемые **самосинхронизирующиеся коды**, сигналы которых несут для передатчика указания о том, в какой момент времени нужно осуществить распознавание очередного бита (или нескольких бит, если код ориентирован более чем на два состояния сигнала). Любой резкий перепад сигнала – так называемый фронт – служит хорошим указанием для синхронизации приемника с передатчиком. При использовании синусоид в качестве несущего сигнала результирующий код обладает свойством самосинхронизации, так как изменение амплитуды несущей частоты дает возможность приемнику определить момент появления входного кода.

3. Способ кодирования должен обладать способностью распознавать ошибки и низкой стоимостью реализации.



Рис. 6.16. Синхронизация приемника и передатчика на небольших расстояниях

Распознавание и коррекцию искаженных данных сложно осуществить средствами физического уровня, поэтому чаще всего эту работу берут на себя протоколы верхних уровней: канального, сетевого, транспортного или прикладного. С другой стороны, распознавание ошибок на физическом уровне экономит время, так как приемник не ждет полного помещения кадра в буфер, а отбраковывает его сразу при распознавании ошибочных бит внутри кадра.

6.11.2. Потенциальное кодирование без возвращения к нулю

На рис. 6.17, а показан метод потенциального кодирования, называемый также кодированием **без возвращения к нулю** (*NRZ – Non Return to Zero*). Название отражает суть метода, в котором при передаче последовательности единиц сигнал не возвращается к нулю в течение такта (как мы увидим ниже, в других методах кодирования возврат к нулю в этом случае происходит). Метод *NRZ* прост в реализации, хорошо распознает ошибки (из-за двух резко отличающихся потенциалов), но не обладает самосинхронизацией. При передаче длинной последовательности единиц или нулей сигнал в среде передачи не изменяется, поэтому приемник не может определить по входному сигналу моменты времени, когда нужно в очередной раз считывать данные. Даже при наличии высокоточного тактового генератора приемник может ошибиться моментом считывания данных, так как частоты двух генераторов не бывают полностью идентичными. Поэтому при высоких скоростях обмена данными и длинных последовательностях единиц или нулей небольшое рассогласование тактовых частот может привести к ошибке в целый такт и, соответственно, считыванию некорректного значения бита.

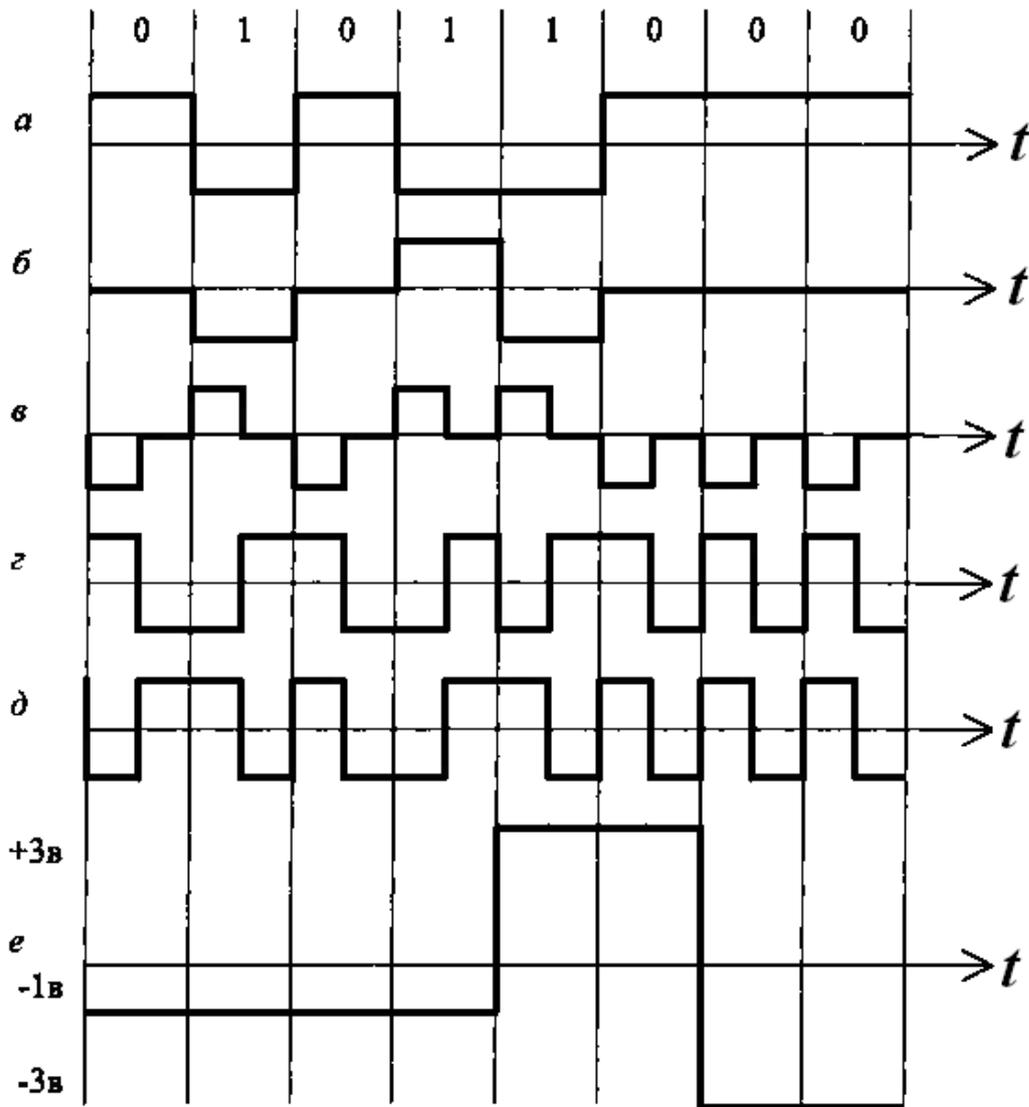


Рис. 6.17. Дискретные формы представления сигналов в канале связи:
a – потенциальное кодирование; *б* – биполярное кодирование с альтернативной инверсией; *в* – биполярное импульсное кодирование; *г* – манчестерское кодирование; *д* – дифференциальное манчестерское кодирование; *е* – потенциальное кодирование 2B1Q

Требования, предъявляемые к методам кодирования, являются взаимно противоречивыми, поэтому каждый из рассматриваемых ниже популярных методов цифрового кодирования обладает своими преимуществами и недостатками.

Другим серьезным недостатком метода *NRZ* является наличие низкочастотной составляющей, которая приближается к нулю при передаче длинных последовательностей единиц или нулей. Из-за этого многие каналы связи, не обеспечивающие прямого гальванического

соединения между приемником и источником, этот вид кодирования не поддерживают. В сетях используют различные модификации кода *NRZ*, в которых устранены плохая самосинхронизация и постоянная составляющая этого кода. Достоинством кода *NRZ*, из-за чего имеет смысл его улучшать, является низкая частота основной гармоники f_0 , равная $N/2$ Гц. В других методах кодирования, например манчестерском, основная гармоника имеет более высокую частоту.

6.11.3. Биполярное кодирование с альтернативной инверсией

Одной из модификаций метода *NRZ* является метод **биполярного кодирования с альтернативной инверсией** (*AMI – Bipolar Alternate Mark Inversion*). В этом методе (рис. 6.17, б) используют три уровня потенциала – отрицательный, нулевой и положительный. Логический нуль кодируется нулевым потенциалом, а логическая единица – либо положительным, либо отрицательным потенциалом, при этом потенциал каждой новой единицы противоположен потенциалу предыдущей.

Код *AMI* частично решает проблему постоянной составляющей и отсутствия самосинхронизации, присущие коду *NRZ*. Это происходит при передаче длинных последовательностей единиц. При этом сигнал представляет собой последовательность разнополярных импульсов с тем же спектром, что и у кода *NRZ*, передающего чередующиеся нули и единицы, т.е. без постоянной составляющей и с основной гармоникой $N/2$ Гц (где N – битовая скорость передачи данных). Длинные последовательности нулей также опасны для кода *AMI*, как и для кода *NRZ* – сигнал вырождается в постоянный потенциал нулевой амплитуды. Поэтому код *AMI* требует дальнейшего улучшения, хотя задача упрощается – осталось справиться только с последовательностями нулей.

Для различных комбинаций бит на линии использование кода *AMI* приводит к более узкому спектру сигнала, чем для кода *NRZ*, а значит, и к более высокой пропускной способности линии. Например, при передаче чередующихся единиц и нулей основная гармоника имеет частоту $N/4$ Гц. Код *AMI* предоставляет также некоторые возможности по распознаванию ошибочных сигналов. Так, нарушение строгого чередования полярности сигналов говорит о ложном импульсе или исчезновении с линии корректного импульса. Сигнал с некорректной полярностью называется **запрещенным сигналом** (*signal violation*).

В коде *AMI* используют три уровня сигнала на линии. Дополнительный третий уровень требует увеличение мощности

передатчика примерно на 3 дБ для обеспечения той же достоверности приема бит на линии, что является общим недостатком кодов с несколькими состояниями сигнала, в отличие от кодов, которые различают только два состояния.

Существует код, похожий на *AMI*, с двумя уровнями сигнала. При передаче нуля такой код передает потенциал, который был установлен в предыдущем такте (т.е. не меняет его), а при передаче единицы потенциал инвертируется на противоположный. Этот код называется **потенциальным кодом с инверсией при единице** (*NRZI – Non Return to Zero with ones Inverted*). Он удобен в случаях, когда использование третьего уровня сигнала весьма нежелательно, например, в оптических кабелях, где устойчиво распознаются два состояния сигнала – свет и темнота.

Улучшить потенциальные коды, подобные *AMI* и *NRZI*, можно двумя методами. Первый метод основан на добавлении в исходный код избыточных бит, содержащих логические единицы. Очевидно, что в этом случае длинные последовательности нулей прерываются и код становится самосинхронизирующимся для любых передаваемых данных. Исчезает также постоянная составляющая, а значит, еще более сужается спектр сигнала. Но этот метод снижает полезную пропускную способность линии, так как избыточные единицы пользовательской информации не несут. Другой метод основан на предварительном «перемешивании» исходной информации таким образом, чтобы вероятности появления единиц и нулей становились близкими. Устройства, или блоки, выполняющие такую операцию, называются **скрэмблерами**. При скрэмблировании используется известный алгоритм, поэтому приемник, получив двоичные данные, передает их на **дескрэмблер**, который восстанавливает исходную последовательность бит. Избыточные биты при этом по линии не передаются. Оба метода относятся к *логическому кодированию*, и *форму сигналов на линии они не определяют*.

6.11.4. Биполярный импульсный код

В импульсных кодах данные представлены полным импульсом или же его частью – фронтом. Наиболее простым случаем является **биполярный импульсный код**, в котором единица представлена импульсом одной полярности, а ноль – другой (рис. 6.17, в). Каждый импульс длится половину такта. Этому коду присущи хорошие самосинхронизирующие свойства, но постоянная составляющая может присутствовать, например, при передаче длинной последовательности единиц или нулей. Кроме того, спектр у него шире, чем у потенциальных

кодов. Так, при передаче всех нулей или единиц частота основной гармоники кода равна N Гц, что в два раза выше основной гармоники кода NRZ и в четыре раза выше основной гармоники кода AMI при передаче чередующихся единиц и нулей. Из-за слишком широкого спектра биполярный импульсный код используют редко.

6.11.5. Манчестерские коды

В локальных сетях до недавнего времени самым распространенным методом кодирования был так называемый **манчестерский** код (рис. 6.17, *з*). Его применяют в технологиях *Ethernet* и *Token Ring*. В манчестерском коде для кодирования единиц и нулей используется перепад потенциала, т.е. фронт импульса. При этом каждый такт делится на две части. Информация кодируется перепадами потенциала, происходящими в середине каждого такта: единица кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, а ноль – обратным перепадом. Если нужно представить несколько единиц или нулей подряд, то в начале каждого такта происходит служебный перепад сигнала. Разновидностью **манчестерского** кода является **дифференциальный манчестерский** код (рис. 6.17, *д*). Здесь наличие фронта в начале такта соответствует передаче нуля, а его отсутствие – передаче единицы. Середина каждого такта отводится для служебных синхронизирующих перепадов сигнала.

Манчестерские коды отличаются хорошими самосинхронизирующими свойствами, так как сигнал изменяется по крайней мере один раз за такт передачи одного бита данных. Полоса пропускания манчестерского кода уже, чем у биполярного импульсного. У него отсутствует постоянная составляющая, основная гармоника в худшем случае (при передаче последовательности единиц или нулей) имеет частоту N Гц, а в лучшем (при передаче чередующихся единиц и нулей) – $N/2$ Гц, как и у кодов AMI или NRZ .

6.11.6. Потенциальный код $2B1Q$

Потенциальный код $2B1Q$ (рис. 6.17, *е*). Название этого кода отражает его суть – каждые два бита ($2B$) передаются за один такт сигналом, имеющим четыре состояния ($1Q$). Паре бит 00 соответствует потенциал $-2,5 V$, паре бит 01 соответствует потенциал $-0,833 V$, паре 11 – потенциал $+0,833 V$, а паре 10 – потенциал $+2,5 V$. При кодировании потенциальным кодом необходимы дополнительные меры по борьбе с длинными последовательностями одинаковых пар бит, так как при этом сигнал превращается в постоянную составляющую потенциального кода.

При случайном чередовании бит спектр сигнала в два раза уже, чем у кода *NRZ*, так как при той же битовой скорости длительность такта увеличивается в два раза. С помощью кода *2B1Q* можно по одной и той же линии передавать данные в два раза быстрее, чем с помощью кода *AMI* или *NRZI*. Однако для его реализации мощность передатчика должна быть выше, чтобы четыре уровня сигнала четко различались приемником на фоне помех.

6.12. Дискретная модуляция аналоговых сигналов

Одной из основных тенденций развития сетевых технологий является передача в одной сети как дискретных, так и аналоговых по своей природе сигналов. Источниками дискретных сигналов являются компьютеры и вычислительные устройства, а источниками аналоговых сигналов – телефоны, видеокамеры, звуко- и видеовоспроизводящая аппаратура.

На ранних этапах решения этой проблемы в территориальных сетях все типы данных передавались сигналами в аналоговой форме, при этом дискретные по своему характеру компьютерные данные преобразовывались в аналоговую форму при помощи модемов. Однако по мере развития техники съема и передачи аналоговых данных выяснилось, что передача их в аналоговой форме не позволяет улучшить качество принятых на другом конце линии данных, если они существенно исказились при передаче. Сам аналоговый сигнал не дает никаких указаний ни о том, что произошло искажение, ни о том, как его исправить, поскольку его форма может быть любой, в том числе и такой, которую зафиксировал приемник. Улучшение же качества линий, особенно территориальных, требует огромных усилий и капиталовложений.

Поэтому на смену аналоговой технике записи и передачи звука и изображения пришла цифровая техника, которая использует так называемую дискретную модуляцию исходных непрерывных во времени аналоговых процессов.

6.13. Импульсно-кодовая модуляция

Дискретные способы модуляции основаны на дискретизации непрерывных процессов как по амплитуде, так и по времени (рис. 6.18). Рассмотрим принципы дискретной модуляции на примере **импульсно-кодовой модуляции** ИКМ (*PCM – Pulse Code Modulation*), которая широко применяется в цифровой телефонии.

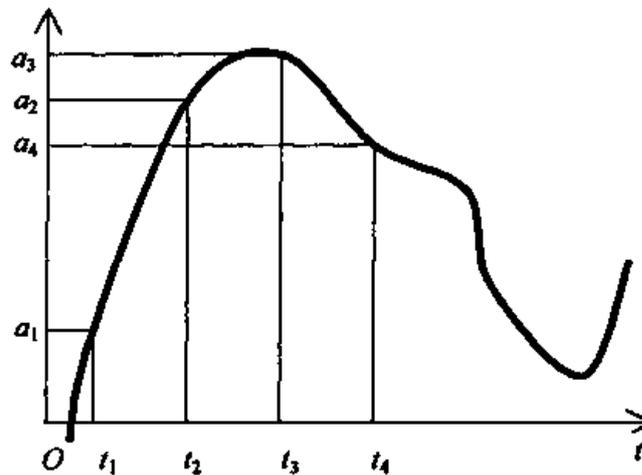


Рис. 6.18. Диаграмма ИКМ: a_1, a_2, a_3, a_4 – амплитуды оцифрованного сигнала; t_1, t_2, t_3, t_4 – моменты квантования ($t_2 - t_1 = t_4 - t_3$ – шаг квантования)

Амплитуда исходной непрерывной функции измеряется с заданным периодом, что обеспечивает дискретизацию по времени. Затем каждый замер представляется в виде двоичного числа определенной разрядности, что означает дискретизацию по значениям функции – непрерывное множество возможных значений амплитуды заменяется дискретным множеством ее значений. Устройство, которое выполняет подобную функцию, называется **аналого-цифровым преобразователем (АЦП)**. После этого замеры передаются по каналам связи в виде последовательности единиц и нулей. Для этого применяют те же методы кодирования, что и в случае передачи изначально дискретной информации, например, методы, основанные на коде $2B1Q$.

На приемной стороне линии коды преобразуются в исходную последовательность бит в **цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП)**, который демодулирует оцифрованные амплитуды непрерывного сигнала, восстанавливая исходную непрерывную функцию времени.

6.14. Теорема Найквиста – Котельникова

Дискретная модуляции основана на **теории отображения Найквиста – Котельникова**. В соответствии с этой теорией, аналоговая непрерывная функция, переданная в виде последовательности ее дискретных по времени значений, может быть точно восстановлена, если частота дискретизации была в два или более раз выше, чем частота самой высокой гармоники спектра исходной функции. Если это условие не соблюдается, то восстановленная функция существенно отличается от исходной.

Импульсно-кодовая модуляция состоит из двух действий.

1. Берутся отсчеты амплитуды входного сигнала через какие-то интервалы времени, обычно равные (рис. 6.18). По **теореме Найквиста-Котельникова** эти интервалы должны удовлетворять следующему неравенству:

$$T \leq 1/2F, \quad (6.15)$$

где F – частота наивысшей гармоники; T – интервал или шаг квантования.

Соответственно, чем меньше интервал T , тем выше качество преобразования.

2. Полученные отсчеты амплитуды квантуются по уровню и кодируются. Квантование представляет собой округление мгновенного значения амплитуды, т.е. замену этого значения одним из разрешенных значений, отстоящих друг от друга на конечные интервалы. Шкала разрешенных значений называется шкалой квантования, а интервал между значениями – шагом квантования (см. рис. 2.18). Чем меньше шаг квантования, тем выше качество преобразования. Квантование осуществляет АЦП, и его быстродействием определяется минимальный возможный шаг квантования. Шкала квантования, в свою очередь, определяется разрядностью АЦП. Например, 8-разрядный преобразователь может квантовать амплитуду на 256, а 16-разрядный – на 65536 интервалов. Таким образом, в заданном входном диапазоне 8-разрядный АЦП заметит отклонение аналогового сигнала, если тот изменится не менее, чем на $1/256$ часть своего максимального значения. Следовательно, по линии передаются не сами значения амплитуды сигнала, а номера уровней, что и составляет сущность ИКМ.

Кодирование предполагает замену значения квантованного сигнала 8-разрядным словом. Такая последовательность операций обеспечивает представление сериями 8-разрядных слов (кодов) любого изменяемого во времени аналогового сигнала.

6.15. Передача аналоговой информации через цифровые сети

Преимуществом цифровых методов записи, воспроизведения и передачи аналоговой информации является **возможность контроля достоверности** считанных с носителя или полученных по линии связи данных. Для этого можно применять те же методы, что и для компьютерных данных (более подробно рассмотрены ниже): вычисление контрольной суммы, повторная передача искаженных кадров, применение

самокорректирующихся кодов. Для качественной передачи голоса в ИКМ используют частоту квантования амплитуды звуковых колебаний в 8000 Гц. Это связано с тем, что в аналоговой телефонии для передачи голоса был выбран диапазон от 300 до 3400 Гц, который достаточно качественно передает все основные гармоники голосов. В соответствии с теоремой Найквиста – Котельникова для качественной передачи голоса достаточно выбрать частоту дискретизации, в два раза превышающую самую высокую гармонику непрерывного сигнала, т.е. $2 \times 3400 = 6800$ Гц. Выбранная в действительности частота дискретизации 8000 Гц обеспечивает некоторый запас качества. В ИКМ обычно используют 7 или 8 бит кода для представления амплитуды одного замера. Соответственно это дает 127 или 256 градаций звукового сигнала, что оказывается вполне достаточным для качественной передачи голоса.

При использовании ИКМ для передачи одного голосового канала необходима пропускная способность 56 или 64 Кбит/с в зависимости от того, каким количеством бит представляется каждый замер. Если для этого используют 7 бит, то при частоте передачи замеров в 8000 Гц получаем:

$$8000 \times 7 = 56000 \text{ бит/с или } 56 \text{ Кбит/с};$$

в случае 8 бит:

$$8000 \times 8 = 64000 \text{ бит/с или } 64 \text{ Кбит/с}.$$

Стандартным является цифровой канал 64 Кбит/с, называемый **элементарным каналом цифровых телефонных сетей**.

Передача непрерывного сигнала в дискретном коде требует от сетей жесткого соблюдения временного интервала в 125 мкс (соответствующего частоте дискретизации 8000 Гц) между соседними замерами, т.е. синхронной передачи данных между узлами сети. При несоблюдении синхронности прибывающих замеров исходный сигнал восстанавливается неверно, что приводит к искажению голоса, изображения или другой мультимедийной информации, передаваемой по цифровым сетям. Так, искажение синхронизации в 10 мс может привести к эффекту «эха», а сдвиги между замерами в 200 мс приводят к потере распознаваемости произносимых слов.

В то же время потеря одного замера при соблюдении синхронности между остальными замерами практически не сказывается на воспроизводимом звуке после цифро-аналогового преобразования на приемной стороне. Это происходит за счет сглаживающих устройств в цифро-аналоговых преобразователях (ЦАП), основанных на свойстве

инерционности любого периодического процесса, – амплитуда звуковых колебаний не может мгновенно измениться на большую величину.

На качество сигнала на выходе ЦАП влияет не только синхронность поступления на его вход замеров, но и погрешность дискретизации амплитуд этих замеров. Воспроизводимый в приемнике сигнал не совпадает в точности с оригинальным сигналом. Дело в том, что из-за конечного числа уровней квантования (256) вершина дискрета может занимать произвольное положение внутри интервала, который определяется величиной шага квантования, т.е. расстоянием между последовательными уровнями квантования. В приемнике же значение восстановленного сигнала располагается в середине интервала квантования. Разность между оригинальным сигналом и восстановленным на приемной стороне называется **шумом квантования**.

Существуют и другие методы дискретной модуляции, позволяющие представить замеры голоса в более компактной форме, например, в виде последовательности 4- или 2-битных чисел. При этом один голосовой канал требует меньшей пропускной способности, например 32,16 Кбит/с или меньше. С 1985 г. применяется стандарт *CCITT (ITU)* кодирования голоса, (*ADPCM – Adaptive Differential Pulse Code Modulation*). Коды *ADPCM* основаны на нахождении разностей между последовательными замерами голоса, которые затем и передаются по сети. В этом коде для хранения одной разности используют 4 бит, и голос передается со скоростью 32 Кбит/с. Метод *Linear Predictive Coding (LPC)* делает замеры исходной функции более редко и базируется на прогнозировании направления изменения амплитуды сигнала. При помощи этого метода можно понизить скорость передачи голоса до 9600 бит/с.

Представленные в цифровой форме непрерывные сигналы легко можно передать через компьютерную сеть. Для этого достаточно поместить несколько замеров в кадр какой-нибудь стандартной сетевой технологии, снабдить кадр правильным адресом назначения и отправить адресату. Адресат должен извлечь из кадра замеры и подать их с частотой квантования (для голоса – с частотой 8000 Гц) на ЦАП. По мере поступления следующих кадров с замерами голоса операция должна повторяться. Если кадры будут прибывать синхронно, то качество голоса будет высоким. Однако кадры в компьютерных сетях могут задерживаться как в конечных узлах (при ожидании доступа к разделяемой среде), так и в промежуточных коммуникационных устройствах: мостах, коммутаторах и маршрутизаторах. Поэтому качество голоса при передаче в цифровой форме через компьютерные сети обычно бывает невысоким. Для

качественной передачи оцифрованных непрерывных сигналов (голоса, изображения) сегодня используют специальные цифровые сети, такие как *ISDN*, *ATM*, и сети цифрового телевидения. Для передачи внутрикорпоративных телефонных разговоров в настоящее время популярны сети *Frame relay*, задержки передачи кадров которых укладываются в допустимые пределы.

Рассмотренные выше дискретные преобразования относятся к цифровому кодированию, определяющему **форму** сигналов. Существуют способы **логического** кодирования, которые преследуют цель оптимизации процесса передачи информации. Так как условия процесса передачи могут быть весьма разнообразными, соответственно разработаны и способы логического кодирования, удобные для тех или иных условий. Тем не менее, требование достоверности и оперативности передачи информации от передатчика к приемнику диктует принятие стандартов, число которых должно быть достаточно ограничено.

6.16. Логическое кодирование информации

Под логическим кодированием информации будем понимать преобразование формы представления информации с целью обеспечения удобства и помехоустойчивости ее передачи по каналам связи или хранения. Правило, по которому осуществляется кодирование, называется **кодирующим отображением** или **кодом**. Пусть $A = \{p, q, r, s\}$ является входным алфавитом кода Γ , а $B = (a, b)$ – его выходным алфавитом. Код Γ в процессе кодирования перерабатывает слово над алфавитом A в слово над алфавитом B . Если код Γ описывается табл. 6.1, то слово prq в алфавите A преобразуется в алфавите B в слово $aabaab$. Слова, сопоставляемые элементам множества A по правилу Γ в алфавите B , называются **кодowymi комбинациями**. Если $x \in A$ и $\Gamma x = a_1, a_2, \dots, a_n$, где $a_i \in B$ для всех i , то говорят что символу x соответствует кодовая комбинация a_1, a_2, \dots, a_n (иногда эту кодовую комбинацию называют **кодом символа**).

Таблица 6.1

Пример задания кода

p	aa
q	ab
r	ba
s	bb

Коды, формирующие кодовые комбинации различной длины, называются **неравномерными**, а коды, которым соответствуют кодовые комбинации равной длины – **равномерными**.

Значность кода – длина кодовых комбинаций равномерного кода.

Декодирование – это процесс, обратный кодированию, т.е. замена кодовой комбинации символом из входного алфавита. Если процесс кодирования осуществляется по правилу Γ , то процесс декодирования основан на правиле Γ^{-1} – отображении, обратном Γ . Пусть α – слово в алфавите A , $\beta = \Gamma\alpha$ – слово в алфавите B . Код называется обратимым, если для любого слова $\beta = \Gamma\alpha$ в алфавите B существует единственное преобразование $\Gamma^{-1}\beta = \alpha$, т.е. по слову β в алфавите B , являющимся последовательностью кодовых комбинаций, кодирующих слово α , всегда однозначно восстанавливается слово α . Для того чтобы код был обратимым, необходимо выполнение двух **условий обратимости** кода:

- разным символам входного алфавита A должны быть сопоставлены различные кодовые комбинации;
- никакая кодовая комбинация не должна составлять начальной части какой-либо другой кодовой комбинации.

Выполнение второго условия необходимо только для неравномерных кодов, для равномерных кодов оно выполняется автоматически при выполнении первого условия.

В системах передачи дискретных сообщений (данных) используют два алфавита: один имеет достаточно большой объем, применяется для представления сообщения на языке источника и получателя информации и называется **внешним алфавитом**; второй используют непосредственно для передачи информации по каналу, он содержит небольшое число символов и называется **внутренним алфавитом**. Чем меньше символов содержит внутренний алфавит, тем легче их различать в условиях помех. Проблемы помехоустойчивого кодирования решаются специальными методами.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте аналоговый способ передачи информации по физической среде.
2. Дайте характеристику цифровому способу передачи информации.
3. Назовите основные характеристики линий связи.
4. Опишите амплитудно-частотную характеристику.
5. Дайте определение затуханию.

6. Дайте определение полосе пропускания.
7. Дайте определение помехоустойчивости.
8. Дайте определение пропускной способности.
9. Дайте характеристику достоверности передачи данных.
10. Поясните принцип амплитудной модуляции.
11. Амплитудная модуляция с использованием цифровых сигналов.
12. Дайте характеристику частотной модуляции.
13. Дайте определение фазовой модуляции.
14. Дайте характеристику спектру модулированного сигнала.
15. Какие предъявляются требования к способам кодирования?
16. Дайте характеристику потенциальному кодированию без возвращения к нулю.
17. Охарактеризуйте биполярное кодирование с альтернативной инверсией.
18. Дайте определение биполярному импульсному коду.
19. Дайте определение манчестерским кодам.
20. Поясните, что такое потенциальный код $2B1Q$
21. Поясните, что такое дискретная модуляция аналоговых сигналов
22. Дайте определение импульсно-кодовой модуляции
23. Как использовать теорему Найквиста – Котельникова при выборе быстродействия аппаратуры?
24. Как передаётся аналоговая информация через цифровые сети
25. Поясните, что такое логическое кодирование информации

Глава 7. РЕКОМЕНДАЦИИ И СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ КОДИРОВАНИЯ И СЖАТИЯ ИНФОРМАЦИИ

7.1. Кодирование и сжатие информации

Кодирование – это представление сообщения последовательностью элементарных символов. Рассмотрим кодирование дискретных сообщений. Символы в сообщениях могут относиться к алфавиту, включающему n букв (буква – символ сообщения). Однако число элементов кода k существенно ограничено сверху энергетическими соображениями, т.е. часто $n > k$. Так, если отношение сигнал – помеха для надежного различения уровня сигнала должно быть не менее g , то наименьшая амплитуда для представления одного из k – символов должна быть qg , где g – амплитуда помехи, а наибольшая амплитуда соответственно qgk . Мощность передатчика пропорциональна квадрату амплитуды сигнала

(тока или напряжения), т.е. должна превышать величину, пропорциональную $(qgk)^2$. В связи с этим распространено двоичное кодирование с $k = 2$. При двоичном кодировании сообщений с n типами букв, каждая из n букв кодируется определенной комбинацией 1 и 0 (например, код ASCII).

Количество информации в сообщении (элементе сообщения) определяется по формуле $I = -\log_2 p$, где p – вероятность появления сообщения (элемента сообщения). Из этой формулы следует, что единица измерения количества информации есть количество информации, содержащееся в одном бите двоичного кода при условии равной вероятности появления в нем 1 и 0. В то же время один разряд десятичного кода содержит $I = -\log_2 p = 3,32$ единиц информации (при том же условии равновероятности появления десятичных символов, т.е. при $p = 0,1$). Энтропия источника информации с независимыми и равновероятными сообщениями есть среднее арифметическое количество информации сообщений $H = -\sum p_k \log_2 p_k$ $k = 1 - N$, где p_k – вероятность появления k -го сообщения. Другими словами, энтропия есть мера неопределенности ожидаемой информации.

Коэффициент избыточности сообщения. Коэффициент избыточности сообщения A определяется по формуле:

$$r = (I_{\max} - I) / I_{\max},$$

где I – количество информации в сообщении A , I_{\max} – максимально возможное количество информации в сообщении той же длины, что и A . Пример избыточности дают сообщения на естественных языках, так, у русского языка r находится в пределах 0,3 – 0,5. Наличие избыточности позволяет ставить вопрос о сжатии информации без ее потери в передаваемых сообщениях.

7.2. Основные используемые коды

Широко используются двоичные коды:

- *EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code)* – символы кодируются восемью битами, популярен благодаря его использованию в IBM;
- *ASCII (American Standards Committee for Information Interchange)* – семибитовый двоичный код. Оба этих кода включают битовые комбинации для печатаемых символов и некоторых распространенных командных слов типа *NUL*, *CR*, *ACK*, *NAK* и др.

Для кодировки русского текста нужно вводить дополнительные битовые комбинации. Семибитовая кодировка здесь уже недостаточна. В восьмибитовой кодировке нужно под русские символы отводить двоичные комбинации, не занятые в общепринятом коде, чтобы сохранять неизменной кодировку латинских букв и других символов. Так возникли кодировка КОИ-8, затем при появлении персональных ЭВМ – альтернативная кодировка, а при переходе к *Windows* – кодировка 1251. Множество используемых кодировок существенно усложняет проблему согласования почтовых программ в глобальных сетях.

7.3. Асинхронное и синхронное кодирования

Для правильного распознавания позиций символов в передаваемом сообщении получатель должен знать границы передаваемых элементов сообщения. Для этого необходима синхронизация передатчика и приемника. Использование специального дополнительного провода для сигналов синхронизации (в этом случае имеем битовую синхронизацию) слишком дорого, поэтому используют другие способы синхронизации. В асинхронном режиме применяют коды, в которых явно выделены границы каждого символа (байта) специальными стартовым и стоповым символами. Подобные побайтно выделенные коды называют байт-ориентированными, а способ передачи – байтовой синхронизацией. Однако это увеличивает число битов, не относящихся собственно к сообщению.

В синхронном режиме синхронизм поддерживается во время передачи всего информационного блока без обрамления каждого байта. Такие коды называют бит-ориентированными. Для входа в синхронизм нужно обозначать границы лишь всего передаваемого блока информации с помощью специальных начальной и конечной комбинаций байтов (обычно это двухбайтовые комбинации). В этом случае синхронизация называется блочной (фреймовой).

Для обрамления текстового блока (текст состоит только из печатаемых символов) можно использовать символы, отличающиеся от печатаемых. Для обрамления двоичных блоков применяют специальный символ (обозначим его *DLE*), который благодаря стаффингу становится уникальным. Уникальность заключается в том, что если *DLE* встречается внутри блока, то сразу вслед за ним вставляется еще один *DLE*. Приемник будет игнорировать каждый второй идущий подряд символ *DLE*. Если же *DLE* встречается без добавления, то это граница блока.

7.4. Коэффициент сжатия

Наличие в сообщениях избыточности позволяет ставить вопрос о сжатии данных, т.е. о передаче того же количества информации с помощью последовательностей символов меньшей длины. Для этого используются специальные алгоритмы сжатия, уменьшающие избыточность. Эффект сжатия оценивают коэффициентом сжатия:

$$K = n/q,$$

где n – число минимально необходимых символов для передачи сообщения (практически это число символов на выходе эталонного алгоритма сжатия); q – число символов в сообщении, сжатом данным алгоритмом.

Так, при двоичном кодировании n равно энтропии источника информации. Наряду с методами сжатия, не уменьшающими количество информации в сообщении, применяются методы сжатия, основанные на потере малосущественной информации.

7.5. Алгоритмы сжатия

Сжатие данных осуществляется либо на прикладном уровне с помощью программ сжатия, таких как *ARJ*, либо с помощью устройств защиты от ошибок (УЗО) непосредственно в составе модемов по протоколам типа *V.42 bis*. Очевидный способ сжатия числовой информации, представленной в коде *ASCII*, заключается в использовании сокращенного кода с четырьмя битами на символ вместо восьми, так как передается набор, включающий только 10 цифр, символы «точка», «запятая» и «пробел». Среди простых алгоритмов сжатия наиболее известны алгоритмы *RLE (Run Length Encoding)*. В них вместо передачи цепочки из одинаковых символов передаются символ и значение длины цепочки. Метод эффективен при передаче растровых изображений, но малополезен при передаче текста. К методам сжатия относят также методы разностного кодирования, поскольку разности амплитуд отсчетов представляются меньшим числом разрядов, чем сами амплитуды. Разностное кодирование реализовано в методах дельта-модуляции и ее разновидностях.

Предсказывающие (предиктивные) методы основаны на экстраполяции значений амплитуд отсчетов, и если выполнено условие $A_r - A_p > d$, то отсчет должен быть передан, иначе он является избыточным;

здесь r и p – амплитуды реального и предсказанного отсчетов, d – допуск (допустимая погрешность представления амплитуд). Иллюстрация предсказывающего метода с линейной экстраполяцией представлена на рис. 7.1. Здесь точками показаны предсказываемые значения сигнала. Если точка выходит за пределы «коридора» (допуска d), показанного пунктирными линиями, то происходит передача отсчета. На рисунке передаваемые отсчеты отмечены темными кружками в моменты времени t_1, t_2, t_4, t_7 . Если передачи отсчета нет, то на приемном конце принимается экстраполированное значение.

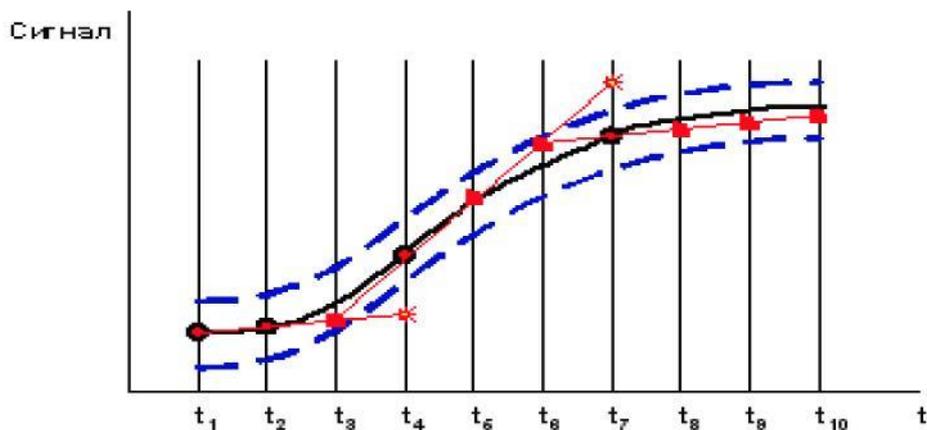


Рис. 7.1. Метод линейной экстраполяции

Методы *MPEG* (*Moving Pictures Experts Group*) используют предсказывающее кодирование изображений (для сжатия данных о движущихся объектах вместе со звуком). Так, если передавать только изменившиеся во времени пиксели изображения, то достигается сжатие в несколько десятков раз. Этот алгоритм сжатия используется также в стандарте *H.261 ITU*. Методы *MPEG* становятся мировыми стандартами для цифрового телевидения.

Для сжатия данных об изображениях можно использовать также методы типа *JPEG* (*Joint Photographic Expert Group*), основанные на потере малосущественной информации (не различимые для глаза оттенки кодируются одинаково, коды могут стать короче). В этих методах передаваемая последовательность пикселей делится на блоки, в каждом блоке производится преобразование Фурье, устраняются высокие частоты, передаются коэффициенты разложения для оставшихся частот, по ним в приемнике изображение восстанавливается. Другой принцип воплощен во фрактальном кодировании, при котором изображение, представленное совокупностью линий, описывается уравнениями этих линий. Более

универсален широко известный метод Хаффмена, относящийся к статистическим методам сжатия.

Идея метода – часто повторяющиеся символы нужно кодировать более короткими цепочками битов, чем цепочки редких символов. Строится двоичное дерево, листья соответствуют кодируемым символам, код символа представляется последовательностью значений ребер (эти значения в двоичном дереве суть 1 и 0), ведущих от корня к листу. Листья символов с высокой вероятностью появления находятся ближе к корню, чем листья маловероятных символов. Распознавание кода, сжатого по методу Хаффмена, выполняется по алгоритму, аналогичному алгоритмам восходящего грамматического разбора.

Пусть набор из восьми символов (A, B, C, D, E, F, G, H) имеет следующие правила кодирования: $A ::= 10$; $B ::= 01$; $C ::= 111$; $D ::= 110$; $E ::= 0001$; $F ::= 0000$; $G ::= 0011$; $H ::= 0010$. Тогда при распознавании входного потока 101100000110 в стек распознавателя заносится 1, но 1 не совпадает с правой частью ни одного из правил. Поэтому в стек добавляется следующий символ 0. Полученная комбинация 10 распознается и заменяется на A . В стек поступает следующий символ 1, затем 1, затем 0. Сочетание 110 совпадает с правой частью правила для D . Теперь в стеке AD , заносятся следующие символы 0000 и т.д.

Недостаток метода заключается в необходимости знать вероятности символов. Если заранее они не известны, то требуются два прохода: на одном в передатчике подсчитываются вероятности, на другом эти вероятности и сжатый поток символов передаются к приемнику. Однако двухпроходность не всегда возможна.

Этот недостаток устраняется в однопроходных алгоритмах адаптивного сжатия, в которых схема кодирования есть схема приспособления к текущим особенностям передаваемого потока символов. Поскольку схема кодирования известна как кодеру, так и декодеру, сжатое сообщение будет восстановлено на приемном конце. Обобщением этого способа является алгоритм, основанный на словаре сжатия данных. В нем происходит выделение и запоминание в словаре повторяющихся цепочек символов, которые кодируются цепочками меньшей длины.

Интересен алгоритм «стопка книг», в котором код символа равен его порядковому номеру в списке. Появление символа в кодируемом потоке вызывает его перемещение в начало списка. Очевидно, что часто встречающиеся символы будут тяготеть к малым номерам, а они кодируются более короткими цепочками 1 и 0. Кроме упомянутых алгоритмов сжатия существует ряд других алгоритмов, например LZW -алгоритмы (алгоритмы Лемпеля – Зива). В частности, один из них (LZW) применен в протоколе $V.42bis$.

7.6. Методы защиты от ошибок и сжатия данных

Обнаружение ошибок. Наибольшее распространение при передаче дискретных сообщений получили **блочные** равномерные коды. Рассмотрим на примере этих кодов, как обнаруживаются ошибки. Помехоустойчивость блочных кодов, как и других кодов, достигается введением избыточности в кодовые комбинации. Коды, не обладающие избыточностью, не способны обнаруживать и тем более исправлять ошибки.

В безыбыточных равномерных кодах длины k все 2^k возможных кодовых комбинаций используются, т.е. с любой из 2^k кодовой комбинации сопоставляется какой-либо символ внешнего алфавита. Такие коды получили название **первичных** кодов. Ошибка любой кратности в какой-либо кодовой комбинации всегда приводит к ошибочному декодированию этой кодовой комбинации. Нетрудно видеть, что кодовое расстояние для первичного кода равно единице, т.е. некоторые пары кодовых комбинаций первичного кода располагаются на минимальном расстоянии, отличном от нуля. Для обеспечения помехоустойчивости кода вводят дополнительные разряды. Если, например, для кодирования всех символов внешнего алфавита достаточно иметь k -разрядный первичный код, то для обеспечения помехоустойчивости к разрядам первичного кода добавляется r избыточных разрядов. При этом длина результирующей кодовой комбинации становится равной $n = k + r$.

Различают избыточные блочные коды **разделимые** и **неразделимые**. В **разделимых** кодах роль разрядов кодовых комбинаций разграничена: часть разрядов, часто совпадающая с разрядами исходного первичного кода, являются информационными, остальные разряды играют роль проверочных разрядов. В **неразделимых** кодах все разряды равноправные, и в кодовой комбинации нельзя отделить информационные разряды от проверочных.

В качестве примера неразделимого кода может служить код с постоянным весом «3 из 7». Особенностью этого кода является то, что в любой его кодовой комбинации длины 7 имеется ровно три единицы. Таким образом, всего кодовых комбинаций кода «3 из 7» будет

$$C_7^3 = \frac{7!}{(3!4!)} = 35.$$

Обнаруживающая способность данного кода основывается на том, что любая одиночная ошибка изменяет число единиц в кодовой комбинации.

Таким образом, обнаружение ошибок помехоустойчивым кодом возможно благодаря тому, что для передачи информации используются не все 2^n n -разрядные кодовые комбинации равномерного кода, а лишь часть из них. Для разделимых кодов эта часть составляет 2^k кодовых комбинаций, получивших название **разрешенных** кодовых комбинаций. Оставшаяся часть $2^n - 2^k$ кодовых комбинаций, составляющая **запрещенные** кодовые комбинации, при передаче информации не применяется. Использование при кодировании символов внешнего алфавита лишь части кодовых комбинаций позволяет разнести разрешенные кодовые комбинации в кодовом пространстве на расстояние, превышающее единицу. Нетрудно видеть, что если расстояние $d > 1$, то все одиночные ошибки будут переводить разрешенные кодовые комбинации в запрещенные, а появление запрещенной кодовой комбинации на приемной стороне может служить индикатором того, что произошла ошибка.

Примером блочного разделимого кода служит код с проверкой на четность. Кодовая комбинация такого кода имеет вид $a_1a_2\dots a_kb$. Первые k разрядов являются информационными и, как правило, совпадают с разрядами исходного первичного кода. Последний разряд является избыточным и определяется по формуле $b = a_1 \oplus a_2 \oplus \dots \oplus a_k$. Из формулы видно, что значение избыточного разряда зависит от того, четное или нечетное число единиц в кодовой комбинации: если число единиц четное, то $b = 0$, в противном случае $b = 1$.

7.7. Корректирующие коды

Исправление ошибок. Помехоустойчивые коды, позволяющие не только обнаруживать ошибки, но и исправлять их, называются **корректирующими кодами**. Общая идея исправления ошибок кратности не более q_m заключается в следующем. Число возможных кодовых комбинаций M помехоустойчивого кода разбивается на N классов по числу N разрешенных кодовых комбинаций. Разбиение осуществляется таким образом, чтобы в каждый класс входили одна разрешенная кодовая комбинация и ближайшие к ней запрещенные. При декодировании определяется, какому классу принадлежит принятая кодовая комбинация. Если кодовая комбинация принята с ошибкой, т.е. является запрещенной, то она исправляется на разрешенную кодовую комбинацию, принадлежащую тому же классу.

Логический код 4B/5B. Наряду с циклическими кодами, которые используют, как правило, на канальном и выше уровнях модели *OSI*, для улучшения потенциальных кодов типа *AMI*, *NRZI* или *2B1Q* используют

другие избыточные логические коды. Логическое кодирование должно заменять длинные последовательности бит, приводящие к постоянному потенциалу в среде передачи данных, вкраплениями единиц. Как отмечалось выше, для логического кодирования характерны два метода - избыточные коды и скремблирование. Например, избыточный логический код $4B/5B$, используемый в технологиях *FDDI* и *Fast Ethernet*, заменяет исходные символы длиной 4 бит на символы длиной в 5 бит. Так как результирующие символы содержат избыточные биты, то общее количество битовых комбинаций в них больше, чем в исходных. Так, в коде $4B/5B$ результирующие символы могут содержать 32 битовых комбинации, в то время как исходные символы – только 16. Поэтому в результирующем коде можно отобрать 16 таких комбинаций, которые не содержат большого количества нулей, а остальные считать **запрещенными кодовыми комбинациями**. Кроме устранения постоянной составляющей и придания коду свойства самосинхронизации, избыточные коды позволяют приемнику распознавать искаженные биты. Соответствие двоичного кода коду $4B/5B$ представлено в табл. 7.1. Код $4B/5B$ передается по линии с помощью физического кодирования по одному из методов потенциального кодирования, чувствительному только к длинным последовательностям нулей. Символы кода $4B/5B$ длиной 5 бит гарантируют, что при любом их сочетании на линии не могут встретиться более трех нулей подряд. Буква *B* в названии кода означает, что элементарный сигнал имеет 2 состояния (от английского *binary* – двоичный). Существуют коды и с тремя состояниями сигнала, например, в коде $8B/6T$ для кодирования 8 бит исходной информации используется код из 6 сигналов, каждый из которых имеет три состояния. Избыточность кода $8B/6T$ выше, чем у кода $4B/5B$, так как на 256 исходных кодов приходится $3^6 = 729$ результирующих символов.

Таблица 7.1.

Соответствие двоичного кода коду $4B/5B$

Двоичный код	Код $4B/5B$	Двоичный код	Код $4B/5B$
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
1111	01111	1111	11101

Использование для перекодировки таблицы, аналогичной табл. 7.1, является простой операцией, поэтому это не усложняет сетевые адаптеры и интерфейсные блоки коммутаторов и маршрутизаторов.

Для обеспечения заданной пропускной способности линии передатчик, использующий избыточный код, должен работать с повышенной тактовой частотой. Так, для передачи кодов $4B/5B$ со скоростью 100 Мбит/с необходима тактовая частота передатчика 125 МГц. При этом спектр сигнала на линии расширяется по сравнению со случаем, когда по линии передается чистый, не избыточный код. Тем не менее, спектр избыточного потенциального кода оказывается уже спектра манчестерского кода, что оправдывает дополнительный этап логического кодирования, а также работу приемника и передатчика на повышенной тактовой частоте.

Скрэмблирование. Перемешивание данных скрэмблером перед передачей их в линию с помощью потенциального кода также является одним из способов логического кодирования. Методы скрэмблирования заключаются в побитном вычислении результирующего кода на основании бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит результирующего кода.

7.8. Сжатие данных

Сжатие (компрессия) данных применяют для сокращения времени их передачи. Так как на сжатие данных передающая сторона тратит дополнительное время, к которому нужно еще прибавить аналогичные затраты времени на разворачивание этих данных принимающей стороной, то выгоды от сокращения времени на передачу сжатых данных обычно бывают заметны только для низкоскоростных каналов (около 64 Кбит/с). Многие программные и аппаратные средства сети способны выполнять динамическую компрессию, совмещенную с передачей данных. Статическая компрессия обеспечивает предварительное сжатие данных (например, с помощью популярных архиваторов типа *ARJ*, *RAR*, *WinZip*), после чего они отсылаются в сеть.

Существующие алгоритмы сжатия информации можно разделить на две большие группы:

- алгоритмы сжатия **без потерь**: алгоритм Лемпеля–Зива (*Lempel-Ziv*, *LZ*), *RLE* (*Run Length Encoding*), кодирование Хаффмена (*Huffman Encoding*);
- алгоритмы сжатия **с потерями**: *JPEG* (*Joint Photographic Expert Group*) – объединенная группа экспертов по фотографии, предложившая одноименный графический формат файлов, *M-JPEG*, *MPEG* (*Motion Picture Expert Group*).

Алгоритм Лемпеля – Зива лежит в основе архиваторов (*pkzip, arj, lha*) и программ динамического сжатия дисков (*Stacker, DoubleSpace*). Основная идея этого алгоритма состоит в том, что второе и последующие вхождения некоторой строки символов в сообщении заменяются ссылкой на ее первое появление в сообщении. Алгоритм используется для сжатия текстов и графики.

Алгоритм сжатия без потерь *RLE* применяют для сжатия графики (файлы формата *PCX*) и видео. Непрерывная последовательность одинаковых символов заменяется 2 байтами. В первом байте – символ, во втором – счетчик, т.е. число, которое показывает, сколько таких символов идет подряд.

Кодирование Хаффмена состоит в замене информационных символов кодовыми последовательностями различной длины. Чем чаще используется символ, тем короче кодовая последовательность.

Алгоритм сжатия с потерями *JPEG* ориентирован на сжатие неподвижных изображений. Он базируется на дискретном косинусном преобразовании (ДКП) неподвижного изображения, отбрасывании малых высокочастотных компонентов получаемого спектра и последующем энтропийном сжатии полученных данных.

Алгоритм *M-JPEG* – используют для компрессии видео, в котором каждый отдельный кадр сжимается по методу *JPEG*.

Алгоритм *MPEG* ориентирован на обработку видео. При формировании потока данных исходят из предположения о том, что два соседних кадра в видеопоследовательности мало отличаются. Опорные кадры сжимают по методу *JPEG* и передают относительно редко. В основном передаются изменения между соседними кадрами.

Из приведенного краткого обзора алгоритмов сжатия очевидны два вывода:

- нет алгоритма, одинаково эффективного для данных разной природы;
- приведенные алгоритмы рассчитаны на сжатие данных, в которых есть последовательности одинаковых символов или одни символы встречаются чаще других.

На практике используют ряд алгоритмов сжатия, каждый из которых применим к определенному типу данных. Некоторые модемы (называемые интеллектуальными) предлагают **адаптивное сжатие**, при котором в зависимости от передаваемых данных выбирается определенный алгоритм сжатия. Рассмотрим некоторые общие алгоритмы сжатия данных.

Десятичная упаковка. Когда данные состоят только из чисел, значительную экономию можно получить путем уменьшения количества используемых на цифру бит с 7 до 4, применяя простое двоичное кодирование десятичных цифр вместо кода ASCII. Просмотр таблицы

ASCII показывает, что старшие три бита всех кодов десятичных цифр содержат комбинацию 011. Если все данные в кадре информации состоят из десятичных цифр, то поместив в заголовок кадра соответствующий управляющий символ, можно существенно сократить длину кадра.

Относительное кодирование. Альтернативой десятичной упаковке при передаче числовых данных с небольшими отклонениями между последовательными цифрами является передача только этих отклонений вместе с известным опорным значением. Такой метод используют, в частности, в разновидностях рассмотренного выше метода импульсно-кодовой модуляции. При дифференциальной (разностной) ИКМ (ДИКМ, *Differential PCM, DPCM*) вместо кодирования отсчетов кодируются разности между соседними отсчетами. Обычно разности отсчетов меньше самих отсчетов. Адаптивная ДИКМ (АДИКМ, *Adaptive Differential PCM, ADPCM*) – система ДИКМ с адаптацией квантователя (АЦП и ЦАП) и предсказателя. При АДИКМ оцифровывается не сам сигнал, а его отклонение от предсказанного значения.

Символьное подавление. Часто передаваемые данные содержат большое количество повторяющихся байт. Например, при передаче черно-белого изображения черные поверхности будут порождать большое количество нулевых значений, а максимально освещенные участки изображения – большое количество байт, состоящих из всех единиц. Передатчик сканирует последовательность передаваемых байт и, если обнаруживает последовательность из трех или более одинаковых байт, заменяет ее специальной трехбайтовой последовательностью, в которой указывает значение байта, число его повторений, а также отмечает начало этой последовательности специальным управляющим символом.

Коды переменной длины. В этом методе кодирования используется тот факт, что не все символы в передаваемом кадре встречаются с одинаковой частотой. Поэтому во многих схемах коды часто встречающихся символов заменяют кодами меньшей длины, а редко встречающихся – кодами большей длины. Такое кодирование называется также **статистическим кодированием**.

Одним из наиболее распространенных алгоритмов, на основе которых строятся неравномерные коды, является алгоритм Хаффмена, позволяющий строить коды автоматически, на основании известных частот появления символов, относящийся к статистическим методам сжатия.

Эволюция модемных протоколов, разработанных ИТУ, и их краткая характеристика приведены в табл. 7.2.

Протоколы ITU для телефонных и выделенных каналов

Протокол	Год утверждения	Максимальная скорость, бит/с	Режим работы	Тип канала связи	Тип модуляции
V.21	1964	200/300	<i>FDX(FDM)</i>	<i>PSTN</i>	<i>FSK</i>
V.22	1980	1200	<i>FDX(FDM)</i>	<i>PSTN</i>	<i>DPSK</i>
<i>V.22 bis</i>	1984	2400	<i>FDX(FDM)</i>	<i>PSTN</i>	<i>QAM</i>
V.23	1964	1200	<i>HDX</i>	<i>PSTN</i>	<i>FSK</i>
V.26	1968	2400	<i>HDX</i>	<i>Private</i>	<i>DPSK</i>
<i>V.26 bis</i>	1972	2400	<i>HDX</i>	<i>PSTN</i>	<i>DPSK</i>
<i>V.26 ter</i>	1984	2400	<i>FDX(EC)</i>	<i>PSTN</i>	<i>DPSK</i>
V.27	1972	4800	<i>HDX</i>	<i>Private</i>	<i>DPSK</i>
<i>V.27 bis</i>	1976	4800	<i>HDX</i>	<i>Private</i>	<i>DPSK</i>
<i>V.27 ter</i>	1976	4800	<i>HDX</i>	<i>PSTN</i>	<i>DPSK</i>
V.29	1976	9600	<i>HDX</i>	<i>Private</i>	<i>QAM</i>
V.32	1984	9600	<i>FDX(EC)</i>	<i>PSTN</i>	<i>QAM/TCM</i>
V.33	1985	14400	<i>FDX</i>	<i>Private</i>	<i>TCM</i>
V.17	1991	14400	<i>FDX(EC)</i>	<i>PSTN</i>	<i>TCM</i>
<i>V.32 bis</i>	1991	14400	<i>FDX(EC)</i>	<i>PSTN</i>	<i>TCM</i>
V.34	1996	33600	<i>FDX</i>	<i>PSTN</i>	<i>QAM</i>
V.90	1998	56700/33600	<i>FDX</i>	<i>PSTN</i>	<i>PCM/QAM</i>
V.92	2000	56700/48000	<i>FDX</i>	<i>PSTN</i>	<i>PCM</i>

В табл. 7.2 приняты следующие сокращения:

- *FDX (Full Duplex Modem)* – дуплексный протокол;
- *HDX (Half Duplex Modem)* – полудуплексный протокол;
- *EC (Echo Canceler)* – эхо-подавление;
- *FDM (Frequency Division Multiplexing)* – частотное разделение каналов;

каналов;

- *PSTN (public switched telephone networks)* – коммутируемая телефонная сеть;

- *private* - выделенные (арендованные) каналы;
- *FSK (Frequency Shift Keying)* – частотная модуляция;
- *DPSK (Differential Phase Shift Keying)* – фазоразностная модуляция;
- *QAM (Quadrature Amplitude Modulation)* – многопозиционная амплитудно-фазовая модуляция или квадратурная амплитудная модуляция;

- *TCM (Trellis Coded Modulation)* – модуляция с решетчатым кодированием или треллис-модуляция;
- *PCM (Pulse Coder Modulation)* – импульсно-кодовая модуляция;
- *bis.* и *ter.* (в переводе с французского - «второй» и «третий») – вторая и третья версии протокола.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение кодированию.
2. Назовите необходимость избыточности сообщения.
3. Какие используемые коды Вы знаете?
4. В чем отличие асинхронных и синхронных кодов?
5. Почему необходимо сжатие данных?
6. Какие алгоритмы сжатия Вам известны?
7. Поясните методы защиты от ошибок и сжатия данных.
8. Поясните принцип корректирующих кодов.
9. Приведите пример алгоритма сжатия данных без потерь.
10. Приведите пример алгоритма сжатия данных с потерями.
11. Охарактеризуйте протокол *ITU V.92*.

Глава 8. КАНАЛООБРАЗУЮЩАЯ АППАРАТУРА, РЕЖИМЫ ПЕРЕНОСА ИНФОРМАЦИИ, КОММУТАЦИЯ КАНАЛОВ

Высокая стоимость линий связи обуславливает разработку систем и методов, позволяющих одновременно передавать по одной линии связи большое число независимых сообщений, т.е. использовать линию многократно. Такие системы связи называют многоканальными. Связь, осуществляемую с помощью этих систем, принято называть многоканальной. Практически все современные системы связи, за редким исключением, являются многоканальными.

В современных сетях связи используются аналоговые и цифровые системы передачи (СП) с тенденцией постепенного перехода к применению только цифровых систем. Для обеспечения характеристик каналов и трактов, гарантирующих высокое качество передачи информации, принципы проектирования цифровых и аналоговых систем передачи должны быть совместимы. Рассмотрим основные методы и способы, используемые при построении систем передачи.

8.1. Основы теории многоканальной передачи сообщений

Используемые методы разделения каналов (РК) бывает линейные и нелинейные (комбинационные). В большинстве случаев разделения каналов каждому источнику сообщения выделяется специальный сигнал, называемый канальным. Промодулированные сообщениями канальные сигналы объединяются, в результате чего образуется групповой сигнал. Если операция объединения линейна, то получившийся сигнал называют линейным групповым сигналом.

Для унификации многоканальных систем связи за основной или стандартный канал принимают канал тональной частоты (канал ТЧ), обеспечивающий передачу сообщений с эффективно передаваемой полосой частот 300–3400 Гц, соответствующей основному спектру телефонного сигнала. Многоканальные системы образуются путем объединения каналов ТЧ в группы, обычно кратные 12 каналам. В свою очередь, часто используют «вторичное уплотнение» каналов ТЧ телеграфными каналами и каналами передачи данных. На рис. 8.1 приведена структурная схема наиболее распространенных систем многоканальной связи.

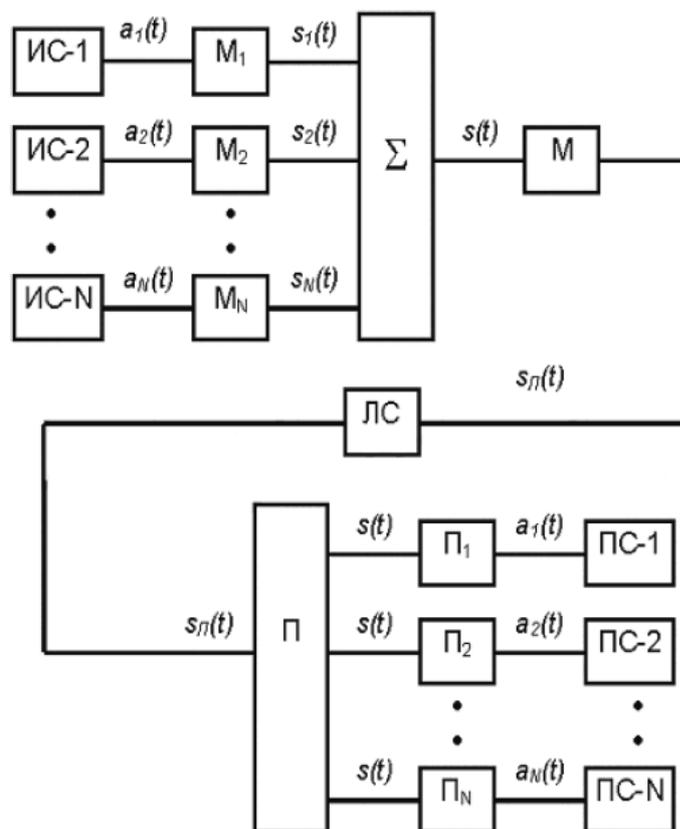


Рис. 8.1. Структурная схема многоканальной связи

Реализация сообщений каждого источника $a_1(t)$, $a_2(t)$, ..., $a_N(t)$ с помощью индивидуальных передатчиков (модуляторов) M_1 , M_2 , ..., M_N преобразуются в соответствующие каналные сигналы $s_1(t)$, $s_2(t)$, ..., $s_N(t)$. Совокупность каналных сигналов на выходе суммирующего устройства S образует групповой сигнал $s(t)$. Наконец, в групповом передатчике M сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_{Л}(t)$, который и поступает в линию связи ЛС. Допустим, что линия пропускает сигнал практически без искажений и не вносит шумов. Тогда на приемном конце линии связи линейный сигнал $s_{Л}(t)$ с помощью группового приемника Π может быть вновь преобразован в групповой сигнал $s(t)$. Канальными или индивидуальными приемниками Π_1 , Π_2 , ..., Π_N из группового сигнала $s(t)$ выделяются соответствующие каналные сигналы $s_1(t)$, $s_2(t)$, ..., $s_N(t)$ и затем преобразуются в предназначенные получателям сообщения $a_1(t)$, $a_2(t)$, ..., $a_N(t)$. Канальные передатчики вместе с суммирующим устройством образуют аппаратуру объединения. Групповой передатчик M , линия связи ЛС и групповой приемник Π составляют групповой канал связи (тракт передачи), который вместе с аппаратурой объединения и индивидуальными приемниками составляет систему многоканальной связи.

Индивидуальные приемники системы многоканальной связи ПК наряду с выполнением обычной операции преобразования сигналов $s_k(t)$ в соответствующие сообщения $a_k(t)$ должны обеспечить выделение сигналов $s_k(t)$ из группового сигнала $s(t)$. Иначе говоря, в составе технических устройств на передающей стороне многоканальной системы должна быть предусмотрена аппаратура объединения, а на приемной стороне – аппаратура разделения.

В общем случае групповой сигнал может формироваться не только простейшим суммированием каналных сигналов, но также и определенной логической обработкой, в результате которой каждый элемент группового сигнала несет информацию о сообщениях источников. Это так называемые системы с комбинационным разделением. Чтобы разделяющие устройства были в состоянии различать сигналы отдельных каналов, должны существовать определенные признаки, присущие только данному сигналу. Такими признаками могут быть параметры переносчика, например амплитуда, частота или фаза в случае непрерывной модуляции гармонического переносчика. При дискретных видах модуляции различающим признаком может служить и форма сигналов. Соответственно различаются и способы разделения сигналов: частотный, временной, фазовый и др.

8.2. Частотное разделение сигналов

Функциональная схема простейшей системы многоканальной связи с разделением каналов по частоте представлена на рис. 8.2. За рубежом для обозначения принципа частотного разделения каналов (ЧРК) используется термин *Frequency Division Multiply Access (FDMA)*. Сначала в соответствии с передаваемыми сообщениями, первичные (индивидуальные) сигналы, имеющие энергетические спектры $G_1(\omega)$, $G_2(\omega)$, ..., $G_N(\omega)$, модулируют поднесущие частоты ω_k каждого канала. Эту операцию выполняют модуляторы M_1, M_2, \dots, M_{1N} канальных передатчиков. Полученные на выходе частотных фильтров $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$ спектры $g_k(\omega)$ канальных сигналов занимают соответственно полосы частот $D_{\omega_1}, D_{\omega_2}, \dots, D_{\omega_N}$, которые в общем случае могут отличаться по ширине от спектров сообщений $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{1N}$. При широкополосных видах модуляции, например, ЧМ ширина спектра $D_{\omega} = k \cdot 2(b + 1)\omega_k$, т.е. в общем случае $D_{\omega} = \omega \cdot k$. Для упрощения будем считать, что используется АМ-ОБП (как это принято в аналоговых СП с ЧРК), т.е. $D_{\omega k} = \omega$ и $D_{\omega} = N\omega$.

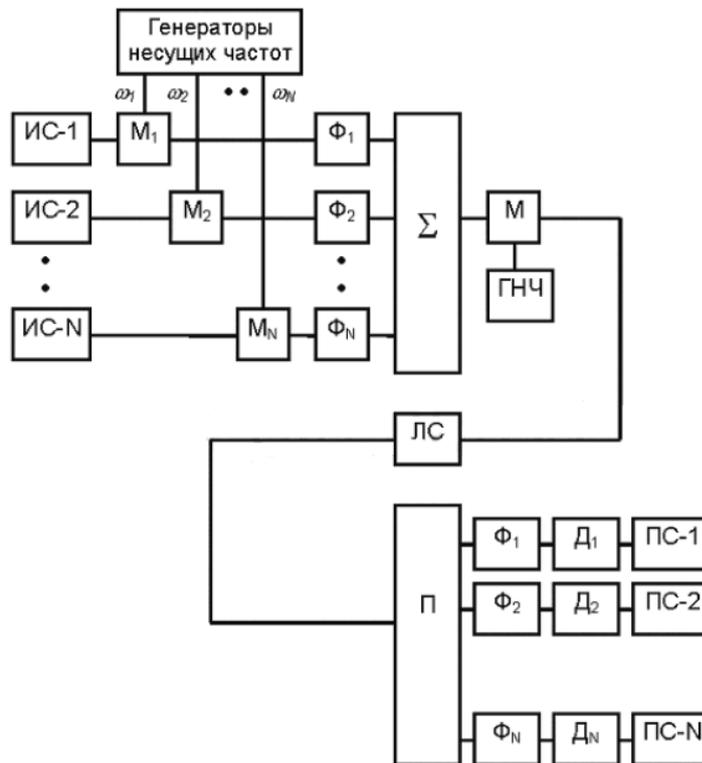


Рис. 8.2. Системы многоканальной связи с разделением каналов по частоте

Проследим основные этапы образования сигналов, а также изменение этих сигналов в процессе передачи (рис. 8.3). Будем полагать,

что спектры индивидуальных сигналов конечны. Тогда можно подобрать поднесущие частоты ω_k так, что полосы $D_{\omega_1}, D_{\omega_2}, \dots, D_{\omega_k}$ попарно не перекрываются. При этом условии сигналы $s_k(t)$ ($k = 1, \dots, N$) взаимно ортогональны. Затем спектры $g_1(\omega), g_2(\omega), \dots, g_{1N}(\omega)$ суммируются (S), и их совокупность $g(\omega)$ поступает на групповой модулятор (M). Здесь спектр $g(\omega)$ с помощью колебания несущей частоты ω_0 переносится в область частот, отведенную для передачи данной группы каналов, т.е. групповой сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_L(t)$. При этом может использоваться любой вид модуляции.

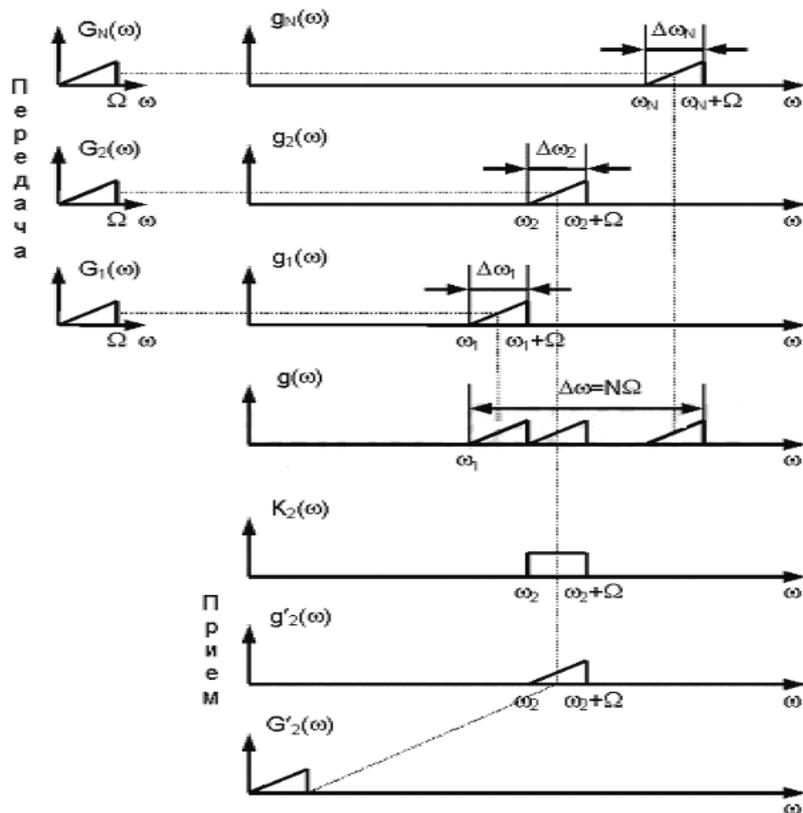


Рис. 8.3. Основные этапы образования сигнала

На приемном конце линейный сигнал поступает на групповой демодулятор (приемник П), который преобразует спектр линейного сигнала в спектр группового сигнала $g(\omega)$. Затем спектр группового сигнала с помощью частотных фильтров $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$ вновь разделяется на отдельные полосы D_{ω_k} , соответствующие отдельным каналам. Наконец, каналные демодуляторы Д преобразуют спектры сигналов $g_k(\omega)$ в спектры сообщений $G_k(\omega)$, предназначенные получателям. Из приведенных пояснений легко понять смысл частотного способа разделения каналов. Поскольку всякая реальная линия связи обладает ограниченной полосой

пропускания, то при многоканальной передаче каждому отдельному каналу отводится определенная часть общей полосы пропускания.

На приемной стороне одновременно действуют сигналы всех каналов, различающиеся положением их частотных спектров на шкале частот. Чтобы без взаимных помех разделить такие сигналы, приемные устройства должны содержать частотные фильтры. Каждый из фильтров ФК должен пропустить без ослабления лишь те частоты $\omega_l \Delta\omega_k$, которые принадлежат сигналу данного канала; частоты сигналов всех других каналов фильтр должен подавить.

На практике это невыполнимо. Результатом являются взаимные помехи между каналами. Они возникают как за счет неполного сосредоточения энергии сигнала k -го канала в пределах заданной полосы частот $\Delta\omega_k$, так и за счет неидеальности реальных полосовых фильтров. В реальных условиях приходится учитывать также взаимные помехи нелинейного происхождения, например за счет нелинейности характеристик группового канала. Для снижения переходных помех до допустимого уровня приходится вводить защитные частотные интервалы $\Delta\omega_{\text{защ}}$ (рис. 8.4).

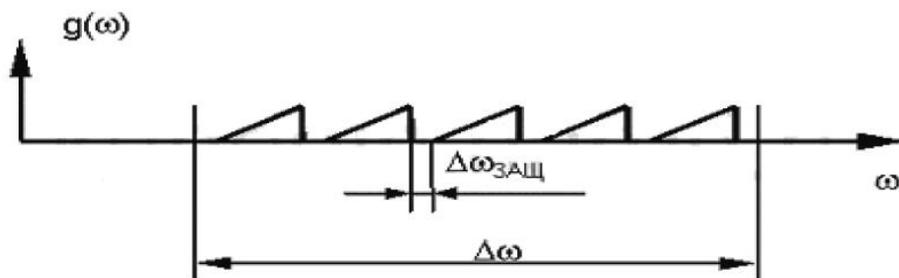


Рис. 8.4. Защитные полосы

Так, например, в современных системах многоканальной телефонной связи каждому телефонному каналу выделяется полоса частот 4 кГц, хотя частотный спектр передаваемых звуковых сигналов ограничивается полосой от 300 до 3400 Гц, т.е. ширина спектра составляет 3,1 кГц. Между полосами частот соседних каналов предусмотрены интервал шириной по 0,9 кГц, предназначенные для снижения уровня взаимных помех при фильтрации сигналов. Это означает, что в многоканальных системах связи с частотным разделением сигналов эффективно используется лишь около 80 % полосы пропускания линии связи. Кроме того, необходимо обеспечить высокую степень линейности всего тракта группового сигнала.

8.3. Временное разделение каналов

Принцип временного разделения каналов (ВРК) состоит в том, что групповой тракт предоставляется поочередно для передачи сигналов каждого канала многоканальной системы (рис. 8.5).

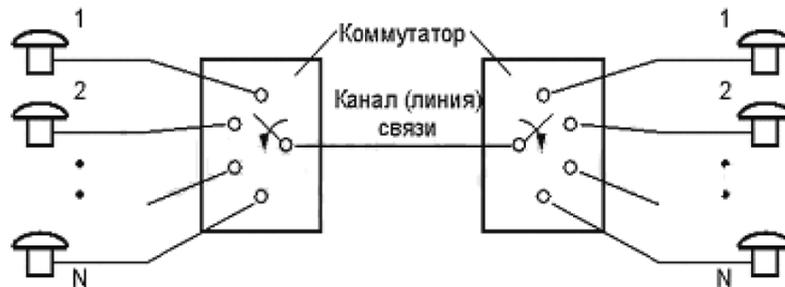


Рис. 8.5. Принцип временного разделения канала

В зарубежных источниках для обозначения принципа временного разделения каналов используется термин *Time Division Multiply Access (TDMA)*. При передаче используется дискретизация во времени (импульсная модуляция). Сначала передается импульс 1-го канала, затем следующего канала и т.д. до последнего канала за номером N , после чего опять передается импульс 1-го канала и процесс повторяется периодически. На приеме устанавливается аналогичный коммутатор, который поочередно подключает групповой тракт к соответствующим приемникам. В определенный короткий промежуток времени к групповой линии связи оказывается подключена только одна пара «приемник – передатчик». Это означает, что для нормальной работы многоканальной системы с ВРК необходима синхронная и синфазная работа коммутаторов на приемной и передающей сторонах. Для этого один из каналов занимают под передачу специальных импульсов синхронизации.

На рис. 8.6 приведены временные диаграммы, поясняющие принцип ВРК. На рис. 8.6,(а – в) приведены графики трех непрерывных аналоговых сигналов $u_1(t)$, $u_2(t)$ и $u_3(t)$ и соответствующие им АИМ-сигналы. Импульсы разных АИМ-сигналов сдвинуты относительно друг друга по времени. При объединении индивидуальных каналов в канале (линии) связи образуется групповой сигнал с частотой следования импульсов в N раз большей частоты следования индивидуальных импульсов.

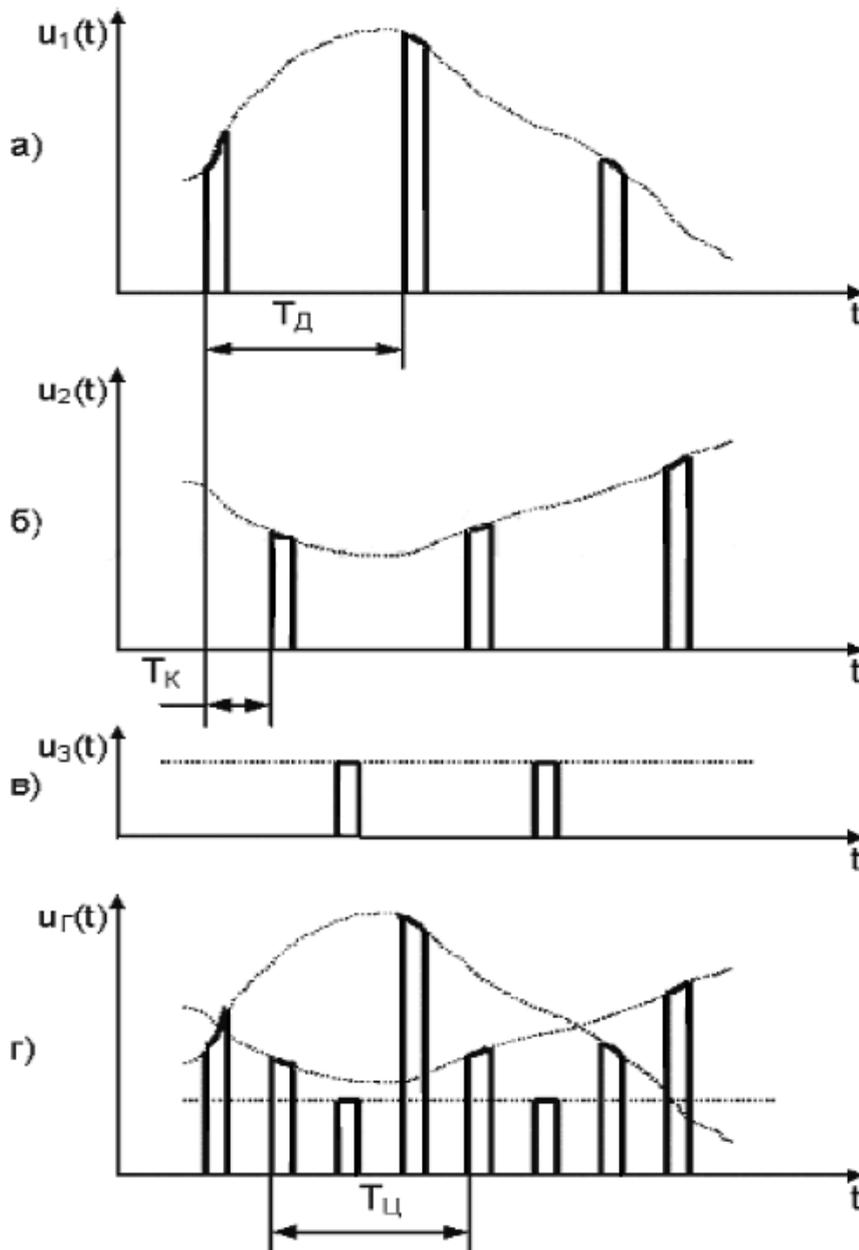


Рис. 8.6. Временные диаграммы: а, б, в – исходные аналоговые и соответствующие им амплитудные сигналы; г – аналоговый выходной передатчик

Интервал времени между ближайшими импульсами группового сигнала T_k называется канальным интервалом, или тайм-слотом (*Time Slot*). Промежуток времени между соседними импульсами одного индивидуального сигнала называется циклом передачи T_c . От соотношения T_c и T_k зависит число импульсов, которое можно разместить в цикле, т.е. число временных каналов.

При временном разделении так же, как и при ЧРК, существуют взаимные помехи, в основном обусловленные двумя причинами. Первая

состоит в том, что линейные искажения, возникающие за счет ограниченности полосы частот и неидеальности амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик всякой физически осуществимой системы связи, нарушают импульсный характер сигналов. При временном разделении сигналов это приведет к тому, что импульсы одного канала будут накладываться на импульсы других каналов. Иначе говоря, между каналами возникают взаимные переходные помехи или межсимвольная интерференция.

Кроме того, взаимные помехи могут возникать за счет несовершенства синхронизации тактовых импульсов на передающей и приемной сторонах. В силу данных причин временное разделение каналов на основе АИМ не получило практического применения. Временное разделение широко используют в цифровых системах передачи плезиохронной и синхронной иерархий.

В общем случае для снижения уровня взаимных помех приходится вводить «защитные» временные интервалы, что соответствует некоторому расширению спектра сигналов. Так, в СП полоса эффективно передаваемых частот $F = 3100$ Гц, в соответствии с теоремой Котельникова, имеет минимальное значение частоты дискретизации $f_0 = 1/T_d = 2F = 6200$ Гц. Однако в реальных системах частоту дискретизации выбирают с некоторым запасом: $f_0 = 8$ кГц. При временном разделении каналов сигнал каждого канала занимает одинаковую полосу частот, определяемую в идеальных условиях, согласно теореме Котельникова из соотношения (без учета канала синхронизации) $\Delta t_k = T_0/N = 1/(2NF) = 1/(2F_{\text{общ}})$, где $F_{\text{общ}} = FN$, что совпадает с общей полосой частот системы при частотном разделении. Хотя теоретически временное и частотное разделения позволяют получить одинаковую эффективность использования частотного спектра, тем не менее, пока системы временного разделения уступают системам частотного разделения по этому показателю.

Вместе с тем, системы с временным разделением имеют неоспоримое преимущество, связанное с тем, что благодаря разновременности передачи сигналов разных каналов отсутствуют переходные помехи нелинейного происхождения. Кроме того, аппаратура временного разделения значительно проще, чем при частотном разделении, где для каждого индивидуального канала требуются соответствующие полосовые фильтры, которые достаточно трудно реализовать средствами микроэлектроники.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте канал тональной частоты ТфОП.
2. Поясните структурную схему системы многоканальной связи.
3. Какие различающие признаки могут содержать сигналы при многоканальном обмене для их детектирования?
4. Расскажите о системе многоканальной связи с разделением каналов по частоте.
5. Какие трудности возникают при разделении сигналов на приемной стороне по принципу частотного разделения каналов?
6. Поясните принцип временного разделения канала.
7. Как подбираются полосы частот каждого канала при временном разделении каналов?

Глава 9. РЕЖИМЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ

9.1. Режимы передачи данных

При обмене данными на физическом уровне единицей информации является бит, поэтому средства физического уровня всегда поддерживают побитовую синхронизацию между приемником и передатчиком. Чтобы приемник мог правильно декодировать и интерпретировать получаемый набор битов, он должен знать:

- скорость передачи битов, определяемую интервалом времени, выделяемым на один битовый разряд;
- начало и конец каждого элемента (символа или байта);
- начало и конец каждого полного блока сообщения или кадра.

Эти три фактора называют соответственно **побитной** или **тактовой** синхронизацией, **побайтной** или **посимвольной** синхронизацией и **поблочной** или **покадровой** синхронизацией.

Канальный уровень оперирует кадрами данных и обеспечивает синхронизацию между приемником и передатчиком на уровне кадров. В обязанности приемника входит распознавание начала первого байта кадра, границ полей и признака его окончания. Обычно достаточно обеспечить синхронизацию на указанных двух уровнях: битовом и кадровом, – чтобы передатчик и приемник обеспечили устойчивый обмен информацией. Однако при плохом качестве линии связи (как правило, это относится к телефонным коммутируемым каналам) для удешевления аппаратуры и

повышения надежности передачи данных вводят дополнительные средства синхронизации на уровне байтов. Такой режим работы называется **асинхронным** или **старт-стопным**. Использование такого режима работы обусловлено наличием устройств, которые генерируют байты данных в случайные моменты времени. Так работает клавиатура дисплея или другого терминального устройства, с которого человек вводит данные для обработки их компьютером.

В асинхронном режиме каждый байт данных сопровождается специальными сигналами «старт»-стартовый бит и «стоп»-стоповый(ые) бит(ы) (рис. 9.1). Назначение этих сигналов состоит в том, чтобы, во-первых, известить приемник о приходе данных и, во-вторых, чтобы дать приемнику достаточно времени для выполнения некоторых функций, связанных с синхронизацией, до поступления следующего байта. Сигнал «старт» имеет продолжительность в один тактовый интервал, а сигнал «стоп» может длиться один, полтора или два такта, поэтому говорят, что используется один, полтора или два бита в качестве стопового сигнала, хотя эти сигналы не несут информации. Асинхронным данный режим называют потому, что каждый байт может быть несколько смещен во времени относительно побитовых тактов предыдущего байта. Такая асинхронность передачи байтов не влияет на корректность принимаемых данных, так как в начале каждого байта происходит дополнительная синхронизация приемника с источником за счет стартового бита. Более «свободные» временные допуски определяют низкую стоимость оборудования асинхронной системы.

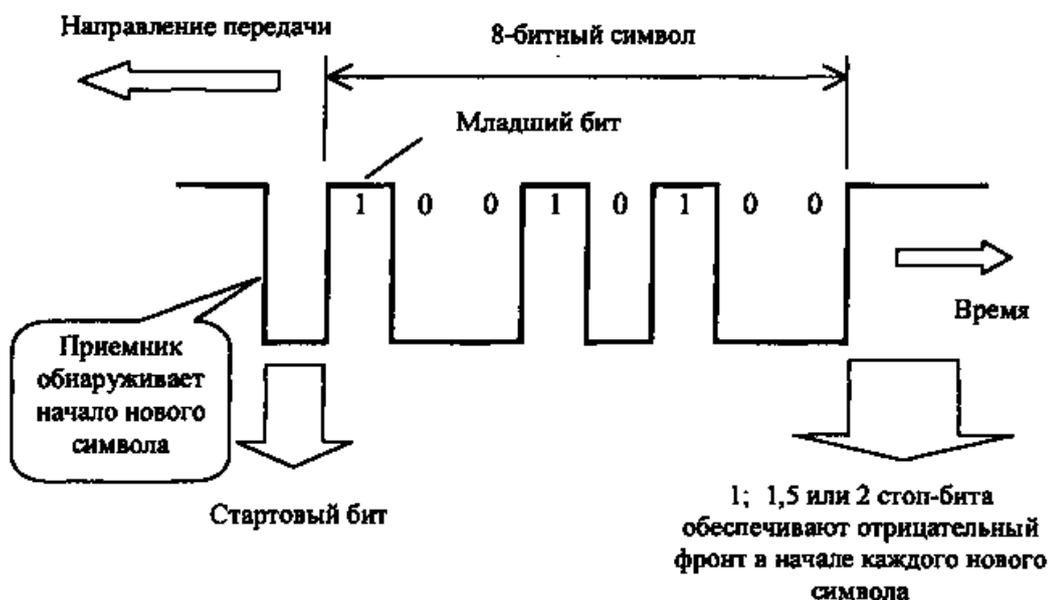


Рис. 9.1. Асинхронная передача

При **синхронном** режиме передачи «старт»-стопные биты между каждой парой байтов отсутствуют, и весь блок или кадр данных передается как одна цепочка битов без каких-либо задержек между 8-битными элементами. Чтобы приемник обеспечивал различные уровни синхронизации, необходимо выполнение следующих требований:

- передаваемая цепочка битов должна быть закодирована так, чтобы приемник мог осуществлять побитовую синхронизацию;
- каждому кадру должен предшествовать один или более зарезервированных байтов или символов, благодаря чему приемник может надежно разделить полученную цепочку битов по границам байтов или символов (побайтная или посимвольная синхронизация);
- содержимое каждого кадра обрамляется парой зарезервированных байтов или символов.

Благодаря последнему требованию приемник оповещается о поступлении кадра данных и об окончании кадра (рис. 9.2). При наличии промежутков времени между передачей двух последовательных кадров в этот период либо непрерывно передаются синхробайты бездействия (простоя), что позволяет приемнику поддерживать побитную или побайтную синхронизацию, либо каждому кадру предшествует один или несколько специальных синхронизирующих байтов или символов, например 01111110, что позволяет приемнику вновь войти в байтовый синхронизм с передатчиком.

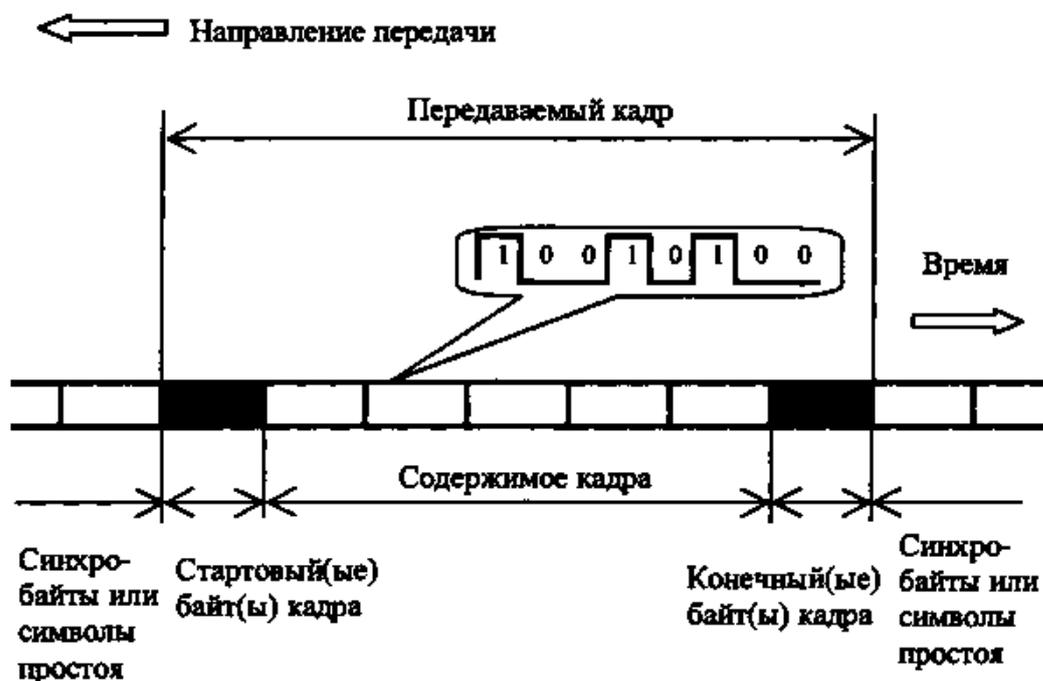


Рис. 9.2. Синхронная передача

Для обеспечения побитовой синхронизации используют самосинхронизирующиеся коды.

9.2. Методы передачи данных канального уровня

Канальный уровень обеспечивает передачу пакетов данных, поступающих от протоколов верхних уровней, узлу назначения, адрес которого также указывает протокол верхнего уровня. Протоколы канального уровня оформляют переданные им пакеты в кадры собственного формата, помещая указанный адрес назначения в одно из полей такого кадра, а также сопровождая его контрольной суммой. Протокол канального уровня предназначен для доставки кадров данных, как правило, в пределах сетей с простой топологией связей и однотипной или близкой технологией. Другой областью действия протоколов канального уровня являются связи типа «точка – точка» глобальных сетей, когда протокол канального уровня ответственен за доставку кадра непосредственному соседу. Адрес в этом случае не имеет принципиального значения, а на первый план выходит способность протокола восстанавливать искаженные и утерянные кадры, так как плохое качество территориальных каналов, особенно коммутируемых телефонных, часто требует выполнения подобных действий.

Основными характеристиками метода передачи, работающего на канальном уровне, являются следующие:

- асинхронный/синхронный;
- байт-ориентированный/бит-ориентированный;
- с предварительным установлением соединения/дейтаграммный;
- с обнаружением искаженных данных/без обнаружения;
- с обнаружением потерянных данных/без обнаружения;
- с восстановлением искаженных и потерянных данных/без восстановления;
- с поддержкой динамической компрессии данных/без поддержки.

Многие из них характерны не только для протоколов канального уровня, но и для протоколов более высоких уровней.

9.3. Асинхронные протоколы

Асинхронные протоколы представляют собой один из первых способов связи. Эти протоколы оперируют не с кадрами, а с отдельными символами, которые представлены байтами со «старт»-стоповым обрамлением.

В асинхронных протоколах применяются стандартные наборы символов, чаще всего *ASCII* или *EBCDIC*. Первые 32 или 27 кодов в этих наборах являются специальными. Они не отображаются на дисплее или принтере и используются асинхронными протоколами для управления режимом обмена данными. В самих пользовательских данных, которые представляют собой буквы, цифры, а также такие знаки, как @, %, \$ и т.п., специальные символы никогда не встречаются, так что проблемы их отделения от пользовательских данных не существует.

Постепенно асинхронные протоколы усложнялись и стали наряду с отдельными символами использовать **целые блоки данных**, т.е. **кадры**. Примерами асинхронных протоколов являются популярный протокол *X MODEM*, который передает файлы между двумя компьютерами по асинхронному модему и протокол коррекции ошибок в модемной связи *MNP2*. В этих протоколах часть управляющих операций выполняется посылкой в асинхронном режиме отдельных символов, а часть данных – блоками, что более характерно для синхронных протоколов.

Байт-ориентированные и бит-ориентированные протоколы

В синхронных протоколах между пересылаемыми символами (байтами) нет стартовых и стоповых сигналов, поэтому отдельные символы в этих протоколах пересылать нельзя. Все обмены данными осуществляются кадрами, которые имеют в общем случае заголовок, поле данных и концевик. Все биты кадра передаются непрерывным синхронным потоком, что значительно ускоряет передачу данных. Так как байты в этих протоколах не отделяются друг от друга служебными сигналами, то, прежде всего, приемник должен распознать границы байтов. Затем приемник должен найти начало и конец кадра, а также определить границы каждого поля кадра – адреса назначения, адреса источника, служебных полей заголовка, поля данных и контрольной суммы, если она имеется.

Большинство протоколов допускает использование в кадре поля данных переменной длины. Иногда и заголовок может быть переменной длины. Обычно протоколы определяют максимальное значение длины поля данных – **максимальную единицу передачи данных** (*MTU – Maximum transfer Unit*). В некоторых протоколах задается также минимальное значение длины поля данных. Например, протокол *Ethernet* требует, чтобы поле данных содержало не менее 46 байт данных (если приложение хочет отправить меньшее количество байтов, то оно обязано дополнить их до 46 любыми значениями). Другие протоколы разрешают использовать поле данных нулевой длины, например *FDDI*.

Существуют протоколы с кадрами фиксированной длины, например, в сетях *ATM* кадры имеют фиксированный размер 53 байт, включая

служебную информацию. Для таких протоколов необходимо решить только первую часть задачи – распознать начало кадра.

Синхронные протоколы канального уровня бывают двух типов: **байт-ориентированные** (иногда их называют символьно-ориентированные или знак-ориентированные) и **бит-ориентированные**. Для них характерны одни и те же методы синхронизации битов. Главное различие между ними заключается в методе синхронизации символов и кадров.

Восстановление искаженных помехами данных. Методы коррекции ошибок в вычислительных сетях основаны на повторной передаче кадра данных в случае, если кадр теряется и не доходит до адресата или приемник обнаружил в нем искажение информации. Чтобы убедиться в необходимости повторной передачи данных, отправитель нумерует отправляемые кадры и для каждого кадра ожидает от приемника так называемой **положительной квитанции** – служебного кадра, извещающего о том, что исходный кадр был получен и данные в нем оказались корректными. Время этого ожидания ограничено - при отправке каждого кадра передатчик запускает таймер, и, если по его истечении положительная квитанция не получена, кадр считается утерянным. Приемник в случае получения кадра с искаженными данными может отправить **отрицательную квитанцию**, что указывает на то, что данный кадр нужно передать повторно. Процесс обмена квитанциями называется автоматическим запросом повторения – *ARQ (Automatic Repeat request)*.

Контрольные вопросы

1. Поясните синхронный и асинхронный режимы передачи данных на физическом уровне.
2. Расскажите побитно синхронизации передачи данных.
3. Охарактеризуйте побайтную синхронизацию передачи данных.
4. Опишите покадровую синхронизацию передачи данных.
5. Каким форматом данных оперирует канальный уровень?
6. Назовите основные характеристики методов передачи канального уровня.
7. Назовите два типа синхронных протоколов канального уровня.
8. Как достигается восстановление искаженных помехами данных на канальном уровне?

Глава 10. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И СТАНДАРТНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ

10.1. Стандарты электрических интерфейсов, применяемых в промышленных сетях

Набор правил и мероприятий, описывающих взаимодействие двух электронных устройств, вычислительных систем или программ называется **интерфейсом** (*interface*). Интерфейс описывает элементы соединения и вспомогательные схемы управления, используемые для соединения устройств. Различают электрический, программный и механический интерфейсы. Возможны также и другие интерфейсы.

Характеристики электрического интерфейса. Аппаратный интерфейс АСИ (ООД), подключенный к сети (АПД), должен обеспечить совместимость оконечного оборудования данных – ООД (*DTE*) по своим характеристикам с аппаратурой передачи данных – АПД (*DCE*), т.е. с сетью. Каждый провод в многопроводном цифровом интерфейсе называется «цепью обмена». Цепи обмена используют для передачи данных, управления и синхронизации.

Основными характеристиками АСИ являются: скорость передачи, электрические характеристики цепей обмена, функциональное назначение цепей обмена, процедурные и механические характеристики интерфейса. Его скорость передачи определяет в конечном счете возможности ООД этой сети.

Электрические характеристики цепей обмена определяют уровни напряжений, используемых для представления данных и управляющих сигналов, передаваемых через интерфейс; допустимые значения фронтов сигналов, затухания сигналов; допустимую нагрузку на каждую цепь и другие электрические параметры соединения.

Каждая цепь обмена интерфейса имеет свое название и функциональное назначение, определяемое направлением передачи данных или управляющего сигнала, и выполняемые действия. Процедурные характеристики интерфейса определяют последовательность обмена управляющими сигналами и данными, передаваемыми через интерфейс. Механические характеристики определяют геометрические размеры разъемов интерфейса, их контактов, вид механического соединения, обеспечивающего передачу сигналов через разъемное соединение.

Последовательный интерфейс имеет различные реализации, характеризующиеся отличительным способом передачи электрических сигналов.

Существует ряд родственных международных стандартов: *RS-232C*, *RS-423A*, *RS-422A* и *RS-485*. На рис. 10.1 приведены схемы соединения приёмников и передатчиков, а также показаны ограничения на длину линии L и максимальную скорость передачи данных V .

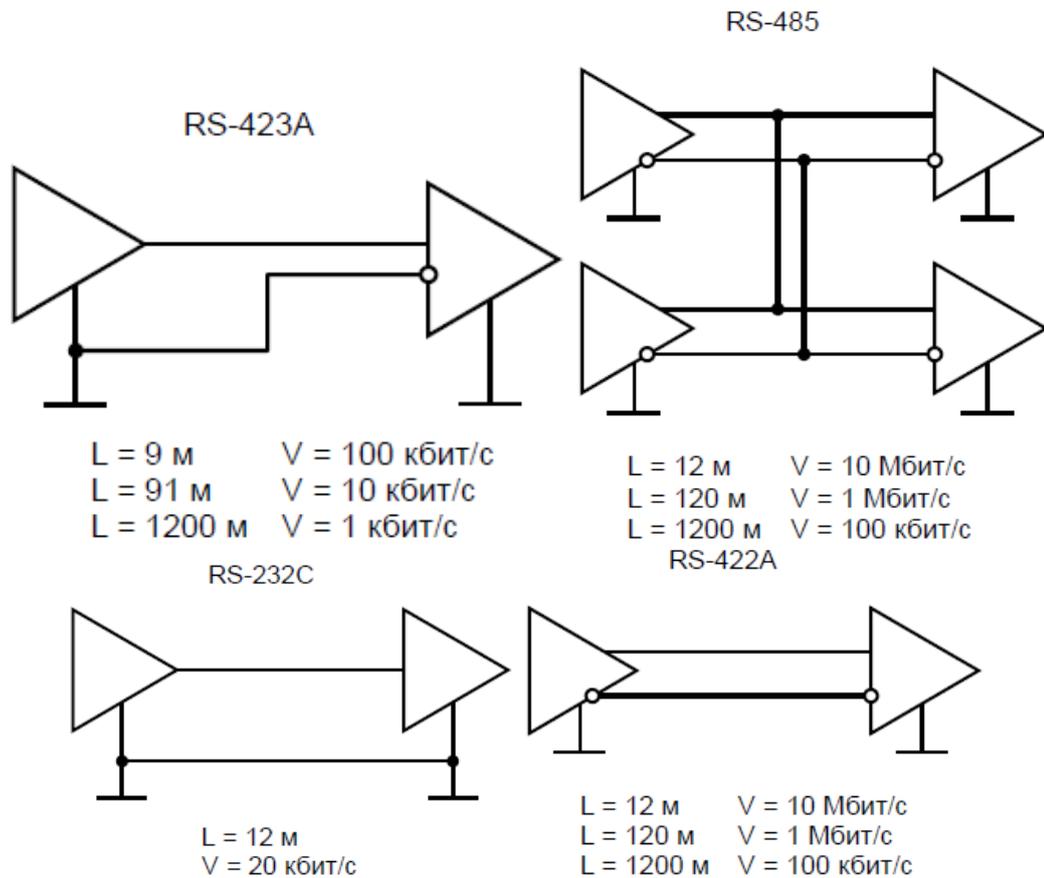


Рис. 10.1. Стандарты последовательного интерфейса

Несимметричные линии интерфейсов *RS-232C* и *RS-423A* имеют самую низкую защищённость от синфазной помехи, хотя дифференциальный вход приёмника *RS-423A* несколько смягчает ситуацию. Лучшие параметры имеет двухточечный интерфейс *RS-422A* и его магистральный (шинный) аналог *RS-485*, работающие на симметричных линиях связи. В них для передачи каждого сигнала используются дифференциальные сигналы с отдельной (витой) парой проводов.

В перечисленных стандартах сигнал представляется потенциалом. Существуют последовательные интерфейсы, где информативен ток, протекающий по общей цепи «передатчик – приёмник» – «токовая петля» и *MIDI*. Для связи на короткие расстояния приняты стандарты беспроводной инфракрасной связи. Наибольшее распространение в

персональных компьютерах получил простейший из перечисленных – стандарт *RS-232C*, реализуемый *COM*-портами. В промышленной автоматике широко применяется *RS-485*, а также *RS-422A*. Существуют преобразователи сигналов для согласования этих родственных интерфейсов.

10.2. Интерфейс *RS-232C (EIA-232-D)*

Стандарт интерфейса *RS-232C* (*RS* от *Recommended Standard* – рекомендуемый стандарт) является наиболее известным и распространённым среди стандартов для последовательной передачи данных, определяющий последовательный коммуникационный интерфейс (т.е. способ взаимодействия) между *DTE* и *DCE*. Он был введён в 1969 году Ассоциацией электронной промышленности (*Electronic Industries Association, EIA*) для описания требований к интерфейсу между ЭВМ и модемами. Его последняя редакция, при которой название было изменено с *RS-232* на *EIA-232-D*, датируется декабрем 1987 года. Число 232 – исходный серийный номер данного стандарта. Наиболее часто используют вариант «*C*» этого стандарта, т.е. *RS-232C*. В случае, когда используют вариант «*D*», префикс *RS* меняется на *EIA*. Кроме нескольких дополнительных (но редко используемых) сигналов, между вариантами «*C*» и «*D*» практически нет никакого отличия.

Стандарт *RS-232C* описывает несимметричный интерфейс между ООД и АПД, работающий в режиме последовательного обмена двоичными данными со скоростями передачи до 20000 бит/с.

Интерфейс предназначен для подключения аппаратуры, передающей или принимающей данные (АПД), к оконечному оборудованию данных (ООД). Для описания СИ с сетевой стороны используют аббревиатуру АПД (аппаратура передачи данных) или согласно рекомендации *ITU-T V.24 – DCE (Data Circuit terminating Equipment)*. Для описания интерфейса со стороны компьютера или терминала применяется ООД (оконечное оборудование данных) или *DTE (Data Terminal Equipment)*. ООД работает под управлением программно-аппаратных средств и входит в состав ЭВМ или терминала.

В роли АПД может выступать компьютер, принтер, плоттер и другое периферийное оборудование. В роли ООД обычно выступает модем (адаптер). Конечной целью подключения является соединение двух устройств АПД. Полная схема соединения приведена на рис. 10.2. Интерфейс позволяет исключить канал удалённой связи вместе с парой устройств АПД, соединив устройства непосредственно с помощью нуль-модемного кабеля (рис. 10.3).



Рис. 10.2. Полная схема соединения по RS-232

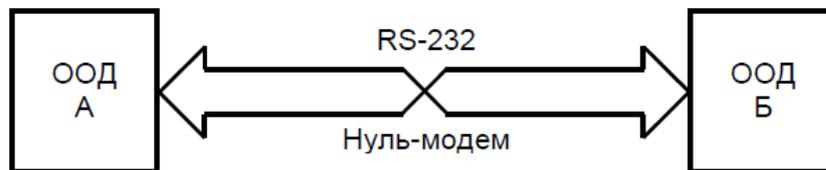


Рис. 10.3. Соединение по RS-232 нуль-модемным кабелем

Стандарт *RS-232* описывает управляющие сигналы интерфейса, пересылку данных, электрический интерфейс и типы разъёмов. В стандарте предусмотрены асинхронный и синхронный режимы обмена, но *COM*-порты поддерживают только асинхронный режим.

Интерфейс называется **несимметричным**, если для всех цепей обмена этого интерфейса используется один общий возвратный провод – сигнальная «земля» (рис. 10.4). В **симметричных** интерфейсах собственную сигнальную «землю» имеет каждая цепь обмена. Как видно из рис. 10.4, напряжения сигналов в цепях обмена симметричны по отношению к уровню сигнальной «земли» и составляют не менее +3 В для двоичного нуля и не более –3 В для двоичной единицы. Напряжения вне этих диапазонов порождают неопределенное состояние. На практике фактически используемые уровни зависят от источников напряжений, подаваемых на схемы интерфейса, и могут достигать ± 12 В.

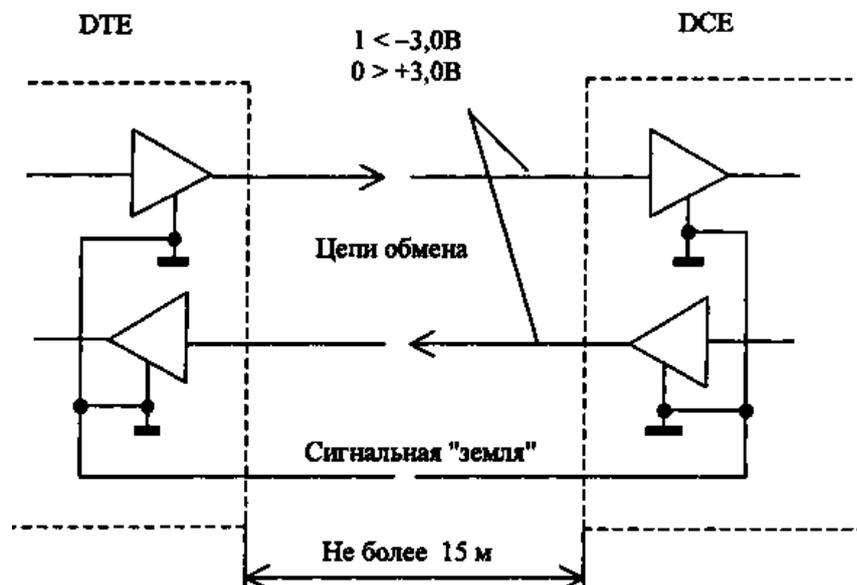


Рис. 10.4. Интерфейс RS-232C

Несимметричный интерфейс работает в асинхронном и синхронном режимах передачи данных. Длина кабеля ограничена 15 м, скорость передачи не более 19200 бит/с, хотя при присоединении периферийных устройств к компьютерам эти значения могут быть превышены. Стандарт *EIA RS-232C* эквивалентен:

- по функциональному и процедурному описанию цепей обмена рекомендации *V.24 ITU-T*;
- по характеристикам электрического сигнала рекомендации *V.28 ITU-T*;
- по механическим характеристикам рекомендации *ISO 2110* (25 контактный разъем – *DB25*). На аппаратуре *DTE* (в том числе и на *COM*-портах ПК) принято устанавливать **вилки** (*male* – «папа») *DB25-P* или более компактный вариант – *DB9-P*. Девятиштырьковые разъемы не имеют контактов для дополнительных сигналов, необходимых для синхронного режима (в большинстве 25-штырьковых разъемов эти контакты не используются). На аппаратуре *DCE* (модемах) устанавливают **розетки** (*female* – «мама») – *DB25-S* или *DB-9S*. Это правило предполагает, что разъемы *DCE* могут подключаться к разъемам *DTE* непосредственно или через переходные «прямые» кабели с розеткой и вилкой, у которых контакты соединены «один в один». Переходные кабели могут являться и переходниками с 9- на 25-штырьковые разъемы (рис. 10.5).

В качестве контроллера аппаратного сетевого интерфейса в ПК используют контроллер коммуникационного порта *UART* (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter* – Универсальный асинхронный приемопередатчик). Это устройство применяют в *DTE* или *DCE* для получения и передачи асинхронных данных. Устройство *UART*, используемое в современных ПК (типа *NS16550A* с внутренним буфером данных), обеспечивает скорость до 115200 бит/с.

Микросхема содержит регистры передатчика и приемника данных, несколько внутренних регистров, доступных через команды ввода/вывода. При передаче байта он записывается в буферный регистр передатчика, откуда затем переписывается в сдвиговый регистр передатчика. Байт «выдвигается» из сдвигового регистра по битам. Программа имеет доступ только к буферным регистрам, копирование информации в сдвиговые регистры и процесс сдвига выполняется микросхемой *UART* автоматически.

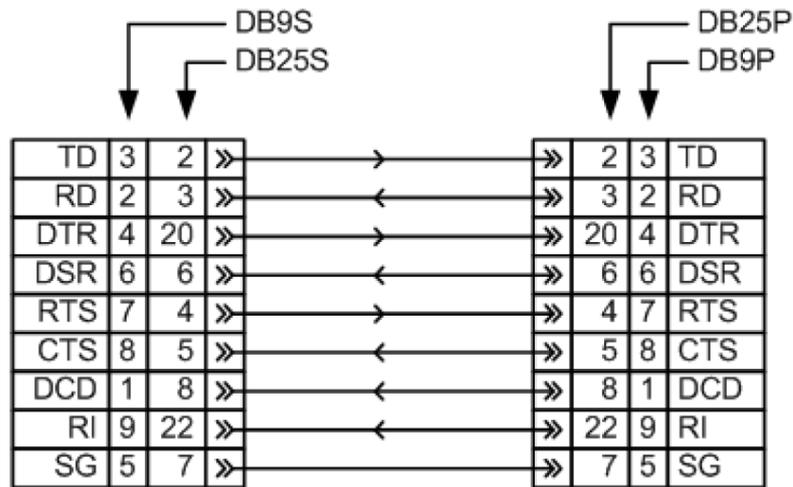


Рис. 10.5. Кабели подключения модемов:

SG (Signal Ground) – сигнальная земля; *TD (Transmit Data)* – передаваемые данные (выход передатчика); *RD (Receive Data)* – принимаемые данные (вход приёмника); *RTS (Request To Send)* – запрос от АПД на передачу данных; *CTS (Clear To Send)* – разрешение АПД передавать данные; *DSR (Data Set Ready)* – сигнал готовности от ООД; *DTR (Data Terminal Ready)* – сигнал готовности АПД к обмену данными; *DCD (Data Clear Detected)* – сигнал обнаружения несущей от ООД; *RI (Ring Indicator)* – индикатор вызова (звонка) от ООД

Электрический интерфейс. Стандарт *RS-232* использует несимметричные передатчики и приёмники – сигнал передаётся относительно общего провода – схемной земли. Интерфейс не обеспечивает гальванической развязки устройств. Логической единице соответствует напряжение на входе приёмника в диапазоне от -12 до -3 В. Логическому нулю соответствует диапазон от $+3$ до $+12$ В. Диапазон от -3 до $+3$ В – зона нечувствительности, обуславливающая гистерезис приёмника: состояние линии будет считаться изменённым только после пересечения порога (рис. 10.6). Уровни сигналов на выходах передатчиков должны быть в диапазонах от -12 до -5 В и от $+5$ до $+12$ В для схемными землями соединяемых устройств должна быть менее 2 В. При более высокой разности потенциалов возможно неверное восприятие сигналов.

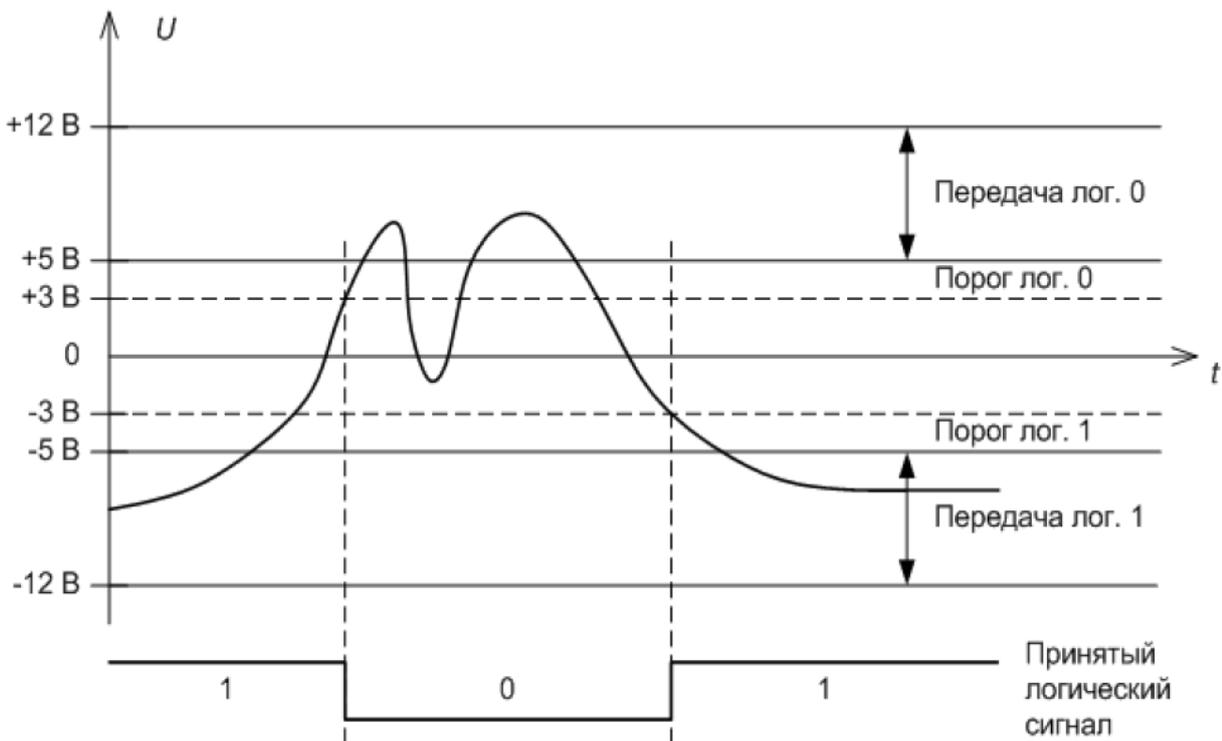


Рис. 10.6. Приём сигналов RS-232

Подключение и отключение интерфейсных кабелей устройств с автономным питанием должно производиться при отключенном питании. Иначе разность невыровненных потенциалов устройств в момент коммутации может оказаться приложенной к выходным или входным (что опаснее) цепям интерфейса и вывести из строя микросхемы.

Если аппаратура АПД соединяется без модемов, то разъёмы устройств (вилки) соединяются между собой нуль-модемным кабелем (*Zero-modem* или *Z-inodeni*), имеющим на обоих концах розетки, контакты которых соединяются перекрёстно по одной из схем, приведённых на рис. 10.7. Чаще всего в системах промышленной автоматизации используется минимальный нуль-модемный кабель (рис. 10.7, а), позволяющий реализовать двунаправленный асинхронный обмен. Остальные сигналы, служащие для управления потоком данных, диагностики состояний модема и передатчика не используются.

Если на каком-либо устройстве АПД установлена розетка - это почти стопроцентный признак того, что к другому устройству оно должно подключаться прямым кабелем, аналогичным кабелю подключения модема. Розетка устанавливается обычно на тех устройствах, у которых удалённое подключение через модем не предусмотрено.

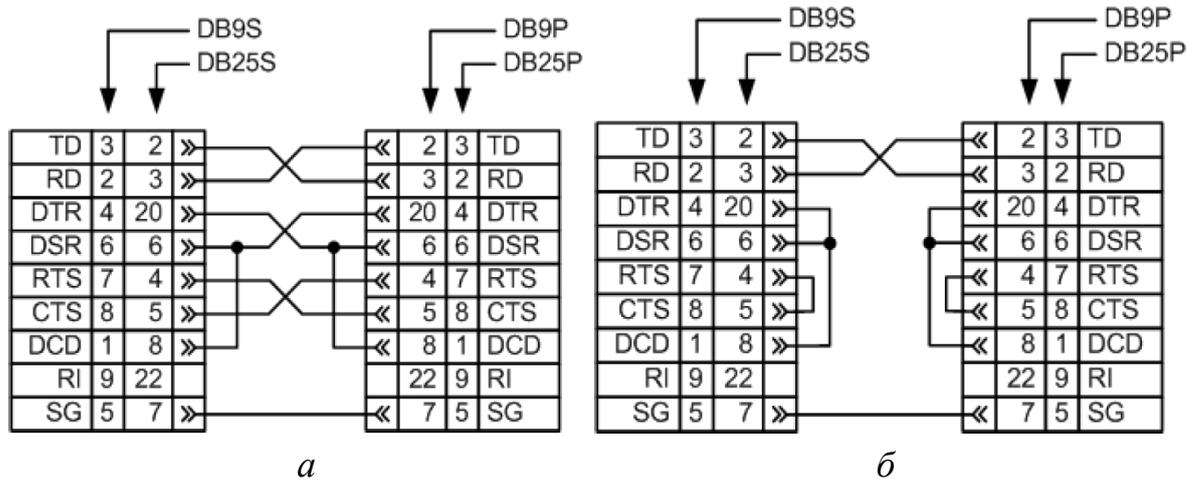


Рис. 10.7. Нуль-модемный кабель: *а* – минимальный; *б* – полный

Интерфейс *RS-232C* разработан как стандарт для соединения компьютеров и периферийных различных устройств, обмен с которыми осуществляется последовательным кодом. Компьютеры *IBM PC* поддерживают интерфейс *RS-232C* не в полной мере: разъем, обозначенный на корпусе компьютера как порт последовательной передачи данных, формирует некоторые из сигналов, входящих в интерфейс *RS-232C* и имеющих соответствующие этому стандарту уровни напряжения. В настоящее время порт последовательной передачи данных используется очень широко. Вот далеко не полный список применений:

- подключение мыши;
- подключение графопостроителей, сканеров, принтеров;
- прямое соединение двух компьютеров через порты последовательной передачи данных;
- подключение модемов для передачи данных по телефонным линиям;
- подключение к локальной сети персональных компьютеров.

Последовательная передача означает, что данные передаются по единственной линии. Для синхронизации группе битов данных обычно предшествует специальный стартовый бит, после группы битов следуют бит проверки на четность и один или два стоповых бита. Иногда бит проверки на четность может отсутствовать.

Использование определенного количества информационных битов, бита четности, стартовых и стоповых битов определяет формат передачи данных. Очевидно, что передатчик и приемник должны использовать один и тот же формат данных, иначе обмен не возможен.

При передаче данных на большие расстояния без использования специальной аппаратуры из-за помех возможно возникновение ошибок. Вследствие этого накладываются ограничения на длину соединительного кабеля между устройствами передачи и приема. Официальное ограничение по длине для соединительного кабеля по стандарту *RS-232C* составляет 15,24 метра. Однако на практике это расстояние может быть значительно больше. Оно непосредственно зависит от скорости передачи данных.

110 Бод – 1524 м / 914,4 м

300 Бод – 1524 м / 914,4 м

120 Бод – 914,4 м / 914,4 м

2400 Бод – 304,8 м / 152,4 м

4800 Бод – 304,8 м / 76,2 м

9600 Бод – 76,2 м / 76,2 м.

Первое значение – скорость передачи в Бодах, второе – максимальная длина для экранированного кабеля, третье – максимальная длина для неэкранированного кабеля.

10.3. Интерфейсы *RS-422A* и *RS-485* (*EIA/TIA-422A* и *EIA/TIA-485*)

Стандарт *RS-485* был совместно разработан двумя ассоциациями производителей: Ассоциацией электронной промышленности (*Electronic Industries Association, EIA*) и Ассоциацией промышленности средств связи (*Telecommunications Industry Association, TIA*). Многие инженеры продолжают использовать обозначение *RS*, однако ассоциация официально заменила «*RS*» на «*EIA/TIA*» с целью облегчить идентификацию происхождения своих стандартов.

Стандарты *RS-485* и *RS-422A* имеют много общего, и поэтому их часто путают. В табл. 10.1 приведены их основные характеристики. *RS-485* определяет двунаправленную полудуплексную передачу данных и является единственным стандартом *EIA/TIA*, допускающим объединение нескольких приёмников и передатчиков в единую сеть с помощью шины. *RS-422*, с другой стороны, определяет единственный однонаправленный передатчик с несколькими приёмниками. Элементы *RS-485* обратно совместимы и взаимозаменяемы со своими двойниками из *RS-422A*, однако передатчики *RS-422A* не должны использоваться в системах на основе *RS-485*, поскольку они не могут отказаться от управления шиной.

Основные характеристики интерфейсов *RS-422A* и *RS-485*

	<i>RS-422A</i>	<i>RS-485</i>
Max. число передатчиков/приёмников	1/10	32/32
Min. выходной диапазон передатчика	± 2 В	$\pm 1,5$ В
Max. выходной диапазон передатчика	± 5 В	± 5 В
Max. ток короткого замыкания передатчика	± 150 мА	± 250 мА
Max. выходное сопротивление передатчика	100 Ом	54 Ом
Чувствительность по входу приёмника	± 200 мВ	± 200 мВ
Min. входное сопротивление приёмника	4 кОм	12 кОм
Диапазон напряжений входного сигнала приёмника	± 7 В	от -7 до -12 В
Уровень логической единицы приёмника	$>+200$ мВ	$>+200$ мВ
Уровень логического нуля приёмника	<-200 мВ	<-200 мВ

Разное количество приёмников, подключаемых по интерфейсам *RS-422A* и *RS-485*, объясняется более жёсткими требованиями к минимальному входному сопротивлению приёмника со стороны *RS-485* и одновременно большей мощностью передатчика. Допустимая нагрузка передатчика *RS-485/RS-422A* количественно определяется в терминах единичной нагрузки, которая, в свою очередь, определяется как входной импеданс одного стандартного приёмника (для *RS-485* – 12 кОм). Таким образом, стандартный передатчик *RS-485* может управлять 32 единичными нагрузками (32 параллельных 12-килоомных нагрузки). Однако для некоторых приёмников *RS-485* входное сопротивление является более высоким – 48 кОм (1/4 единичной нагрузки) или даже 96 кОм (1/8 единичной нагрузки) – и, соответственно, к одной сигнальной линии могут быть подключены сразу 128 или 256 таких приёмников. В общем случае можно подключить любую комбинацию типов приёмников, если их параллельный импеданс не превышает 32 единичных нагрузки (т.е. общее сопротивление параллельно включенных приёмников не меньше 375 Ом).

Для передачи информации оба интерфейса используют принцип дифференциальной (балансной) передачи данных. Суть его заключается в передаче одного сигнала по двум проводам (рис. 10.8). Причём по одному проводу (условно *A*) идет оригинальный сигнал, а по другому (условно *B*) – его инверсная копия. Другими словами, если на одном проводе «1», то на другом «0» и наоборот. Таким образом, между двумя проводами витой

пары всегда есть разность потенциалов: при «1» она положительна, при «0» – отрицательна.

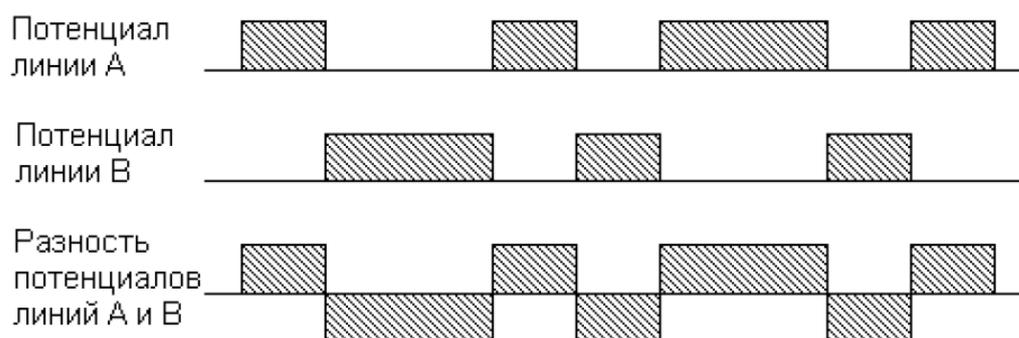


Рис. 10.8. Дифференциальный метод передачи данных

Именно этой разностью потенциалов и передаётся сигнал. Такой способ передачи обеспечивает высокую устойчивость к синфазной помехе. К примеру, электромагнитная волна, проходя через участок линии связи, наводит в обоих проводах потенциал. Если сигнал передаётся потенциалом в одном проводе относительно общего провода, как в *RS-232*, то наводка на этот провод может исказить сигнал относительно хорошо поглощающей наводки схемной земли. А при дифференциальной передаче искажения не происходит. В самом деле, если два провода пролегают близко друг к другу, да ещё перевиты, то наводка на оба провода одинакова. Потенциал в обоих равномерно нагруженных проводах изменяется одинаково, при этом информативная разность потенциалов остается без изменений.

Приёмник, получая на дифференциальных входах (АВ) разность потенциалов (U_{AB}) переводит их в цифровой сигнал на выходе. Когда $U_{AB} > +200$ мВ – приёмник определяет «1», когда $U_{AB} < -200$ мВ – приёмник определяет «0». Если разня – правильное распознавание сигнала не гарантируется. Кроме того, в линии могут быть и не синфазные помехи, которые исказят столь слабый сигнал.

Как уже говорилось, стандарт *RS-422A* разрешает подключение к одной паре проводников одного передатчика и до десяти приёмников (рис. 10.9). При этом реализуется симплексный режим передачи информации.

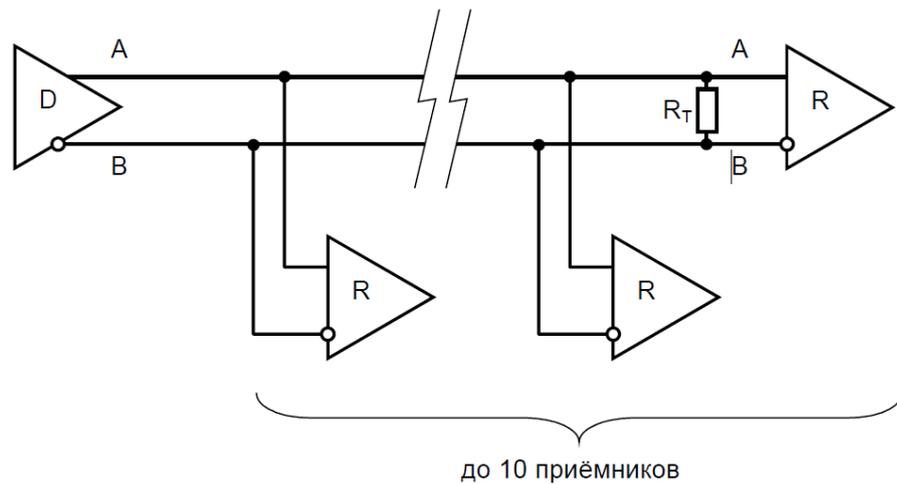


Рис. 10.9. Двухпроводное соединение устройств с помощью интерфейса *RS-422A*

Для реализации двунаправленного обмена (дуплексный режим) используются устройства, объединяющие в себе приёмник и передатчик (рис. 10.10) и четырёхпроводная схема подключения (рис. 10.11). Приём и передача идут по двум отдельным парам проводов. При подобном подключении с помощью *RS-422A* возможно реализовать соединение «точка – точка». Терминальные сопротивления $R_T = 100$ Ом устанавливаются на конце сигнальной линии на стороне приёмника.

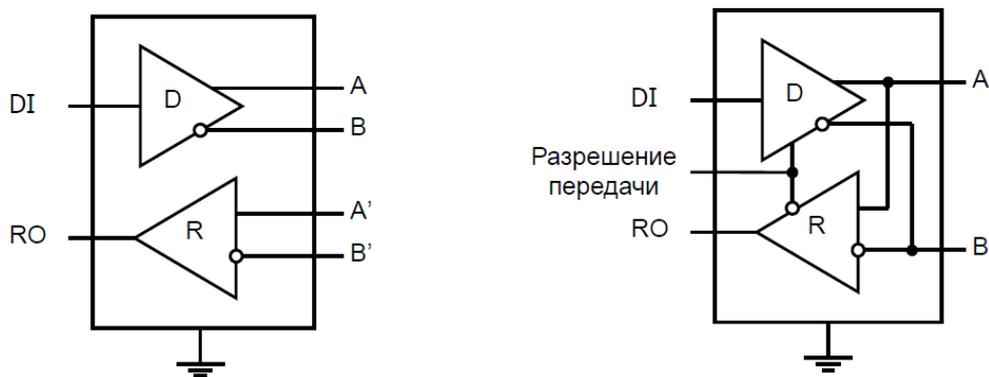


Рис. 10.10. Сигналы приёмопередатчиков *RS-422A* и *RS-485*: *D (Driver)* – передатчик; *R (Receiver)* – приёмник; *DI (Driver Input)* – цифровой вход передатчика; *RO (Receiver Output)* – цифровой выход приёмника; *A, A'* – прямой дифференциальный вход/выход; *B, B'* – инверсный дифференциальный вход/выход

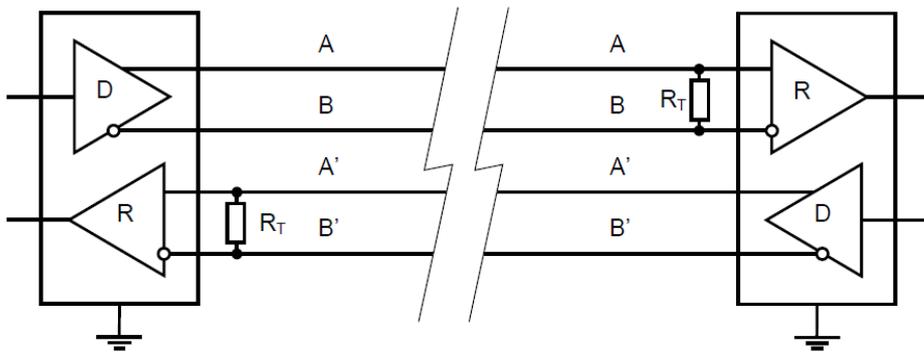


Рис. 10.11. Четырёхпроводное соединение устройств с помощью интерфейса *RS-422A*

RS-485 – полудуплексный интерфейс. Приём и передача идут по одной паре проводов с разделением по времени. В сети может быть много передатчиков, так как они «умеют» отключаться в режиме приёма (рис. 10.12). Все устройства подключаются к одной витой паре одинаково: прямые выходы (*A*) к одному проводу, инверсные (*B*) – к другому. На обоих концах витой пары устанавливаются терминаторы – $R_T = 100 \text{ Ом}$.

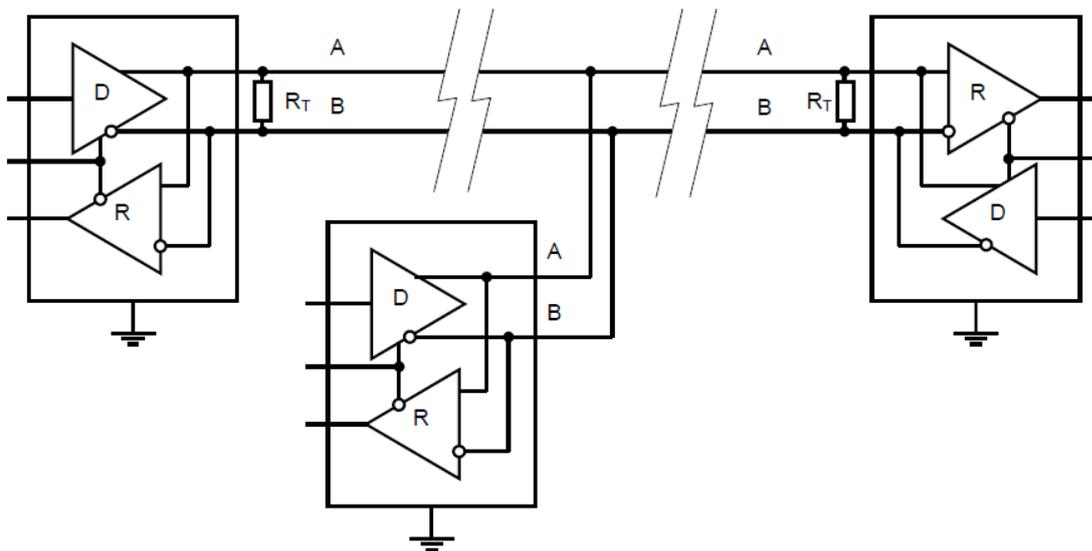


Рис. 10.12. Двухпроводное соединение нескольких устройств с помощью интерфейса *RS-485*

Интерфейс *RS-485* может использоваться в четырёхпроводном режиме для организации шины с централизованным арбитражем (рис. 10.13). В этом случае только один ведущий узел (*Master*) имеет право инициировать обмен данными, а все остальные ведомые узлы (*Slave*) только отвечают на его запросы. Приёмники всех ведомых узлов подключаются к передатчику ведущего узла, а передатчики всех ведомых – к приёмнику ведущего.

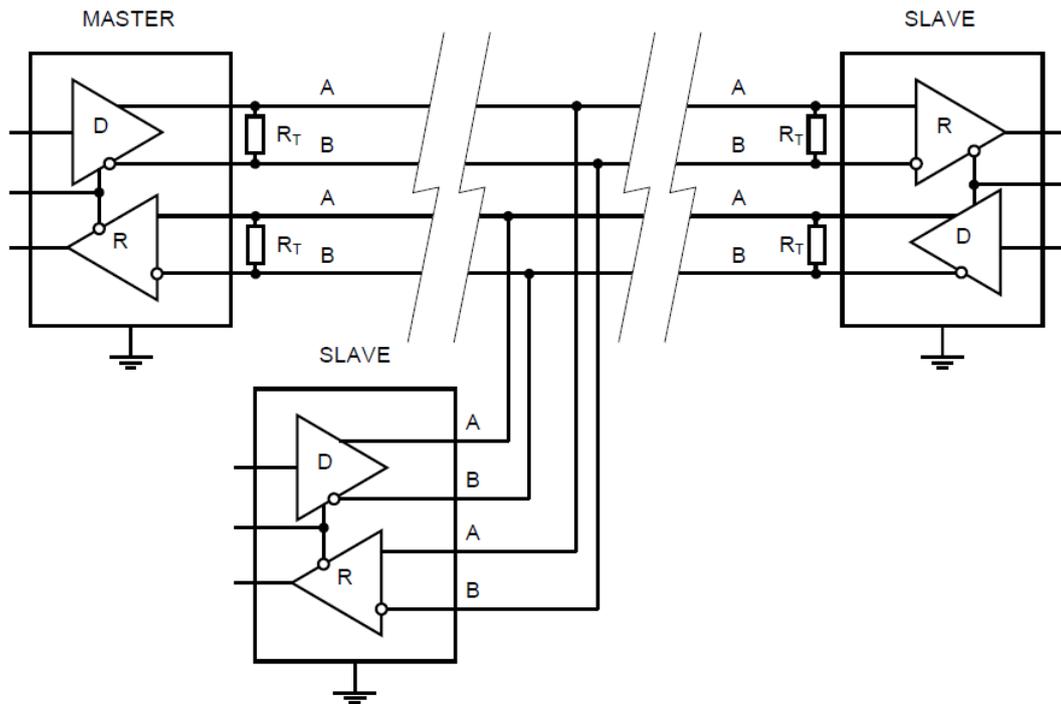


Рис. 10.13. Четырёхпроводное соединение нескольких устройств с помощью интерфейса *RS-485*

Специальный тип разъёмов для *RS-422A/RS-485* не определён.

10.4. Интерфейс «токовая петля»

Распространённым вариантом последовательного интерфейса является «токовая петля». В ней электрическим сигналом является не уровень напряжения относительно общего провода, а ток в двухпроводной линии, соединяющей приёмник и передатчик. Логической единице (состоянию «включено») соответствует протекание тока 20 мА, а логическому нулю – отсутствие тока. Такое представление сигналов для описанного формата асинхронной посылки позволяет обнаружить обрыв линии: приёмник заметит отсутствие стоп-бита (обрыв линии действует как постоянный логический нуль). Скорость передачи – 19200 Кбит/с.

«Токовая петля» обычно предполагает гальваническую развязку входных цепей приёмника от схемы устройства. При этом источником тока в петле является передатчик (этот вариант называют активным передатчиком). Возможно и питание от приёмника (активный приёмник), при этом выходной ключ передатчика может быть также гальванически развязан с остальной схемой передатчика. Существуют упрощенные варианты без гальванической развязки, но это уже вырожденный случай интерфейса.

«Токовая петля» с гальванической развязкой позволяет передавать сигналы на расстояния до нескольких километров. Расстояние определяется сопротивлением пары проводов и уровнем помех.

В табл. 10.2 приводятся сравнительные характеристики рассмотренных физических интерфейсов.

Таблица 10.2

Сравнительные характеристики стандартных физических интерфейсов

Характеристика	<i>RS-232C</i>	<i>RS-422</i>	<i>RS-485</i>	Токовая петля
<i>Max.</i> число передатчиков/приёмников на линии	1/1	1/10	32/32	1/1
<i>Max.</i> длина линии	15 м	1220 м	1220 м	6400 м
<i>Max.</i> скорость передачи	115200 Кбит/с	12 м – 10 Мбит/с 1200 м – 100 Кбит/с		19200 Кбит/с

Контрольные вопросы

1. Назовите обязательные поля кадра асинхронной передачи.
2. Можно ли по временной диаграмме изменения сигнала в линии передачи определить частоту асинхронной передачи?
3. Какие последовательные электрические интерфейсы обладают наибольшей помехоустойчивостью?
4. Зависит ли скорость обмена информацией от длины линии связи?
5. В чем отличие между симметричным и несимметричным интерфейсами?
6. Какую скорость связи обеспечивает контроллер коммуникационного порта типа *UART*?
7. Назовите диапазон изменения потенциала в электрическом интерфейсе *RS-232C*.
8. Назовите области применения последовательного коммуникационного интерфейса *RS-232C*.
9. Какой интерфейс поддерживает самую большую длину линии связи?
10. Какие характеристики интерфейса зависят от длины линии связи?
11. Поясните дифференциальный метод передачи данных в интерфейсе *RS-485/RS-422A*.
12. Чем определяется максимальное количество приёмопередатчиков, объединяемых последовательным интерфейсом?
13. Сколько приёмников можно подключить к передатчику *RS-422*?
14. Сколько приёмопередатчиков можно объединить с помощью интерфейса *RS-232*, *RS-422*, *RS-485*, а также интерфейс «токовая петля»?

Глава 11. ОБОРУДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Основой любой компьютерной сети является среда для передачи данных, чаще всего это электрический кабель. Существует целая технология по разводке кабеля внутри здания или группы зданий. Крупные телефонные компании (такие, как *AT&T*) предлагают продукт, который так и называется – структурированная кабельная система (СКС). В это понятие помимо собственно конструктивных элементов входит также инженерная проработка проекта, в том числе настройка архитектуры сети на особенности здания и организации, которая будет ее использовать. Для тщательно спроектированной и построенной структурированной сети гарантируется, что в течение длительного периода (до 15 лет) даже появление новых технологий не потребует серьезных дорогостоящих изменений в кабельной системе.

11.1. Сетевые адаптеры

Сетевые адаптеры выступают в качестве физического интерфейса, или соединения, между компьютером и сетевым кабелем. Платы сетевых адаптеров вставляются в слоты расширения всех сетевых компьютеров и серверов. Чтобы обеспечить физическое соединение между компьютером и сетью, к соответствующему разъему, или порту, платы (после ее установки) подключается сетевой кабель.

При помощи сетевого адаптера осуществляется:

- преобразование данных, поступающих от компьютера, для их передачи по сетевому кабелю и обратное преобразование;
- передача данных другому компьютеру;
- управление потоком данных между компьютером и кабельной системой.

Плата сетевого адаптера состоит из аппаратной части и встроенных программ, записанных в ПЗУ. Эти программы реализуют функции подуровней управления логическим звеном (*LLC*) и управления доступом к среде (*MAC*) канального уровня модели *OSI*.

Плата сетевого адаптера принимает параллельные данные по внутренней шине компьютера и организует их для последовательной (*serial*), побитовой, передачи в сеть. Этот процесс завершается переводом цифровых данных компьютера в электрические и оптические сигналы, которые и передаются по сетевым кабелям. Осуществляет это преобразование приемопередатчик, или трансивер.

Помимо преобразования данных, плата сетевого адаптера должна указать свое местонахождение, или адрес, чтобы ее могли отличить от остальных плат. Сетевые адреса или *MAC*-адреса определены комитетом *DEEE*. Этот комитет закрепляет за каждым производителем плат сетевого адаптера некоторый интервал адресов. Производители «зашивают» эти адреса в микросхемы, благодаря чему каждая плата и, следовательно, каждый компьютер имеют уникальный адрес в сети.

При приеме данных от компьютера и подготовке их к передаче по сетевому кабелю плата сетевого адаптера участвует также в других операциях:

- компьютер и плата сетевого адаптера должны быть связаны друг с другом, осуществлять передачу данных (от компьютера к плате): если плата может использовать прямой доступ к памяти, компьютер выделяет ей некоторую область своей памяти;
- плата сетевого адаптера запрашивает у компьютера данные;
- шина компьютера передает данные из его памяти плате сетевого адаптера.

Часто данные поступают быстрее, чем их способна передать плата сетевого адаптера.

Перед тем как послать данные по сети, плата сетевого адаптера проводит электронный диалог с принимающей платой, во время которого они «обговаривают»:

- максимальный размер блока передаваемых данных;
- объем данных, передаваемых без подтверждения о получении;
- интервалы между передачами блоков данных;
- интервал, в течение которого необходимо послать подтверждение;
- объем данных, который может принять каждая плата, не переполняясь;
- скорость передачи данных.

Если новой (более сложной и быстрой) плате необходимо взаимодействовать со старой (медленной) платой, они должны найти общую для обеих скорость передачи. Схемы некоторых современных плат сетевого адаптера позволяют им приспособиться к медленной скорости старых плат. Каждая плата оповещает другую о своих параметрах, принимая «чужие» параметры и подстраиваясь к ним. После того как все детали определены, платы начинают обмен данными.

Параметры платы сетевого адаптера должны быть корректно установлены, чтобы ее работа протекала правильно. В их число входят:

- прерывание (*IRQ*);
- базовый адрес порта ввода/вывода;
- базовый адрес памяти;
- используемый трансивер.

Линии запроса прерывания – это физические линии, по которым различные устройства (например, порты ввода/вывода, клавиатура, драйверы дисков и платы сетевого адаптера) могут послать микропроцессору компьютера запросы на обслуживание или на прерывание. Линии запроса прерывания встроены в аппаратуру компьютера и имеют различные уровни приоритетов, что позволяет процессору определить наиболее срочный из запросов.

Базовый адрес памяти (*base address*) указывает на ту область памяти компьютера, которая используется платой сетевого адаптера в качестве буфера для входящих и исходящих кадров данных. Этот адрес иногда называют начальным адресом. Часто базовым адресом памяти у платы сетевого адаптера является *D8000* (для некоторых плат последний нуль не указывается: вместо *D8000* пишется *D800*). Необходимо выбирать базовый адрес памяти, не занятый другим устройством.

У плат сетевого адаптера, не использующих оперативную память, параметр «базовый адрес памяти» отсутствует.

Для обеспечения совместимости компьютера и сети плата сетевого адаптера должна отвечать следующим требованиям:

- соответствовать внутренней структуре компьютера (архитектуре шины данных);
- иметь соединитель (он должен подходить к типу кабельной системы) для подключения сетевого кабеля.

К распространенным типам архитектуры шины данных относятся *ISA*, *EISA*, *MCA-Channel* и *PCI*. Каждая из них физически отличается от остальных. Плата сетевого адаптера должна соответствовать шине.

Координируя взаимодействие сетевого кабеля и компьютера, плата сетевого адаптера выполняет три важные функции:

- организует физическое соединение с кабелем;
- генерирует электрические сигналы, передаваемые по кабелю;
- следует определенным правилам, регламентирующим доступ к сетевому кабелю.

Выбор платы сетевого адаптера определяется типом кабеля и разъемов, используемых в локальной сети. Каждый тип кабеля имеет различные физические характеристики, которым должна соответствовать плата. Сетевые адаптеры отличаются типом подключения (двойное или

одиночное) и поддерживаемой средой передачи данных (оптоволокно или неэкранированная витая пара категории 5, тонкий или толстый коаксиальный кабель, витая пара или коаксиальный кабель).

Если у платы сетевого адаптера более одного интерфейсного разъема, выбор каждого из них осуществляют с помощью перемычек или *DIP*-переключателей, расположенных на самой плате, либо программно. Ниже приведены три примера типовых соединителей, которые можно найти на плате сетевого адаптера:

- для подключения тонкого коаксиального кабеля используют разъем для *BNC*-коннектора;
- для подключения толстого коаксиального кабеля применяют 15-контактный *AUI*-кабель, соединяющий 15-контактный (*DB-15*) разъем платы сетевого адаптера с внешним трансивером;
- для подключения витой пары применяют разъем *RJ-45*.

Поскольку плата сетевого адаптера оказывает существенное влияние на передачу данных, естественно, она влияет и на производительность всей сети. Если плата медленная, то и скорость передачи данных по сети не будет высокой. В сети с топологией «шина», где нельзя начать передачу, пока кабель занят, медленная сетевая плата увеличивает время ожидания для всех пользователей.

После определения физических требований к плате сетевого адаптера (выбор разъема и типа сети, в которой она будет использоваться) необходимо рассмотреть ряд факторов, влияющих на возможности платы.

Хотя все платы сетевого адаптера удовлетворяют определенным минимальным стандартам и спецификациям, некоторые из плат имеют дополнительные возможности, повышающие производительность сервера, клиента и всей сети.

К факторам, от которых зависит скорость передачи данных, относятся следующие:

- Прямой доступ к памяти. Данные напрямую передаются из буфера платы сетевого адаптера в память компьютера, не затрагивая при этом центральный процессор.
- Разделяемая память адаптера. Плата сетевого адаптера имеет собственную оперативную память, которую можно использовать совместно с компьютером. Компьютер воспринимает эту память как свою собственную.
- Разделяемая системная память. Процессор платы сетевого адаптера использует для обработки данных память компьютера.
- Управление шиной. К плате сетевого адаптера временно переходит управление шиной компьютера, минуя центральный процессор,

плата передает данные непосредственно в системную память компьютера. При этом повышается производительность компьютера, так как его процессор в это время может решать другие задачи. Подобные платы дороги, но с их помощью можно повысить производительность сети на 20–70 %. Архитектуры *EISA*, *MCA* и *PCI* поддерживают этот метод управления.

- **Буферизация.** Для большинства плат сетевого адаптера современные скорости передачи данных не слишком высоки. Поэтому на плате сетевого адаптера устанавливают буфер (с помощью микросхем памяти). В случае, когда плата принимает данных больше, чем способна обработать, буфер сохраняет их до тех пор, пока они не будут обработаны адаптером. Буфер повышает производительность платы, обеспечивая высокую скорость.

- **Встроенный микропроцессор.** С таким микропроцессором плате сетевого адаптера для обработки данных не требуется помощь компьютера. Большинство сетевых плат имеет свои микропроцессоры, которые увеличивают скорость сетевых операций.

С серверами связана значительная часть сетевого трафика, поэтому их необходимо оборудовать платами сетевого адаптера с наибольшей производительностью. Рабочие станции могут использовать менее дорогие сетевые платы, если их работа с сетью ограничена приложениями, генерирующими небольшой объем сетевого трафика (например, текстовыми процессорами). Другие приложения (например, базы данных или инженерные приложения) довольно быстро перегружают сетевые платы, не отвечающие их требованиям.

Бывают ситуации, когда безопасность данных настолько важна, что рабочие станции не оборудуются жесткими и гибкими дисками. Это гарантирует, что пользователи не смогут ни скопировать данные на какой-либо магнитный носитель, ни вынести диск с рабочего места.

Однако (поскольку обычно компьютер загружается с дискеты или с жесткого диска) необходимо иметь другой источник загрузки программного обеспечения, загружающего компьютер и подключающего его к сети. В таких ситуациях плата сетевого адаптера снабжается специальной микросхемой ПЗУ удаленной загрузки (*PROM – remote-boot*, которая содержит код для загрузки компьютера и для подключения его к сети и зависит от сетевой операционной системы). С такой микросхемой бездисковые рабочие станции при запуске могут подключаться к сети.

Большая часть производителей коммуникационного оборудования для локальных сетей поддерживают все современные технологии во всем спектре своих изделий: сетевых адаптерах, повторителях, коммутаторах и маршрутизаторах.

11.2. Концентраторы

Согласно классификационной базовой эталонной модели взаимодействия открытых систем сетевые (кабельные) концентраторы (*Hub*) относятся к аппаратным средствам физического уровня передачи информации. Их основное назначение – коммутация линий связи, фильтрация, ретрансляция и усиление передаваемых сигналов в локальных сетях. Концентраторы, реализующие различные сетевые технологии, работают с разными видами носителей: коаксиальными кабелями, кабелями с экранированной и неэкранированной витой парой, волоконно-оптическими линиями связи.

Использование кабельных концентраторов позволяет увеличить количество абонентов сети и расстояние между ними. В некоторых системах (*Token Ring*) через концентраторы осуществляется доступ компьютеров к сети, в других их используют для изменения топологии сети и линий связи (*10Base-T Ethernet*).

Среди концентраторов выделяют **активные** (*active*), **пассивные** (*passive*) и **гибридные** (*hybrid*). Активные концентраторы регенерируют и передают сигналы так же, как это делают повторители сигналов, или репитеры. Иногда их называют многопортовыми репитерами – они имеют от 8 до 12 портов для подключения компьютеров. Пассивные концентраторы (например, монтажные панели или коммутирующие блоки) пропускают через себя сигнал как узлы коммутации, не усиливая и не восстанавливая его. Пассивные концентраторы не нужно подключать к источнику питания. Гибридными называют концентраторы, к которым можно подключать кабели различных типов. Сети, построенные на концентраторах, легко расширить, если подключить дополнительные концентраторы.

Использование концентраторов дает ряд преимуществ:

- разрыв кабеля в сети с обычной топологией «линейная шина» приводит к «падению» всей сети, в то время как разрыв кабеля, подключенного к концентратору, нарушает работу только данного сегмента; остальные сегменты останутся работоспособными;
- простота изменения или расширения сети: достаточно просто подключить еще один компьютер или концентратор;
- использование различных портов для подключения кабелей разных типов;
- централизованный контроль за работой сети и сетевым трафиком – во многих сетях активные концентраторы наделены диагностическими возможностями, позволяющими определять работоспособность соединения.

Конструктивно можно выделить два типа концентраторов:

- **модульные устройства**, выполненные в виде приборного блока, в посадочные места которого включают от 4 до 16 плат различного функционального назначения;
- **функционально законченные автономные** устройства, предназначенные, как правило, для работы с одним типом сети и конкретным видом линий связи.

В состав модульных концентраторов могут входить специализированные платы, поддерживающие широкий спектр сетевых функций (маршрутизаторы, мосты, терминальные серверы, преобразователи протоколов), и узлы резервирующие выполнение функций всех уровней, включая источники питания и охлаждающие вентиляторы. Замена одного типа модуля на другой или отказавшего устройства на резервное обычно проводится без выключения концентратора.

Среди относительно недорогих автономных концентраторов существует отдельный класс изделий – наращиваемые концентраторы. Автономные концентраторы рассчитаны на включение в сеть ПК с использованием какого-либо одного типа кабеля – витой пары, волоконно-оптического и др. Объединение нескольких наращиваемых концентраторов (обычно до 4), осуществляемое с помощью разъемов в корпусе устройства и простых кабельных соединений, позволяет создать сетевое устройство с единой системой управления портами, поддерживающее передачу информации по линиям связи различного типа. Интеграция функциональных возможностей концентратора дает дополнительные преимущества. Например, путем установки модуля в одном из них можно управлять всеми портами, изменять конфигурацию сети и предоставлять информацию, связанную со статистикой ее работы и состоянием устройств.

Применение наращиваемых концентраторов является экономичным решением, позволяющим создавать сети небольших организаций, подразделений и рабочих групп. При относительно невысоких начальных затратах обеспечивается гибкость, постепенное увеличение функциональных возможностей и интеграция отдельных сетевых фрагментов в единую сеть масштаба предприятия.

Модульные многофункциональные устройства называют концентраторами, чтобы подчеркнуть их централизующую роль в сети. При этом термин «концентратор» используют не как синоним термина повторитель, а в более широком смысле. Нужно хорошо понимать в каждом конкретном случае функциональное назначение отдельных

модулей такого концентратора. В зависимости от комплектации модульный многофункциональный концентратор может сочетать функции и повторителя (причем различных технологий), и моста, и коммутатора, и маршрутизатора, а может выполнять и только одну из них.

Модульные концентраторы устанавливаются в высокоскоростных локальных сетях с централизованным управлением. Кабельные концентраторы различных изготовителей могут сильно отличаться. Разработчики создают все более модульные и расширяемые системы, постоянно совершенствуя свою продукцию и оставляя задел для будущего роста. Перечислим некоторые возможности концентраторов:

- дополнительные источники питания: в некоторых модулях предусмотрены резервные источники питания, подключаемые при сбое в основном питании;
- оперативно заменяемые модули: это средство позволяет заменить модуль, не прекращая работы всего блока;
- управление: средства управления обычно имеют возможность удаленного управления и поддержку *SNMP*;
- простая настройка конфигурации: когда рабочие станции или пользователи перемещаются из одной рабочей группы в другую, концентратор должен обеспечивать простое изменение конфигурации. Некоторые системы позволяют делать это программно.

11.3. Сегментация сети

По мере расширения сети доступная пользователю полоса (средняя скорость передачи) сужается за счет того, что моноканал делится между всеми узлами сети. Для полной реализации возможностей программ, оборудования, повышения производительности компьютеров, использующих приложения с интенсивным сетевым трафиком, необходимо расширение полосы пропускания канала.

Существует два способа расширения полосы, доступной каждому пользователю. Первый базируется на расширении полосы разделяемой среды, обеспечивая рост скорости, например технология *Fast Ethernet*. Другим способом является снижение числа узлов сети, имеющих доступ к разделяемой среде, и следовательно, расширение доступной оставшимся узлам полосы. В предельном случае вся полоса канала передачи может быть предоставлена одному пользователю.

Процесс снижения числа узлов в сети называется **сегментацией** и осуществляется за счет деления большой сети на несколько меньших.

Поскольку пользователям может потребоваться доступ к ресурсам других сегментов, то необходим механизм обеспечения такого доступа, обеспечивающий межсегментный обмен с достаточно высокой скоростью.

Как известно, основной задачей повторителя является восстановление электрических сигналов для передачи их в другие сегменты. За счет усиления и восстановления формы электрических сигналов повторителем возможно расширение сетей, построенных на основе коаксиального кабеля и увеличение общего числа пользователей сети.

11.4. Мосты

Мосты (*bridge*) имеют много отличий от повторителей. Повторители передают все пакеты, а мосты только те, которые необходимы. Если пакет не нужно передавать в другой сегмент, он фильтруется. Для мостов существуют многочисленные алгоритмы (правила) передачи и фильтрации пакетов. Минимальным требованием является фильтрация пакетов по *MAC*-адресу получателя.

Другим важным отличием мостов от повторителей является то, что сегменты, подключенные к повторителю, образуют одну разделяемую среду, а сегменты, подключенные к каждому порту моста, образуют свою среду. Следовательно, мост обеспечивает преимущества как с точки зрения расширения сети, так и обеспечения большей полосы для каждого пользователя.

В первых сетях *Ethernet* использовалась шинная топология на основе коаксиального кабеля, а для расширения сетей применялись 2-портовые повторители или мосты. Технология *10Base-T* привела к трансформации топологии сетей от шинной магистрали к организации соединений типа «звезда». Требования к повторителям и мостам для таких сетей существенно изменились по сравнению с простыми двухпортовыми устройствами для сетей с шинной топологией. Современные мосты и повторители представляют собой сложные многопортовые устройства. Мосты позволяют сегментировать сети на меньшие части, в которых общую среду разделяет небольшое число пользователей.

Маршрутизаторы, подобно мостам, также позволяют сегментировать сети на сетевом уровне, фильтруя и пересылая сетевой трафик на основе алгоритмов и правил, существенно отличающихся от тех, что используются мостами.

Сегодняшние модульные концентраторы (повторители) обеспечивают организацию нескольких сегментов, каждый из которых

предоставляет пользователям отдельную разделяемую среду. Некоторые концентраторы разрешают программным путем разделять порты устройства на независимые сегменты, реализуя тем самым функции моста. Такая возможность называется переключением портов. Переключение портов обеспечивает администратору сети высокую гибкость организации сегментов, позволяя переносить порты из одного сегмента в другой программными средствами. Эта возможность особенно полезна для распределения нагрузки между сегментами сети и снижения расходов, связанных с подобными операциями.

11.5. Коммутаторы

Коммутатор (*Switch*) подобно мостам и маршрутизаторам позволяет сегментировать сети. Как и многопортовые мосты, коммутаторы передают пакеты между портами на основе *MAC*-адреса получателя, включенного в каждый пакет. Реализация коммутаторов обычно отличается от мостов в части возможности организации одновременных соединений между любыми парами портов устройства, что значительно расширяет суммарную пропускную способность сети. Более того, мосты в соответствии со стандартом *IEEE 802.1d* должны получить пакет целиком до того, как он будет передан адресату, а коммутаторы могут начать передачу пакета, не приняв его полностью.

Коммутатор поддерживает внутреннюю таблицу, связывающую порты с адресами подключенных к ним устройств (табл. 11.1). Эту таблицу администратор сети может создать самостоятельно или задать ее автоматическое создание средствами коммутатора. Используя табл. 11.1 и содержащийся в пакете адрес получателя, коммутатор организует виртуальное соединение порта отправителя с портом получателя и передает пакет через это соединение. Например, узел *A* посылает пакет узлу *D*. Найдя адрес получателя в своей внутренней таблице, коммутатор передает пакет в порт 4.

Виртуальное соединение между портами коммутатора сохраняется в течение передачи одного пакета, т.е. для каждого пакета виртуальное соединение организуется заново на основе содержащегося в этом пакете адреса получателя. Поскольку пакет передается только в тот порт, к которому подключен адресат, остальные пользователи (в нашем примере – *B* и *C*) не получают этот пакет. Таким образом, коммутаторы обеспечивают средства безопасности, недоступные для стандартных повторителей и концентраторов.

В коммутаторах передача данных между любыми парами портов происходит независимо, и следовательно, для каждого виртуального соединения выделяется вся полоса канала. Например, коммутатор 10 Мбит/с обеспечивает одновременную передачу пакета из *A* в *D* и из порта *B* в порт *C* с полосой 10 Мбит/с для каждого соединения. Поскольку для каждого соединения предоставляется полоса 10 Мбит/с, суммарная пропускная способность коммутатора в приведенном примере составляет 20 Мбит/с. Если данные передаются между большим числом пар портов, интегральная полоса соответственно расширяется. Теоретически интегральная полоса коммутатора растет пропорционально числу портов. Однако в реальности скорость пересылки пакетов, измеренная в Мбит/с, меньше, чем суммарная полоса пар портов за счет так называемой внутренней блокировки. Для коммутаторов высокого класса блокировка весьма незначительно снижает интегральную полосу устройства.

Коммутатор может обеспечить высокую пропускную способность при условии организации одновременных соединений между всеми парами портов. Однако реально трафик обычно представляет собой ситуацию «один ко многим» (например, множество пользователей сети обращается к ресурсам одного сервера). В таких случаях коммутатор не обеспечивает существенного преимущества по сравнению с обычным концентратором (повторителем).

Таблица 11.1

Внутренняя таблица коммутатора

<i>MAC</i> -адрес	Номер порта
<i>A</i>	1
<i>B</i>	2
<i>C</i>	3
<i>D</i>	4

В зависимости от назначения все коммутаторы целесообразно разделить на три класса:

- настольные коммутаторы;
- коммутаторы рабочих групп;
- магистральные коммутаторы.

Настольные коммутаторы предназначены для работы с небольшим числом пользователей и могут служить для замены концентраторов 10Base-T. Обычно настольные коммутаторы имеют 24 порта, каждый из

которых поддерживает персональный (*private*) канал с полосой 10 Мбит/с для подключения одного узла (например, рабочей станции). Дополнительно такой коммутатор может иметь один или несколько портов *10Base-T* или *FDDI* для подключения к магистрали (*backbone*) или серверу. Поддерживая на каждый порт по крайней мере то число адресов, которые могут присутствовать в сегменте, коммутатор обеспечивает для каждого порта выделенную полосу. Каждый порт коммутатора связан с уникальным адресом подключенного к данному порту устройства *Ethernet*.

Объединяя в себе возможности технологий 10 и 100 Мбит/с, настольные коммутаторы минимизируют блокировку при попытке одновременного подключения нескольких узлов к единственному скоростному порту (100 Мбит/с). В среде «клиент – сервер» одновременно несколько узлов могут получить доступ к серверу, подключенному через порт 100 Мбит/с. Например, если три узла 10 Мбит/с одновременно обращаются к серверу через порт 100 Мбит/с, то из полосы 100 Мбит/с, доступно и серверу, используется 30 Мбит/с, а 70 Мбит/с доступно для одновременного подключения к серверу еще семи устройств 10 Мбит/с через виртуальные каналы.

Настольные коммутаторы просты в установке и обслуживании, зачастую содержат встроенные *plug-and-play* программы и имеют упрощенный интерфейс установки параметров. Стоимость в пересчете на один порт менее чем вдвое превосходит стоимость порта в концентраторах *10Base-T*.

Коммутаторы **рабочих групп** используют главным образом для соединения изолированных настольных коммутаторов или концентраторов *10Base-T* с другими частями сети. Эти устройства объединяют в себе свойства как настольных, так и магистральных коммутаторов.

Коммутаторы рабочих групп могут поддерживать множественную адресацию (до нескольких тысяч *MAC*-адресов на коммутатор), могут выступать в качестве маршрутизаторов, а также обеспечивают подключение к порту отдельных узлов.

Соединение со скоростью 10 Мбит/с между коммутатором и пользовательским узлом (рабочей станцией) чаще всего выполняется кабелем на основе *UTP*, а для скоростного порта используют *UTP* или оптический кабель. Групповые коммутаторы могут поддерживать несколько тысяч *MAC*-адресов на устройство.

Основным преимуществом коммутаторов рабочих групп является высокая производительность сети на уровне рабочей группы за счет предоставления каждому пользователю выделенной полосы канала

(10 Мбит/с). Кроме того, это объясняется тем, что коммутаторы рабочих групп не передают коллизийные фрагменты адресатам и, следовательно, снижают (в пределе до нуля) количество коллизий. Коммутаторы рабочих групп позволяют полностью сохранить сетевую инфраструктуру со стороны клиентов, включая программы, сетевые адаптеры, кабели. Их стоимость в расчете на один порт сегодня сравнима с ценами портов управляемых концентраторов.

Магистральный коммутатор обеспечивает одновременную передачу пакетов со скоростью среды между любыми парами своих портов. Если скорости портов для отправителя и получателя совпадают, сегмент получателя должен быть свободен во избежание блокировки.

Магистральные коммутаторы находятся на вершине иерархии коммутаторов. Их используют для соединения сетей или сегментов, так как они поддерживают множественную адресацию для своих портов, а также для соединения концентраторов *10Base-T*, настольных и групповых коммутаторов, серверов. Кроме того, магистральные коммутаторы могут фильтровать пакеты на основе признаков, отличающихся от адресов. Например, администратор может запретить передачу широкоэмительных пакетов *NetWare* рабочим станциям *Unix* за счет фильтрации по протоколу.

Для магистральных коммутаторов характерно модульное устройство и способность поддерживать до нескольких тысяч *MAC*-адресов на каждый порт.

Подобно коммутаторам рабочих групп, магистральные коммутаторы поддерживают различную скорость для своих портов. Они могут работать с сегментами *10Base-T* и сегментами на основе коаксиального кабеля. В большинстве случаев использование магистральных коммутаторов обеспечивает более простой и эффективный способ повышения производительности сети по сравнению с маршрутизаторами и мостами.

Основным недостатком работы магистральных коммутаторов является то, что на уровне рабочих групп пользователи работают с разделяемой средой, если они подключены к сегментам, организованным на основе повторителей или коаксиального кабеля. Более того, время отклика на уровне рабочей группы может быть достаточно большим. В отличие от узлов, подключенных к портам коммутатора, для узлов, находящихся в сегментах *10Base-T* или сегментах на основе коаксиального кабеля (*10Base-2* или *10Base-5*), полоса 10 Мбит/с не гарантируется, и они зачастую вынуждены ждать, пока другие узлы не закончат передачу своих пакетов. На уровне рабочей группы по-прежнему сохраняются коллизии, а фрагменты пакетов с ошибками будут пересылаться во все сети,

подключенные к магистрали. Перечисленных недостатков можно избежать, если на уровне рабочих групп использовать коммутаторы (вместо концентраторов) *10Base-T*. В большинстве ресурсоемких приложений коммутатор 100 Мбит/с может выполнять роль скоростной магистрали для коммутаторов рабочих групп с портами 10 и 100 Мбит/с, концентраторами 100 Мбит/с и серверами, в которых установлены адаптеры *Ethernet* 100 Мбит/с.

Основными характеристиками коммутатора, измеряющими его производительность, являются:

- скорость фильтрации (*filtering*);
- скорость продвижения (*forwarding*);
- пропускная способность (*throughput*);
- задержка передачи кадра.

На указанные характеристики производительности влияют: размер буфера (буферов) кадров, производительность внутренней шины, производительность процессора или процессоров, размер внутренней адресной таблицы коммутатора.

Скорость фильтрации и продвижения кадров – две основные характеристики производительности коммутатора. Эти характеристики являются интегральными показателями, они не зависят от того, каким образом технически реализован коммутатор.

Скорость фильтрации определяет скорость, с которой коммутатор выполняет следующие этапы обработки кадров:

- прием кадра в свой буфер;
- просмотр адресной таблицы с целью нахождения порта для адреса назначения кадра;
- уничтожение кадра, так как его порт назначения совпадает с портом-источником.

Скорость продвижения определяет скорость, с которой коммутатор выполняет следующие этапы обработки кадров:

- прием кадра в свой буфер;
- просмотр адресной таблицы с целью нахождения порта для адреса назначения кадра;
- передача кадра в сеть через найденный по адресной таблице порт назначения.

Как скорость фильтрации, так и скорость продвижения измеряются обычно в кадрах в секунду. Если в характеристиках коммутатора не уточняется, для какого протокола и размера кадра приведены значения скоростей фильтрации и продвижения, то по умолчанию считается, что эти

показатели даются для протокола *Ethernet* и кадров минимального размера, т.е. кадров длиной 64 байт (без преамбулы), с полем данных в 46 байт. Если скорости указаны для какого-либо определенного протокола, например, *Token Ring* или *FDDI*, то они также соответствуют кадрам минимальной длины этого протокола (например, 29 байт для протокола *FDDI*). Использование в качестве основного показателя скорости работы коммутатора кадров минимальной длины объясняется тем, что такие кадры всегда создают для коммутатора наиболее тяжелый режим работы по сравнению с кадрами другого формата при равной пропускной способности переносимых пользовательских данных. Поэтому при проведении тестирования коммутатора режим передачи кадров минимальной длины используется как наиболее сложный тест, который должен проверить работоспособность коммутатора.

Пропускная способность коммутатора измеряется количеством переданных в единицу времени через его порты пользовательских данных. Так как коммутатор работает на канальном уровне, то для него пользовательскими данными являются те, которые переносятся в поле данных кадров протоколов канального уровня – *Ethernet*, *Token Ring*, *FDDI* и т.п. Максимальное значение пропускной способности коммутатора всегда достигается на кадрах максимальной длины, так как при этом и доля накладных расходов на служебную информацию кадра гораздо ниже, чем для кадров минимальной длины, и время выполнения коммутатором операций по обработке кадра, приходящееся на один байт пользовательской информации, существенно меньше.

Зависимость пропускной способности коммутатора от размера передаваемых кадров хорошо иллюстрирует пример протокола *Ethernet*, для которого при передаче кадров минимальной длины достигается скорость передачи в 14880 кадров в 1 с и пропускная способность 5,48 Мбит/с, а при передаче кадров максимальной длины – скорость передачи в 812 кадров в 1 с и пропускная способность 9,74 Мбит/с. Пропускная способность падает почти в два раза при переходе на кадры минимальной длины, и это еще без учета потерь времени на обработку кадров коммутатором.

Задержка передачи кадра измеряется как время, прошедшее с момента прихода первого байта кадра на входной порт коммутатора до момента появления этого байта на выходном порту коммутатора. Задержка складывается из времени, затрачиваемого на буферизацию байта кадра, а также времени, затрачиваемого на обработку кадра коммутатором: просмотр адресной таблицы, принятие решения о фильтрации или продвижении и получения доступа к среде выходного порта.

Величина вносимой коммутатором задержки зависит от режима его работы. Если коммутация осуществляется «на лету», то задержки обычно невелики и составляют от 10 до 40 мкс, а при полной буферизации кадров – от 50 до 200 мкс (для кадров минимальной длины).

Коммутатор – это многопортовое устройство, поэтому для него принято все приведенные выше характеристики (кроме задержки передачи кадра) давать в двух вариантах. Первый вариант – суммарная производительность коммутатора при одновременной передаче трафика по всем его портам, второй вариант – производительность, приведенная в расчете на один порт.

Так как при одновременной передаче трафика несколькими портами существует огромное количество вариантов, отличающегося размерами кадров в потоке, распределением средней интенсивности потоков кадров между портами назначения, коэффициентами вариации интенсивности потоков кадров и т.д., и т.п., то при сравнении коммутаторов по производительности необходимо принимать во внимание, для какого варианта трафика получены публикуемые данные. К сожалению, для коммутаторов (как, впрочем, и для маршрутизаторов) не существует общепринятых тестовых образцов трафика, которые можно было бы применять для сравнения характеристик производительности, как это делается для вычислительных систем.

Максимальная емкость адресной таблицы определяет наибольшее количество *MAC*-адресов, с которыми может одновременно оперировать коммутатор. Так как коммутаторы чаще всего используют для выполнения операций каждого порта выделенный процессорный блок со своей памятью для хранения экземпляра адресной таблицы, то размер адресной таблицы для коммутаторов обычно приводится в расчете на один порт. Каждый порт хранит только те наборы адресов, которыми он пользуется в последнее время.

Значение максимального числа *MAC*-адресов, которое может запомнить процессор порта, зависит от области применения коммутатора. Коммутаторы рабочих групп обычно поддерживают всего несколько адресов на порт, так как они предназначены для образования микросегментов. Коммутаторы отделов должны поддерживать несколько сотен адресов, а коммутаторы магистралей сетей – до нескольких тысяч.

Недостаточная емкость адресной таблицы может служить причиной замедления работы коммутатора и засорения сети избыточным трафиком. Если адресная таблица процессора порта полностью заполнена, а он встречает новый адрес источника в поступившем пакете, то процессор

должен вытеснить из таблицы какой-либо старый адрес и поместить на его место новый. Эта операция сама по себе отнимет у процессора часть времени, но главные потери производительности будут наблюдаться при поступлении кадра с адресом назначения, который пришлось удалить из адресной таблицы. Так как адрес назначения кадра неизвестен, то коммутатор должен передать этот кадр на все остальные порты. Эта операция создает лишнюю работу для многих процессоров портов, кроме того, копии этого кадра попадают и в те сегменты сети, где они совсем необязательны.

Некоторые производители коммутаторов решают эту проблему за счет изменения алгоритма обработки кадров с неизвестным адресом назначения. Один из портов коммутатора конфигурируется как магистральный порт, на который по умолчанию передаются все кадры с неизвестным адресом. В маршрутизаторах такой прием применяется давно, позволяя сократить размеры адресных таблиц в сетях, организованных по иерархическому принципу. Передача кадра на магистральный порт проводится в расчете на то, что этот порт подключен к вышестоящему коммутатору, имеющему достаточную емкость адресной таблицы и знающему, куда нужно передать любой кадр.

Хотя метод магистрального порта, как правило, работает эффективно, но существуют ситуации, когда кадры теряют. Например, коммутатор нижнего уровня удалил из своей адресной таблицы адрес MAC_N , который подключен к его порту A , для того, чтобы освободить место для нового адреса MAC_N . При поступлении кадра с адресом назначения MAC_N , коммутатор передает его на магистральный порт B , через который кадр попадает в коммутатор верхнего уровня. Этот коммутатор «видит» по своей адресной таблице, что адрес MAC_N принадлежит его порту C , через который он и поступил в коммутатор. Поэтому кадр далее не обрабатывается и просто отфильтровывается, а следовательно, не доходит до адресата.

Внутренняя буферная память коммутатора нужна для временного хранения кадров данных в случаях, когда их невозможно немедленно передать на выходной порт. Буфер предназначен для сглаживания кратковременных пульсаций трафика. Ведь даже если трафик хорошо сбалансирован и производительность процессоров портов, а также других обрабатывающих элементов коммутатора достаточна для передачи средних значений трафика, то это не гарантирует, что их производительности хватит при очень больших нагрузках. Например, трафик может в течение нескольких десятков миллисекунд поступать

одновременно на все входы коммутатора, не давая ему возможности передавать принимаемые кадры на выходные порты.

Для предотвращения потерь кадров при кратковременном многократном превышении среднего значения интенсивности трафика (а для локальных сетей часто встречаются значения коэффициента пульсации трафика в диапазоне от 50 до 100) единственным средством служит буфер большого объема. Как и в случае адресных таблиц, каждый процессорный модуль порта обычно имеет свою буферную память для хранения кадров. Чем больше объем этой памяти, тем менее вероятны потери кадров при перегрузках, хотя при несбалансированности средних значений трафика буфер все равно рано или поздно переполнится.

Обычно коммутаторы, предназначенные для работы в ответственных частях сети, имеют буферную память в несколько десятков или сотен килобайт на порт. Хорошо, когда эту буферную память коммутатор может перераспределять между несколькими портами, так как одновременные перегрузки по нескольким портам маловероятны. Дополнительным средством защиты может служить общий для всех портов буфер в модуле управления коммутатором. Такой буфер обычно имеет объем в несколько мегабайт.

11.6. Маршрутизаторы

Согласно определению крупнейшего производителя маршрутизаторов компании *Cisc*, маршрутизатор – это устройство третьего уровня, использующее одну и более метрик для определения оптимального пути передачи сетевого трафика на основе информации сетевого уровня. По существу маршрутизатор представляет собой компьютер с необходимым программным обеспечением и устройствами ввода/вывода. В простейшем случае маршрутизатор имеет два сетевых интерфейса.

Маршрутизатор обеспечивает маршрутизацию, т.е. доставку данных адресату, которую можно разбить на триэтапам. Во-первых, сбор информации о других маршрутизаторах и хостах в сети. Для этого маршрутизатор в целях определения маршрута использует тот или иной протокол маршрутизации. Во-вторых, он сохраняет полученную информацию о маршрутах в таблицах маршрутизации. В-третьих, маршрутизатор выбирает наилучший маршрут для каждого конкретного пакета, при этом он передает пакет со входного интерфейса на соответствующий выходной интерфейс. Данные функции он выполняет с помощью протоколов маршрутизации, в основе которых лежат алгоритмы маршрутизации.

Алгоритм маршрутизации – это часть программного обеспечения маршрутизатора, отвечающая за выбор выходной линии, на которую поступивший пакет должен быть передан. Алгоритмы маршрутизации можно разделить на две большие группы: неадаптивные (статические) и адаптивные (динамические). При использовании статических алгоритмов выбор маршрутов осуществляют заранее и прописывают их вручную в таблицу маршрутизации, где хранится информация о том, на какой интерфейс отправить пакет с соответствующей адресной информацией. При использовании динамических алгоритмов таблица маршрутизации меняется автоматически при изменении топологии сети или трафика в ней.

Динамические алгоритмы отличаются по способу получения информации (например, от соседних маршрутизаторов, от всех маршрутизаторов в сети и т.д.), моменту изменения маршрутов (через регулярные интервалы, при изменении топологии и т.п.) и используемой метрике (расстояние, число транзитных узлов и т.д.). Наиболее популярными алгоритмами маршрутизации являются два алгоритма: вектора расстояния и состояния канала.

При использовании алгоритма вектора расстояния каждый маршрутизатор ведет таблицу, в которой отражается вектор с указанием кратчайшего расстояния и выходной линии для каждого адресата. В качестве метрики может использоваться также число транзитных узлов, время задержки, совокупная длина очередей и прочее. Таблица содержит информацию обо всех маршрутизаторах в сети. Периодически каждый маршрутизатор рассылает соседям свою таблицу. Одним из основных недостатков этого алгоритма является медленное распространение информации о недоступности той или иной линии или выходе того или иного маршрутизатора из строя. Данный алгоритм используется в таких протоколах, как *RIP*, *IGRP* и др.

В случае алгоритма состояния канала маршрутизатор собирает информацию о своих непосредственных соседях, измеряя задержку (пропускную способность). Вместо таблиц маршрутизации он осуществляет широковещательную рассылку информации только о своих непосредственных соседях, причем рассылка инициируется только при изменении информации. При получении изменений маршрутизатор определяет заново кратчайший путь до всех адресатов с помощью алгоритма Э. Дейкстры. Алгоритм состояния канала лежит в основе таких протоколов маршрутизации, как *OSPF* и *IS-IS*.

В качестве примера таблицы маршрутизации рассмотрим определение таблицы на маршрутизаторе компании *Morning Star* с тремя

интерфейсами: одним интерфейсом *Ethernet*, последовательным портом, подключенным к внешнему модему, и интерфейсом глобальной сети *Frame relay* (табл. 11.2). Модем используется для организации связи с сервером в главном офисе по *PPP*, *IP*-адрес которого – 137.175.2.7. Адрес интерфейса глобальной сети – 131.187.2.2, а адрес маршрутизатора оператора *Internet* – 131.187.2.3. Для локальной сети оператор выделил блок адресов класса *C* в диапазоне от 199.18.210.1 до 199.18.210.254. Интерфейсы маршрутизатора поименуем следующим образом: *ed0* – интерфейс *Ethernet*, *du0* – последовательный интерфейс, *tt0* – интерфейс глобальной сети. Все пакеты, посылаемые в локальную сеть главного офиса, направляются маршрутизатором на последовательный порт. Все пакеты, предназначенные для нашей локальной сети, направляются на интерфейс *Ethernet* с адресом 199.18.210.1. Адрес 127.0.0.1 является так называемым петлевым адресом, и он используется маршрутизатором для обращения к самому себе. Все остальные пакеты направляются на интерфейс глобальной сети. Флаг *U* (*Up*) означает, что соединение активно, а флаг *G* (*Gateway*) означает, что шлюз (так изначально назывались маршрутизаторы) действительно является шлюзом в другую сеть, в то время как флаг *H* (*Host*) означает, что маршрутизатор подключен к конечному адресату.

Таблица 11.2

Пример таблицы маршрутизации

Получатель	Шлюз	Флаг	Интерфейс
<i>default</i>	137.187.2.3	<i>UG</i>	<i>tt0</i>
127.0.0.1	127.0.0.1	<i>UH</i>	<i>lo0</i>
199.18.210.0	199.18.210.0	<i>UG</i>	<i>ed0</i>
137.175.2.7	199.18.210.1	<i>UH</i>	<i>du0</i>
137.187.2.3	137.187.2.2	<i>UH</i>	<i>tt0</i>
137.175.2	137.175.2.7	<i>UG</i>	<i>du0</i>

Поступающие через входной интерфейс пакеты маршрутизатор помещает в очередь (буфер). Для организации очереди маршрутизаторы как правило, используют алгоритм «честной очереди» и его модификацию – алгоритм «честной взвешенной очереди» (*Weighted Fair Queue*). Суть данного алгоритма состоит в том, что маршрутизаторы имеют несколько очередей для каждой выходной линии, по одной для каждого отправителя. Когда линия освобождается, маршрутизатор берет пакет из следующей по

кругу очереди. Модифицированный же алгоритм позволяет давать приоритет тем или иным очередям.

Маршрутизаторы могут работать с пакетами нескольких протоколов сетевого уровня. Многопротокольные маршрутизаторы концептуально напоминают мосты, но с той существенной разницей, что они работают на сетевом уровне. Как и любой маршрутизатор, они берут пакет с одной линии и передают его на другую, но при этом линии принадлежат к разным сетям и используют разные протоколы (например, *IP* и *IPX*). Кроме того, сетевые устройства типа моста/маршрутизатора (*brouter* или *bridge/router*) работают в нормальном режиме как многопротокольные маршрутизаторы, а при получении пакета с неизвестным сетевым протоколом обрабатывают его как мост. Устройства со сходным названием «маршрутизирующий мост» (*routing bridge*) принадлежат к устройствам второго уровня и упоминаются здесь лишь из-за причастия *routing*. Они работают как мосты, но при этом поддерживают некоторые функции третьего уровня для оптимизации передачи данных.

Маршрутизаторы с интеграцией услуг гарантируют приоритетному трафику, в частности трафику реального времени, своевременную доставку. Они поддерживают протокол *RS VP* для резервирования пропускной способности и буфера в очереди. Коммутаторы третьего уровня по сути также являются маршрутизаторами, причем пакетные коммутаторы (*Packet-by-Packet Switch*) на самом деле являются обычными, только быстрыми маршрутизаторами.

Любой маршрутизатор имеет несколько интерфейсов к локальным сетям (*LAN*) и несколько интерфейсов к сетям глобальной топологии (*WAN*). В качестве интерфейсов *LAN* сегодня выступают, как правило, *Ethernet* или *Fast Ethernet*. Выбор возможных интерфейсов *WAN* шире. Для подключения к коммуникационному оборудованию, например модемам или терминальным адаптерам *ISDN*, чаще всего используют последовательные интерфейсы. Они могут быть синхронными или асинхронными. Самый популярный из них – низкоскоростной асинхронный интерфейс *RS-232 (COM-порт)*.

Маршрутизатор может подключаться к различным сетям и напрямую. Некоторые маршрутизаторы имеют интерфейсы *ISDN* – так называемые *BRI* (144 Кбит/с) или *PRI* (2 Мбит/с). Есть маршрутизаторы со встроенными модемами, подключающиеся к телефонной линии.

Маршрутизаторы имеют много разных параметров производительности, важнейшим из которых является пропускная способность. Она измеряется в пакетах в секунду (пак/с – *pps*), как

правило, для самых маленьких пакетов (64 байт). Некоторые маршрутизаторы заявляют огромную производительность – десятки миллионов пакетов в секунду, но для того, чтобы загрузить на 100 % один асинхронный последовательный канал 115,2 Кбит/с, достаточно производительности 235 пак/с. Для того чтобы маршрутизатор не вносил задержек при маршрутизации между двумя локальными сетями *Ethernet*, достаточно 14880 пак/с, для *Fast Ethernet* – 148800 пак/с.

Маршрутизаторы часто путают с мостами. Это объясняется тем, что многие устройства сочетают в себе функции и мостов, и маршрутизаторов. «Чистый» мост анализирует заголовки кадра канального уровня и не просматривает (а тем более не модифицирует) пакеты сетевого уровня внутри пакетов. Мост не знает и не должен знать, какие пакеты (*IP*, *IPX* или *CLNP*) содержит в поле полезной нагрузки кадр, передаваемый из локальной сети 802.x в 802.y. Маршрутизатор, наоборот, знает очень хорошо, с какими пакетами он работает – с *IP*, *IPX*, *CLNP* – или со всеми ними сразу (в случае многопротокольных маршрутизаторов). Он анализирует заголовки этих пакетов и принимает решение в соответствии с содержащейся там адресной информацией. С другой стороны, когда «чистый» маршрутизатор передает пакет на канальный уровень, он не знает и не должен знать о том, в какой кадр данный пакет будет помещен в *Ethernet*, *Token Ring* или какой-либо другой. Путаница происходит по двум причинам. Во-первых, по части функциональности мосты и маршрутизаторы весьма напоминают друг друга. Они принимают протокольные блоки данных (*PDU – Protocol Data Unit*), анализируют определенные поля заголовка и принимают решение о том, куда дальше передать пакет в соответствии с содержащейся в заголовке информацией и внутренними таблицами. Во-вторых, названия коммерческим продуктам даются зачастую весьма условные, а, кроме того, многие из них сочетают в себе функции и тех и других устройств.

В последнее время сама необходимость в маршрутизаторах начала подвергаться сомнению, главным образом в связи с появлением и распространением коммутаторов (по сути многопортовых мостов). В чем же причины того, что пользователи начали устанавливать в своих сетях коммутаторы там, где они раньше использовали маршрутизаторы? Вот некоторые из них: маршрутизаторы в расчете на порт стоят гораздо дороже коммутаторов; как правило, в сравнении с коммутаторами они имеют гораздо меньшую совокупную пропускную способность (пакетов в секунду), функции коммутации второго уровня гораздо проще реализовать аппаратным образом, чем программным, и т.д. Однако основным

недостатком маршрутизаторов по сравнению с коммутаторами является то, что последние требуют гораздо меньших усилий по администрированию. Сетевым администраторам приходится задавать целое множество конфигурационных параметров для каждого маршрутизатора в сети, таких как адреса и маски подсети, статические маршруты и т.д. Еще хуже то, что параметры каждого маршрутизатора должны быть согласованы с параметрами других маршрутизаторов в сети.

С другой стороны, маршрутизаторы выполняют многие функции, с которыми коммутаторы справиться, как правило, не в состоянии, так как они функционируют на другом уровне. Например, маршрутизаторы позволяют решить такую типичную проблему при связи сетей с помощью мостов, как штормы ширококестельных пакетов. Кроме того, маршрутизаторы используются зачастую в качестве брандмауэров (защитных экранов) между корпоративной сетью и *Internet*. При этом они действуют как фильтры пакетов, просматривая адресную информацию заголовка пакета и сопоставляя ее со списком управления доступом. Далее, маршрутизаторы могут применяться для фильтрации трафика по каналам глобальной сети, передавая через нее только избранный трафик, что, в частности, позволяет снизить плату за использование этих каналов. Во многом благодаря перечисленным функциям маршрутизаторам, а не мостам, было в свое время отдано предпочтение. Поэтому использование коммутаторов (без маршрутизации) должно быть хорошо продумано, иначе могут возникнуть дополнительные проблемы.

11.7. Сравнение сетевых устройств

Повторители *Ethernet*, в контексте сетей *10Base-T* часто называемые концентраторами или хабами, работают в соответствии со стандартом *IEEE 802.3*. Повторитель передает полученные пакеты во все свои порты независимо от адресата.

Хотя все устройства, подключенные к повторителю *Ethernet* (включая другие повторители), «видят» весь сетевой трафик, получить пакет должен только тот узел, которому он адресован, а все остальные узлы должны игнорировать этот пакет. Некоторые сетевые устройства (например, анализаторы протоколов) работают на основе того, что сетевая среда (типа *Ethernet*) является общедоступной и анализируют весь сетевой трафик.

С точки зрения производительности повторители просто передают пакеты с использованием всей полосы канала. Задержка, вносимая повторителем, весьма мала (в соответствии с *IEEE 802.3* – менее 3 мс).

Сети, содержащие повторители, имеют полосу 10 Мбит/с, подобно сегменту на основе коаксиального кабеля, и прозрачны для большинства сетевых протоколов, таких как *TCP/IP* и *IPX*.

Мосты функционируют в соответствии со стандартом *IEEE 802. Id.* Подобно коммутаторам *Ethernet* мосты не зависят от протокола и передают пакеты порту, к которому подключен адресат. Однако, в отличие от большинства коммутаторов *Ethernet*, мосты не передают фрагменты пакетов при возникновении коллизий и пакеты с ошибками, поскольку все пакеты буферизуются перед их пересылкой в порт адресата. Буферизация пакетов (*store-and-forward*) приводит к возникновению задержки по сравнению с коммутацией на лету. Мосты могут обеспечивать производительность, равную пропускной способности среды, однако внутренняя блокировка несколько снижает скорость их работы.

Работа маршрутизаторов зависит от сетевых протоколов и определяется связанной с протоколом информацией, передаваемой в пакете. Подобно мостам, маршрутизаторы не передают адресату фрагменты пакетов при возникновении коллизий. Маршрутизаторы сохраняют пакет целиком в своей памяти прежде, чем передать его адресату, следовательно, при их использовании пакеты передаются с задержкой. Маршрутизаторы могут обеспечивать полосу, равную пропускной способности канала, однако для них характерно наличие внутренней блокировки. В отличие от повторителей, мостов и коммутаторов маршрутизаторы изменяют все передаваемые пакеты.

11.8. Интегрированные цифровые сети *ISDN*

Название сетей *ISDN* (*Integrated System Digital Network* – интегрированные цифровые сети) было предложено МККТТ в 1971 г. Первоначально основной задачей разработки *ISDN* была задача интеграции различных телекоммуникационных услуг (телефонная связь, факсимильная связь, передача данных и др.). Особенность разработки *ISDN* заключалась в решении задачи интеграции различных коммуникационных услуг на базе существующих телефонных линий связи общего пользования, что заметно снижало бы стоимость передачи информации.

Основная идея *ISDN* заключается в передаче по обычным аналоговым линиям связи оцифрованных сигналов, причем передача (получение) любой информации (звуковой, текстовой, графической или видео) с точки зрения пользователя должна вестись через один терминал (одно оконечное оборудование). В зависимости от характера решаемых

задач окончательным оборудованием сети *ISDN* может быть цифровой телефонный аппарат, отдельный компьютер с установленным *ISDN*-адаптером, файловый или специализированный сервер, мост или маршрутизатор локальной сети и другое современное коммуникационное оборудование.

Стандартное подключение линий *ISDN* осуществляется по двум интерфейсам:

- *BRI (Basic Rate Interface)* – интерфейс базового доступа интерфейс базового доступа называется цифровой абонентской линией (*Digital Subscriber Line, DSL*);

- *PRI (Primary Rate Interface)* – интерфейс основного доступа.

Интерфейс базового доступа (*BRI*, спецификация МККТТ 1.430) обеспечивает одну точку доступа к сети, объединяет два дуплексных ***B*-канала** с пропускной способностью 64 Кбит/с каждый и один ***D*-канал** с пропускной способностью 16 кбит/с.

Значение пропускной способности *B*-канала 64 Кбит/с связано с требуемой минимальной шириной спектра голосового сигнала 4 кГц. Согласно теореме Котельникова, частота отсчетов (стробирования) при оцифровке аналогового сигнала должна быть не менее удвоенного значения наивысшей частоты спектра, т.е. 8 кГц. Кроме этого, для удовлетворительного кодирования голоса по уровню (квантование) необходимо использовать как минимум 8-битовый аналого-цифровой преобразователь. С учетом этого требуемая полоса пропускания канала связи для передачи голоса должна быть не менее (произведение этих параметров) 64 Кбит/с.

***B*-канал (*Bearer*)** – вся полоса пропускания канала (64 Кбит/с) используется для передачи информации (звук, графика, данные, видео), а вся служебная информация передается по отдельному *D*-каналу. Каждому *B*-каналу присваивается номер, аналогичный телефонному.

***D*-канал (*Delta*)** – служебный канал для передачи управляющих сигналов с пропускной способностью 16 Кбит/с. Один *D*-канал обслуживает 2 *B*-канала и обеспечивает возможность быстрой генерации и сброса вызовов, а также передачу информации о поступающих вызовах. Для управления каналами применяют специальные сигнальные системы, устанавливающие перечень и форматы команд. Примером такой системы является система канальной сигнализации № 7 *SS7 (Signaling System-7)*, которая была разработана и стандартизована МККТТ для увеличения возможностей интегрированных сетей и, как следствие, получения качественно нового уровня сервиса.

Суммарная пропускная способность канала с интерфейсом базового доступа (*BRI*) составляет $2 \cdot 64 + 16 = 144$ Кбит/с.

Интерфейс основного доступа (*PRI*, спецификация МККТТ 1.431) используется для подключения к *ISDN* групп пользователей интерфейс основного доступа называется расширенной цифровой абонентской линией (*EDSL*), поскольку объединяет 30 *B*-каналов (европейский стандарт) по североамериканскому стандарту (США, Канада, Япония и др.) пропускная способность канала с интерфейсом основного доступа составляет 1,54 Мбит/с (23 *B*-канала и *D*-канал со скоростью 64 Кбит/с) с пропускной способностью 64 кбит/с и один *D*-канал с такой же скоростью, т.е. суммарная пропускная способность канала с интерфейсом основного доступа составляет 2,048 Мбит/с.

В соответствии со стандартом МККТТ для физического подключения к сети *ISDN* определены следующие типы аппаратных средств:

- терминальная аппаратура типа *TE-1* (*terminal equipment type 1*) – аппаратура, совместимая с *ISDN*, которая может подключаться непосредственно к сети;
- терминальная аппаратура типа *TE-2* (*terminal equipment type 2*) – аппаратура, несовместимая с *ISDN*, которая подключается к сети *ISDN* через устройство сопряжения (абонентский адаптер);
- абонентский адаптер *TA* (*Terminal Adapter*) – преобразовывает сигналы одного стандарта, например *RS-232C*, в стандарт *ISDN*; может быть либо автономным устройством, либо интерфейсной платой внутри *TE-2*;
- сетевое оконечное оборудование *NT1* (*Network termination № 2*) – это разделительные устройства общедоступных коммутируемых сетей, которые преобразовывают 2-проводную (витая пара) *ISDN*-линию (*U*-интерфейс) в 4-проводный (2 витые пары) *S/T*-интерфейс;
- сетевое оконечное оборудование *NT2* (*Network termination № 2*) – это абонентское коммутационное оборудование, например АТС или ЛВС-учреждения, которые обладают более широкими возможностями по сравнению с устройствами *NT1* (например, способностью коммутации и концентрации вызовов);
- оконечная аппаратура линии (*LT*) – это оборудование используется в сети местной телефонной компании или компании, предоставляющей услуги связи, в тех случаях, когда линии необходимо удлинить за пределы действия центральной станции;
- оконечная аппаратура станции (*ET*) – подключается к цифровой абонентской линии или расширенной цифровой абонентской линии в местной АТС.

Стандарт *ISDN* определяет несколько специальных интерфейсов, которые используются для формирования канала подключения к сети (рис. 11.1).

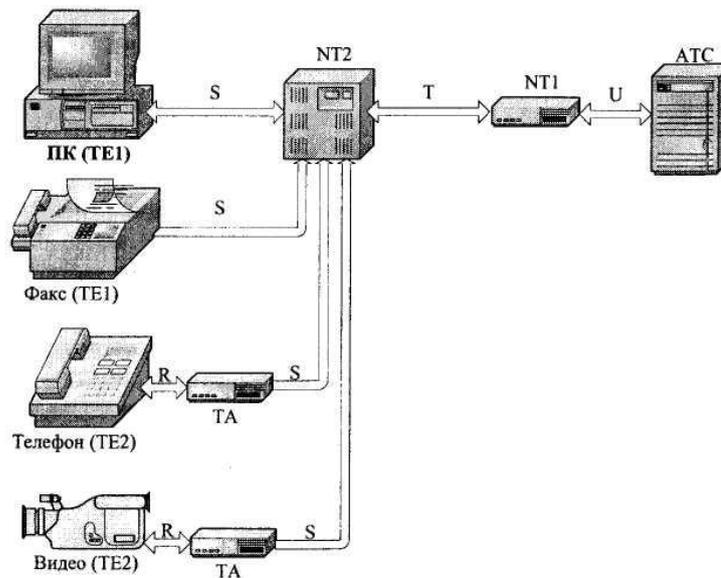


Рис. 11.1. Схема подключения терминальной аппаратуры к сети *ISDN*

R-интерфейс связывает несовместимое с *ISDN* оборудование (*TE-2*) с абонентским адаптером (*TA*).

S-интерфейс соединяет *ISDN*-совместимое оборудование (*TE-1*) с сетевым оконечным оборудованием (*NT2*).

T-интерфейс связывает абонентскую аппаратуру с сетью *ISDN*.

U-интерфейс объединяет сетевое оконечное оборудование (*NT*), оконечную аппаратуру станции (*ET*) и оконечную аппаратуру линии (*LT*).

11.9. Цифровые абонентские линии *xDSL*

Канал связи между пользователем и любым удаленным ресурсом, расположенным в глобальной сети, условно делится на 3 участка:

- 1) удаленный ресурс (например, *Web*-сервер) – высокоскоростная магистраль глобальной сети;
- 2) высокоскоростная магистраль (*ATM* и др.);
- 3) высокоскоростная магистраль – компьютер пользователя.

Последний участок очень часто называют **последней** милей, а первый – **первой** милей. Для надежности обмена информацией к оборудованию предъявляются требования, обусловленные спецификой функционирования этих участков. Например, линии связи «последней мили» подвержены большим помехам, условия работы более тяжелые и т.д.

Для подключения клиентов к узлам магистральной сети с использованием на «последней миле» обычного телефонного кабеля наряду с каналами *ISDN* в последнее время широкое применение находят разновидности технологии *DSL*. Впервые аббревиатура *DSL* была обнародована фирмой *Bellcore* (ныне – *Telcordia Technologies*), расшифровывается она как *Digital Subscriber Line* (цифровая выделенная линия). Эта технология представляет собой различные способы передачи данных со скоростью, существенно превосходящей скорость передачи данных в сетях *ISDN*, по уже существующим телефонным линиям связи на расстояние до 5,5 км.

Возможность преобразования существующих телефонных линий в широкополосные высокоскоростные каналы передачи данных и является главным преимуществом технологий *DSL*. Линии *DSL* являются некоммутируемыми, т.е. компьютер пользователя имеет постоянное прямое подключение к оборудованию провайдера (фактически выделенный канал).

Существуют следующие разновидности каналов *xDSL*.

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметричная цифровая абонентская линия). Данная технология является асимметричной, поскольку скорость передачи данных от сети к пользователю значительно выше, чем скорость передачи данных от пользователя в сеть. Такая асимметрия в сочетании с выделенным каналом делает технологию *ADSL* идеальной для организации доступа пользователей к высокоскоростным магистралям глобальной или локальной сети. Технология *ADSL* поддерживает передачу данных со скоростью 1,54 Мбит/с на расстояние до 5,5 км по одной витой паре проводов.

R-ADSL (Rate-Adaptive Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения). Технология *R-ADSL* обеспечивает такую же скорость передачи данных, как и *ADSL*, при этом позволяет адаптировать скорость передачи данных к протяженности и качеству используемой витой пары проводов.

IDSL (ISDN Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия *IDSL*). Технология *IDSL* обеспечивает передачу данных на скорости до 144 кбит/с. В отличие от *ISDN* линия *IDSL* является некоммутируемой линией, не приводящей к увеличению нагрузки на коммутационное оборудование провайдера.

HDSL (High Bit-Rate Digital Subscriber Line – высокоскоростная цифровая абонентская линия). Технология *HDSL* предусматривает организацию симметричной линии передачи данных (скорость передачи

данных от пользователя в сеть и из сети к пользователю одинакова) на расстояниях до 4,5 км. Благодаря высокой пропускной способности (1,544 Мбит/с по двум парам проводов и 2,048 Мбит/с по трем) телекоммуникационные компании применяют *HDSL* в качестве альтернативы линиям *T1/E1* (*T1/E1* – опорные магистрали связи со скоростью передачи данных до 1,5 Мбит/с). В этом случае эффективное увеличение длины линии *HDSL* достигается установкой специальных повторителей.

SDSL (Single Line Digital Subscriber Line – однолинейная цифровая абонентская линия). *SDSL*, так же как и технология *HDSL*, обеспечивает симметричную передачу данных со скоростями, соответствующими линиям *T1/E1*, но при этом она имеет два важных отличия. Во-первых, используется только одна витая пара проводов, а во-вторых, максимальное расстояние передачи составляет 3 км. В пределах данного расстояния *SDSL* обеспечивает, например, работу системы организации видеоконференций, когда требуется поддерживать одинаковые потоки передачи данных в обоих направлениях.

VDSL (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line – сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия). Технология *VDSL* является наиболее быстрой технологией, обеспечивающей скорость передачи данных до 52 Мбит/с. *VDSL* может рассматриваться в качестве (экономически обоснованной) альтернативы прокладыванию волоконно-оптического кабеля до конечного пользователя. Однако максимальное расстояние передачи данных для этой технологии составляет 1,3 км.

Рассмотрим схему физического подключения терминального оборудования к *ADSL*-каналу.

Для формирования *ADSL*-канала используется два модема (*ADSL*-модем), которые подключаются к телефонным линиям связи. Один модем на стороне пользователя (индивидуальный блок), а другой, например, на стороне провайдера (сетевой блок).

Два *ADSL*-модема, соединенные витой парой проводов, образуют три информационных канала:

- скоростной однонаправленный канал (1,536 Мбит/с) от провайдера к пользователю;
- среднескоростной дуплексный канал (16 Кбит/с) от пользователя к провайдеру;
- *POTS*-канал (*plain old telephone service*) с шириной спектра 4 кГц (в низкочастотной части спектра) для аналоговой телефонной связи.

На рис. 11.2 показана схема подключения оконечного и *ADSL*-оборудования.

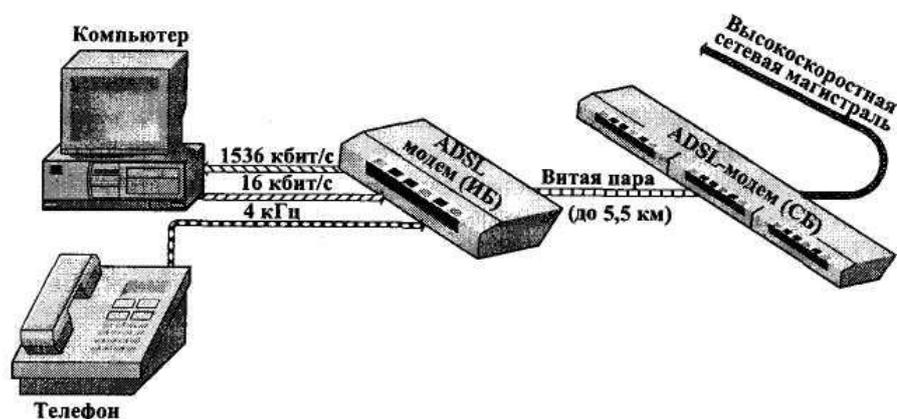


Рис. 11.2. Схема *ADSL*-канала

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику сетевым адаптерам.
2. Какие преимущества даёт использование концентраторов сети?
3. Раскажите классификации концентраторов.
4. Охарактеризуйте сегментацию сети.
5. Какие устройства позволяют сегментировать сеть?
6. В чем отличие мостов от повторителей?
7. В чем отличие коммутаторов от концентраторов?
8. Дайте определение маршрутизаторам.
9. Охарактеризуйте алгоритмы маршрутизации.
10. Сравните преимущества и недостатки маршрутизаторов и коммутаторов.
11. В чем заключается основная идея интегрированных цифровых сетей ISDN?
12. Поясните участки канала связи «первая миля» и «последняя миля».
13. Перечислите разновидности цифровых каналов xDSL.

Глава 12. БЕСПРОВОДНЫЕ КАНАЛЫ СВЯЗИ

Беспроводные сети имеют неоспоримое преимущество в условиях трудности или невозможности прокладки кабеля, например в зданиях, имеющих историческую ценность.

Технология передачи данных по радиоканалу позволяет организовывать сети разных типов и решать широкий спектр задач – от развертывания сети в помещении до организации распределенной сети

масштаба региона или целой страны. Благодаря развитию беспроводных технологий возможен обмен по беспроводным сетям не только данными, но и видеоинформацией, а также реализация телефонных каналов.

В зависимости от технологии беспроводные сети подразделяют на:

- локальные (стационарные) вычислительные сети;
- мобильные вычислительные сети.

Беспроводные информационно-вычислительные сети могут использовать следующие телекоммуникационные каналы:

- лазерные (световые) каналы;
- инфракрасные (ИК) каналы;
- радиоканалы наземной и спутниковой связи.

12.1. Инфракрасные и лазерные беспроводные каналы

Инфракрасные беспроводные сети используют для передачи данных инфракрасные лучи (частота электромагнитного излучения свыше 500 ГГц). В подобных системах необходимо генерировать очень сильный сигнал, так как на него оказывают влияние различные источники, например, окна и другие источники света (лампы накаливания).

Инфракрасные беспроводные сети обеспечивают большую скорость передачи, так как инфракрасный свет имеет широкий спектр частот. Пропускная способность ИК сетей составляет 10 Мбит/с.

В зависимости от вида распространения различают 4 типа инфракрасных сетей:

- сети **прямой видимости** между приемником и передатчиком;
- сети на **рассеянном излучении**: сигнал отражается от стен и потолка и, в конце концов достигает приемника; дальность до 30 м; скорость передачи велика, так как все сигналы отраженные;
- сети на **отраженном излучении**: оптические трансиверы компьютеров передают сигналы в определенное место, где имеется отражатель, откуда они переадресуются другому компьютеру;
- **широкополосные** оптические сети предоставляют услуги, соответствующие жестким требованиям мультимедийной среды и практически не уступают кабельным системам.

Достоинства инфракрасных сетей:

- высокая скорость;
- удобство использования.

Недостатки:

- трудности при передаче сигналов на расстояние более 30 м;
- подверженность помехам со стороны сильных источников света, которые есть в большинстве помещений.

В лазерном оптическом телекоммуникационном канале используется лазерный (монохроматический когерентный) луч видимого или инфракрасного диапазона. Лазерная технология аналогична инфракрасной тем, что требует прямой видимости между приемником и передатчиком. Достаточно по каким-либо причинам луч прервать, прекратится и передача. ИК и лазерные каналы используются для организации связи между узлами, расположенными друг от друга в пределах прямой видимости (одно помещение, два здания, стоящие напротив друг друга и т.д.).

В сетях с оптическими телекоммуникационными каналами компьютеры должны быть снабжены инфракрасными или лазерными приемопередатчиками (трансиверами). Схема организации лазерных и инфракрасных каналов связи аналогична рассмотренным ранее, за исключением особенностей, связанных с используемым оконечным оборудованием.

12.2. Беспроводные радиоканалы

В беспроводных каналах передача информации осуществляется на основе распространения радиоволн. В табл. 12.1 приведены сведения о диапазонах электромагнитных колебаний, используемых в беспроводных и оптических каналах связи.

Для организации канала прямого доступа в диапазонах дециметровых волн (902–928 МГц и 2,4–2,5 ГГц) требуется регистрация в Госсвязьнадзоре. Работа в диапазоне 5,725–5,85 ГГц пока лицензирования не требует. Чем выше несущая частота, тем больше емкость (число каналов) системы связи, но тем меньше предельные расстояния, на которых возможна прямая передача между двумя пунктами без ретрансляторов.

Таблица 12.1

Диапазоны радиоволн

Диапазон	Длины волн, м	Частоты, ГГц	Применение
Дециметровый	1–0,1	0,3–3	Сотовые радиотелефоны, ТВ, спутниковая связь, РК в ЛВС*
Сантиметровый	0,1–0,01	3–30	Радиорелейные линии, РК в ЛВС, спутниковая связь
Миллиметровый	0,01–0,001	30–300	РК в ЛВС
Инфракрасный	0,001–7,5·10 ⁻⁷	3 · 10 + (2 – 4) · 10 ⁺⁵	ВОЛС, WDM**
* РК в ЛВС – радиоканалы в локальных сетях и системах связи;			
** WDM – мультиплексирование с разделением каналов по длинам волн.			

Первая из причин и порождает тенденцию к освоению новых более высокочастотных диапазонов. Радиоканалы входят необходимой составной частью в спутниковые и радиорелейные системы связи, применяемые в территориальных сетях, в сотовые системы мобильной связи, они используются в качестве альтернативы кабельным системам в локальных сетях и при объединении сетей отдельных офисов и предприятий в корпоративные. Во многих случаях применение радиоканалов оказывается более дешевым решением по сравнению с другими вариантами.

В территориальных сетях на региональном уровне часто используются радиорелейные линии связи (коммутация каналов, диапазон частот – 15–23 ГГц, связь в пределах прямой видимости, что ограничивает дальность между соседними станциями до 50 км при условии размещения антенн на строениях типа башен). Последовательность станций, являющихся ретрансляторами, позволяет передавать информацию на значительные расстояния.

Радиосвязь используется в корпоративных и локальных сетях, если затруднена прокладка других каналов связи. Радиоканал либо выполняет роль моста между подсетями (двухточечное соединение), либо является общей средой передачи данных в ЛВС по излагаемому далее методу МДКН/ОК, либо служит соединением между центральным и терминальными узлами в сети с централизованным управлением.

В первом случае (связь двух сетей) имеем двухточечное соединение с направленными антеннами, дальность в пределах прямой видимости (обычно до 15–20 км с расположением антенн на крышах зданий). Мост имеет два адаптера: один для формирования сигналов для радиоканала, другой для кабельной подсети. В случае использования радиоканала в качестве общей среды передачи данных в ЛВС сеть называют *Radio Ethernet* (стандарт *IEEE 802.11*), она обычно используется внутри зданий. В состав аппаратуры входят приемопередатчики и антенны. Связь осуществляется на частотах от одного до нескольких ГГц. Расстояния между узлами – несколько десятков метров.

В соответствии со стандартом *IEEE 802.11* возможны два способа передачи двоичной информации в ЛВС, оба они имеют целью обеспечить защиту информации от нежелательного доступа. **Первый способ** называется методом прямой последовательности (*DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum*). В нем вводится избыточность, каждый бит данных представляется последовательностью из 11 элементов «чипов». Эта последовательность создается по алгоритму, известному участникам связи, и потому может быть дешифрована при приеме. Каждый бит

передаваемой информации кодируется специальным кодом по стандарту 802.11 – это 11-разрядный код Баркера. Избыточность повышает помехоустойчивость, что позволяет снизить требования к мощности передатчика, а для сохранения высокой скорости нужно расширять полосу пропускания. Так, в аппаратуре фирмы *Aironet* в диапазоне 2,4 ГГц имеются 4 канала шириной в 22 МГц (рис. 12.1).

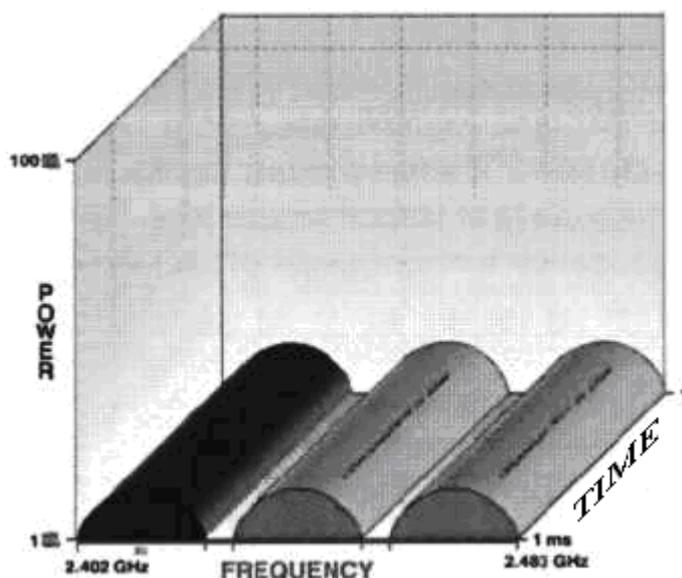


Рис. 12.1. Разделение частотного диапазона на каналы

Второй способ – метод частотных скачков (*FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum*). В этом методе полоса пропускания делится на 79 поддиапазонов. Передатчик через каждые 20 мс переключается на новый поддиапазон, причем алгоритм изменения частот известен только участникам связи и может изменяться, что и затрудняет несанкционированный доступ к данным.

Технология широкополосного сигнала (ШПС) была разработана для помехоустойчивой передачи информации с использованием сигнала малой мощности. Другое ее название – **технология шумоподобного сигнала**; в нем находит свое отражение метод кодирования информации при передаче и малая мощность радиосигнала. После многих лет успешного использования в оборонных отраслях эта технология нашла и гражданское применение.

Идея ШПС состоит в том, что для передачи информации используется значительно более широкая полоса частот, чем это требуется при обычной передаче (в узком частотном канале). За счет такой избыточности достигается хорошая помехозащищенность сигнала при малой его мощности. Избыточность же достигается кодированием особыми кодами.

Кодирование – это механизм, позволяющий осуществлять надежную передачу данных по зашумленным каналам. А эфир – это среда с всевозможными помехами как от аналогичного оборудования, так и других устройств (например, СВЧ-печей). Идея шумоподобного кодирования состоит в том, что каждый бит передаваемой информации представляется в виде прямой или инверсной версии достаточно длинной кодирующей последовательности. На приеме производится сравнение пришедшего кода с запрограммированным эталоном и принимается решение, какой бит – 1 или 0 – был зашифрован (рис. 12.2). Избыточность позволяет правильно дешифровать информацию даже при частичном повреждении кода.

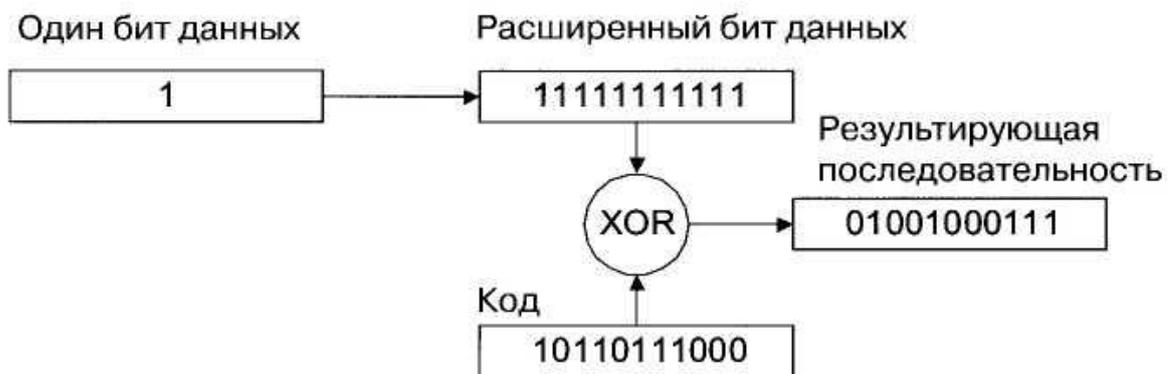


Рис. 12.2. Пример шумоподобного кодирования

Прямой и инверсный код (т.е. закодированные «1» и «0» данных) обладают хорошими взаимнокорреляционными свойствами, что дает возможность при приеме четко детектировать сигнал, даже если он поврежден. Еще одно чрезвычайно полезное свойство *DSSS*-технологии заключается в том, что благодаря очень низкому уровню мощности своего сигнала, она практически не создает помех обычным радиоприемникам (узкополосным большой мощности) – последние принимают широкополосный сигнал за шум в пределах допустимого. Наконец, обычные узкополосные устройства не мешают широкополосным, так как их сигналы большой мощности «шумят» каждый только в своем узком канале и не могут целиком заглушить широкополосный сигнал.

Более поздние стандарты (например, 802.11b) кодируют уже группу из 4 или 8 битов, выбирая коды из таблицы. Это называется ССК-модуляция.

Изложенное описание процесса кодирования сигнала является сильно упрощенным. Однако этого вполне достаточно для уяснения принципа шумоподобного кодирования.

В варианте использования радиоканалов для связи центрального и периферийного узлов центральный пункт имеет ненаправленную антенну, а терминальные пункты при этом используют направленные антенны. Дальность связи составляет также десятки метров, а вне помещений – сотни метров. Пример многоточечной системы: ненаправленная антенна по горизонтали, угол 30 градусов по вертикали, 5,8 ГГц – к терминалам, 2,4 ГГц – к центральному узлу, до 62 терминалов, дальность – 80 м без прямой видимости. В системе *Room About* связь на частоте 920 МГц гарантируется на расстоянии в 120 метров, предусмотрена защита от перехвата информации.

Поставкой оборудования для организации корпоративных и локальных беспроводных сетей занимается ряд фирм, в том числе известные фирмы *Lucent Technologies*, *Aironet*, *Multipoint Network*. В оборудование беспроводных каналов ПД входят: сетевые адаптеры и радиомодемы, поставляемые вместе с комнатными антеннами и драйверами. Они различаются способами обработки сигналов, характеризуются частотой передачи, пропускной способностью, дальностью связи. Сетевой адаптер вставляется в свободный разъем шины компьютера. Например, адаптер *Wave LAN (Lucent Technologies)* подключается к шине *ISA*, работает на частоте 915 МГц, пропускная способность 2 Мбит/с. Радиомодем подключается к цифровому ООД через стандартный интерфейс. Например, радиомодемы серии *RAN (Multipoint Networks)* могут работать в дуплексном или полудуплексном режимах; со стороны порта данных – интерфейс *RS-232C*, *RS-449* или *V.35*, скорости до 128 Кбит/с; со стороны радиопорта – частоты 400–512 или 820–960 МГц, ширина радиоканала 25–200 кГц.

Радиомосты используются для объединения между собой кабельных сегментов и отдельных ЛВС в пределах прямой видимости и для организации магистральных каналов в опорных сетях, выполняют ретрансляцию и фильтрацию пакетов.

12.3. Спутниковые каналы обмена данными

Спутники в системах связи могут находиться на геостационарных (высота 36 тыс. км) или низких орбитах. При геостационарных орбитах заметны задержки на прохождение сигналов (туда и обратно около 520 мс). Возможно покрытие поверхности всего земного шара с помощью четырех спутников. В низкоорбитальных системах обслуживание конкретного пользователя происходит попеременно разными спутниками. Чем ниже

орбита, тем меньше площадь покрытия и, следовательно, нужно или больше наземных станций, или требуется межспутниковая связь, что естественно утяжеляет спутник. Число спутников также значительно больше (обычно несколько десятков). Структура спутниковых каналов передачи данных может быть проиллюстрирована на примере широко известной системы *VSAT* (*Very Small Aperture Terminal*). Наземная часть системы представлена совокупностью комплексов, в состав каждого из них входят центральная станция (ЦС) и абонентские пункты (АП). Связь ЦС со спутником происходит по радиоканалу (пропускная способность 2 Мбит/с) через направленную антенну диаметром 1–3 м и приемопередающую аппаратуру. АП подключаются к ЦС по схеме «звезда» с помощью многоканальной аппаратуры (обычно это аппаратура *T1* или *E1*, хотя возможна и связь через телефонные линии) или по радиоканалу через спутник. Те АП, которые соединяются по радиоканалу (это подвижные или труднодоступные объекты), имеют свои антенны, и для каждого АП выделяется своя частота. ЦС передает свои сообщения широкоэвещательно на одной фиксированной частоте, а принимает на частотах АП. Арендная плата за соединение «точка – точка» через *VSAT* со скоростью 64 Кбит/с составляет около 3900 долларов в месяц, что для больших расстояний дешевле, чем аренда выделенной наземной линии. Примерами российских систем спутниковой связи с геостационарными орбитами могут служить системы Инмарсат и *Runnet*. Так, в *Runnet* применяются геостационарные спутники «Радуга». Один из них, с точкой стояния 85 ° восточной долготы, охватывает почти всю территорию России. В качестве приемопередающей аппаратуры (ППА) используются станции «Кедр-М» или «Калинка», работающие в сантиметровом диапазоне волн (6,18–6,22 ГГц и 3,855–3,895 ГГц соответственно). Диаметр антенн – 4,8 м.

В планируемой фирмой *LMI* системе глобальной спутниковой связи предусматривается 4 геостационарных спутника. В России для этой системы будет установлено 26–30 наземных станций (оператор «Ростелеком»). Примеры сетей с низкоорбитальными спутниками – система глобальной спутниковой телефонной связи «Глобалстар». Она имеет 48 низкоорбитальных (высота 1400 км) спутников, которые охватывают весь земной шар. Каждая станция (наземная) имеет одновременно связь с тремя спутниками. У спутника шесть сфокусированных лучей по 2800 дуплексных каналов каждый. Обеспечиваются телефонная связь для труднодоступных районов, навигационные услуги, определение местонахождения подвижных объектов. Терминал обойдется в 750 долл., минута разговора в 30–50 центов.

12.4. Стандартные радиосети

Стандарты радиоканалов для передачи данных удобно разделить на классы в зависимости от радиуса действия сети.

Первая группа устройств предназначена для беспроводного соединения оборудования в пределах рабочего места. Такое оборудование относят к группе *Wireless PAN (Personal Area Network)*.

Второй группой беспроводных сетей (самая известная и распространенная), является оборудование *WLAN (Wireless LAN – беспроводные локальные сети)*. Другое название (в России) такого оборудования – *RadioEthernet*. Основное предназначение такой техники – развертывание беспроводных сетей внутри помещений. К этому классу следует отнести все оборудование, работающее в соответствии со стандартами семейства **IEEE 802.11**. В основе стандарта 802.11 используется тот же алгоритм доступа к физической среде, что и в 802.3 *CSMA/CD*, отличие только в физической среде: вместо сетевого кабеля применяются радиоволны.

Третий класс принципиально отличается по решаемым им задачам. Это оборудование служит для построения распределенных сетей масштаба города, сетей операторского класса – *Wireless MAN (Metropolitan Area Network)*. Другое название – *Fixed Broadband Wireless Access (FBWA)* – фиксированный широкополосный беспроводный доступ. Сегодня это самый перспективный сегмент телекоммуникационного рынка во всем мире, в том числе в России.

Четвертая группа представляет собой устройства масштаба региона – *Wireless ReAN*.

Поскольку все частоты в России принадлежат государству, на их использование нужно получать соответствующие разрешения.

В табл. 12.2–12.3 наглядно представлены основные виды беспроводных сетей.

Таблица 12.2

Основные виды беспроводных сетей

	Стандарт	Диапазон	Группа сети	Расстояния
1	<i>IEEE 802.15 – Bluetooth</i>	2,4 ГГц	<i>PAN</i>	10 м
2	<i>IEEE 802.11 – Wireless LAN</i>	2,4–5,0 ГГц	<i>LAN</i>	100 м
3	<i>IEEE 802.16 – Wireless MAN</i>	10–66 ГГц	<i>MAN</i>	10 км
4	<i>IEEE 802.20 – Wireless ReAN</i>	3,5 ГГц	<i>ReAN</i>	50 км

Стандарты подкомитета *IEEE* 802

Стандарты подкомитета <i>IEEE</i> 802.11		
<i>IEEE</i> 802.11	Является базовым стандартом и определяет протоколы, необходимые для организации беспроводных локальных сетей (<i>WLAN</i>)	1997
<i>IEEE</i> 802.11a	Является наиболее «широкополосным» из семейства стандартов 802.11. Предусматривает скорость передачи данных до 54 Мбит/с (три обязательные скорости – 6, 12 и 24 Мбит/с)	1999
<i>IEEE</i> 802.11b	Стандарт на беспроводные каналы связи со скоростью передачи данных до 11 Мбит/с в диапазоне частот 2,4 ГГц	1999
<i>IEEE</i> 802.11g	Развитие стандарта 802.11b, повышающий скорость передачи данных до 22 Мбит/с и более	2002
<i>IEEE</i> 802.12n	Перспективный стандарт протокола связи в беспроводных локальных сетях, предполагающий скорость передачи данных от 100 Мбит/с	
<i>IEEE</i> 802.12	Стандарт на метод доступа с приоритетом запросов и спецификация на физический уровень и повторители на 100 Мбит/с, известные так же, как <i>100VG-AnyLAN</i>	1995
Стандарты подкомитета <i>IEEE</i> 802.15		
<i>IEEE</i> 802.15.1	Технология <i>Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG)</i> беспроводных персональных сетей (<i>Wireless Personal Area Network, WPAN</i>)	2001
<i>IEEE</i> 802.15.3	Протокол связи для беспроводных частных сетей. Развитие <i>IEEE</i> 802.15.1 <i>Bluetooth</i>	2002
<i>IEEE</i> 802.15.4	Протокол сверхширокополосной связи (<i>Ultra Wideband, UWB</i>) с передачей множества закодированных импульсов не гармонической формы очень малой мощности (0,05 мВт) и малой длительности в широком диапазоне частот (от 3,1 до 10,6 ГГц)	2001
Стандарты подкомитета <i>IEEE</i> 802.16		
<i>IEEE</i> 802.16	Спецификация широкополосной беспроводной связи для городских сетей (<i>Wireless MAN</i>)	2002
<i>IEEE</i> 802.16.a	Стандарт беспроводных городских сетей. Дополнение стандарта <i>IEEE</i> 802.16	2003

Часто путают термины *Wireless LAN* и радиомодемы. *Wireless LAN* – это технология пакетной беспроводной передачи данных, объединения ЛВС. Радиомодемы – решение «точка – точка» для организации синхронного радиоканала, чаще называемое радиорелейными линиями.

12.5. Радиосети *Wireless PAN*

Использование беспроводных технологий на рабочем месте (или в любом другом в пределах 10 м) связано с названием «*Bluetooth*». *Bluetooth* – это технология передачи данных по радиоканалам на короткие расстояния, позволяющая осуществлять связь беспроводных телефонов, компьютеров и различной периферии даже в тех случаях, когда нарушается требование прямой видимости.

Общепотребительными и уже достаточно известными являются соединения электронной аппаратуры между собой при помощи инфракрасного канала связи. Но эти соединения требуют прямой видимости. Например, пультом дистанционного управления телевизором невозможно воспользоваться, если между вами и телевизором оказался хотя бы лист газетной бумаги.

Первоначально *Bluetooth* рассматривалась исключительно как альтернатива инфракрасным соединениям между различными портативными устройствами. Но сейчас специалисты предсказывают уже два направления широкого использования *Bluetooth*. Первое – это домашние сети, включающие в себя различную электронную технику, в частности компьютеры, телевизоры и т.п. Второе, гораздо более важное, направление – локальные сети офисов небольших фирм, где стандарт *Bluetooth* позиционируется как замена традиционных проводных технологий.

Недостатком *Bluetooth* является сравнительно низкая скорость передачи данных – она не превышает 720 Кбит/с, поэтому эта технология не способна обеспечить передачу видеосигнала. В дальнейшем, следует ожидать более скоростные стандарты, которые позволят отказаться от лишних проводов, как на рабочем месте так и дома (например, для подключения компонентов аудиосистемы, телевизора и т.д.).

12.6. Радиосети *Wireless LAN*

Области использования *Wireless LAN*: переговорные комнаты, конференц-залы заседаний, а часто и все предприятие, помимо локальной проводной сети, имеет еще и беспроводную сеть. Это позволяет сотрудникам перемещаться по всему офису, имея доступ ко всем

необходимым информационным ресурсам. Второе по распространенности применение беспроводной технологии – публичные беспроводные сети в гостиницах, аэропортах и кафе. Другое применение – временные сети, развертываемые на период каких-либо мероприятий (выставок или семинаров). Современные беспроводные технологии позволяют делать это быстро и недорого. Примером разработок данного класса являются сети **Wi-Fi** (*Wireless Fidelity* – «беспроводная точность») – стандарт на оборудование *Wireless LAN*. Разработан консорциумом *Wi-Fi Alliance* на базе стандартов *IEEE 802.11* в 1991 г. в Нидерландах.

Сеть *Wi-Fi* – это беспроводная сеть, позволяющая связать вместе огромный спектр различных устройств. Клиентами сети *WiFi* могут быть компьютеры, КПК (карманные ПК), мобильные телефоны, ноутбуки. Идея *WiFi* заключается в доступе к Интернету через так называемые точки доступа, радиус действия которых составляет всего 100 м.

При определенных условиях скорость работы *Wi-Fi* сети превышает 100 Мбит/с. Минимальная скорость – 0,1 Мбит/с.

Точки доступа (*access point*) связываются с центральным маршрутизатором, который и обеспечивает связь со всемирной паутиной. Точки доступа обычно устанавливаются в многолюдных местах: гостиницах, кафе, интернет-клубах. Пользователи могут перемещаться между точками доступа по территории покрытия сети *Wi-Fi*. Обычно схема *Wi-Fi* сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме «точка – точка», когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую». В России *Wi-Fi* не очень распространена, но на Западе эта технология уверенно развивается, и со временем получить доступ к Интернету по *Wi-Fi* с помощью ноутбука можно будет практически в любой точке Европы.

Для работы по *Wi-Fi* необходима специальная *Wi-Fi*-карта. Современные модели ноутбуков, КПК и мобильных телефонов оснащены *Wi-Fi*-адаптерами, а для более старых ноутбуков требуется *Wi-Fi*-адаптер.

Преимущества *Wi-Fi*:

- *Wi-Fi* сети поддерживают роуминг, поэтому клиентская станция может перемещаться в пространстве, переходя от одной точки доступа к другой;
- *Wi-Fi* – это набор глобальных стандартов, в отличие от сотовых телефонов, *Wi-Fi* оборудование может работать в разных странах по всему миру.

Недостатки *Wi-Fi*:

- частотный диапазон и эксплуатационные ограничения в различных странах неодинаковы; поэтому регистрация *Wi-Fi*-оператора различна (в РФ для работы внутри зданий разрешения получать не надо);
- довольно высокое по сравнению с другими стандартами потребление энергии;
- использование популярного стандарта шифрования *WEP*, который может быть относительно легко взломан даже при правильной конфигурации (из-за слабой стойкости ключа);
- ограниченный радиус действия, например, типичный *Wi-Fi*-маршрутизатор стандарта 802.11b или 802.11g имеет радиус действия 45 м в помещении и 90 м снаружи, микроволновая печь или зеркало, расположенные между устройствами *Wi-Fi*, ослабляют уровень сигнала;
- при смене точек доступа происходит кратковременный разрыв связи, за исключением использования оборудования *Cisco*;
- наложение сигналов использующей шифрование точки доступа и открытой точки доступа, работающих на одном или соседних каналах, может помешать доступу к открытой точке доступа;
- во время дождя работает плохо.

***Wireless MAN (Wireless Access)*.** Большинство беспроводных сетей работает вне зданий, обеспечивая услугами скоростной передачи данных пользователей, удаленных на расстояния от нескольких до десятков километров. Беспроводная сеть зачастую является единственным экономически оправданным решением: когда кабельная система отсутствует или низкого качества, либо подключение по проводному каналу слишком дорого, а ждать прокладки кабеля – слишком долго. Сегодня действуют порядка 300 крупных операторских беспроводных сетей масштаба города, множество корпоративных и ведомственных. Беспроводные технологии позволяют организовать канал связи и, как правило, дешевле. А в некоторых случаях оказываются единственным экономически оправданным решением. Поэтому значительная часть данной работы посвящена именно распределенным беспроводным сетям.

12.7. Цифровые системы мобильной связи стандарта *GSM*

Сотовая система радиотелефонной связи обслуживает территорию, разделенную на много небольших зон – сот (*cell* – ячейка, *sota*), каждая из которых обслуживается своим комплектом радиооборудования. Эти зоны на плане города формируют структуру, похожую на пчелиные сотовые ячейки, откуда и пошло название этого вида радиотелефонной связи.

Граница соты определяется зоной устойчивой радиосвязи и зависит от мощности приемопередающего радиоустройства, топологии местности и частотного диапазона системы. Чем выше полоса частот работы системы, тем меньше радиус соты, но тем лучше проникающая способность сигнала через стены и другие препятствия и, что также важно, отличается миниатюрность радиоаппаратуры и возможность организации большего количества абонентских радиоканалов. Современные сотовые системы работают на частотах 450, 800, 900 и 1800 МГц.

Количество мобильных станций в соте не является постоянной величиной, так как абоненты мобильные и при передвижениях перемещаются из соты в соту. При этом при пересечении границы между сотами радиотелефонный аппарат автоматически переходит на обслуживание в другой соте, т.е. подключается к ближайшему ретранслятору – приемопередатчику (базовой станции).

Современные радиосети мобильной связи используют цифровые методы передачи сообщений. Они предоставляют пользователям очень большой набор услуг и хорошо сопрягаются как с цифровыми сетями с интеграцией служб, так и с сетями пакетной передачи данных. Наибольшее распространение получили сети мобильной связи, базирующиеся на стандарте *GSM* (*Group Special Mobile* или, как стали расшифровывать это сокращение после широкого мирового распространения стандарта, *Global System for Mobile Communication*). Стандарт *GSM* работает в частотном диапазоне 900 и 1800 МГц и обеспечивает хорошее качество связи и самый широкий международный роуминг и роутинг. Роуминг (*roaming* – блуждание) – служба сети, обеспечивающая автоматическую перерегистрацию абонента при переходе из одной зоны сотовой базовой станции в другую. Роутинг (*routing* – маршрутизация) – обеспечение автоматической переадресацию поступившего вызова к абоненту, переместившемуся в другую зону.

Повышенными характеристиками обладает 2,5G (поколение развития) стандарт *CDMA* (*Code Division Multiple Access*), основанный на кодовом уплотнении и разделении каналов.

Структура и состав оборудования сетей стандарта *GSM* иллюстрируется схемой на рис. 12.3.

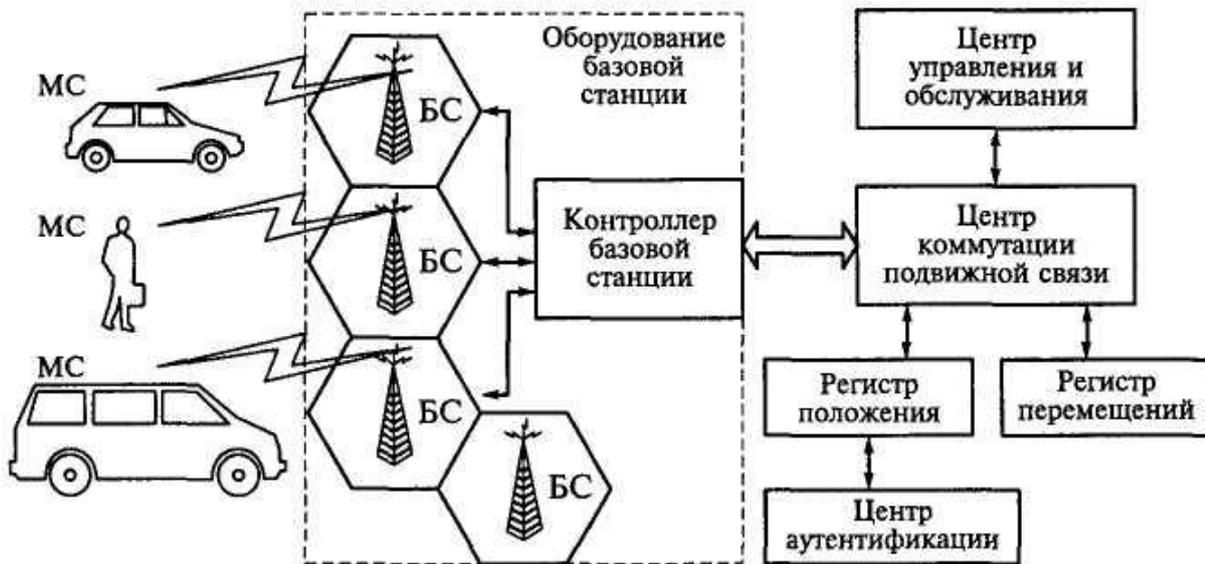


Рис. 12.3. Структурная схема построения сети стандарта *GSM*

Мобильные станции (МС), транспортные и портативные, оснащены оборудованием для организации доступа абонентов сети *GSM* к другим сетям связи и передаче данных. Каждая мобильная станция имеет свои международные идентификационные номера (*INSI* и *IMEI*), записанные в ее памяти.

Основной идеей и техническим решением, которое позволило резко увеличить емкость радиосети сотовой связи, является повторное использование частот в несмежных сотах. Первым способом организации повторного использования частот, который применялся в аналоговых системах первого поколения, был способ, использующий базовые станции с антеннами круговой направленности. Базовые станции, на которых допускается повторное использование выделенного набора частот, удалены друг от друга на расстояние D , называемое **защитным интервалом** (рис. 12.4).

Смежные базовые станции, использующие различные частотные каналы, образуют группу из C станций – кластер. Если каждой базовой станции выделяется набор из m каналов с шириной полосы F_k у каждого, то общая ширина полосы F_c , занимаемая данной системой сотовой связи, составит $F_c = F_k m C$.

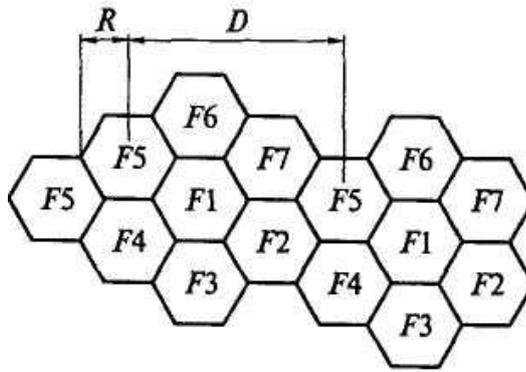


Рис. 12.4. Повторное использование частот в несмежных сотах

Таким образом, величина C определяет минимально возможное количество каналов в системе, и поэтому ее называют частотным параметром системы, или **коэффициентом повторения частот**. Коэффициент C не зависит от количества используемых каналов и увеличивается по мере уменьшения радиуса ячейки. Таким образом, при использовании сот меньших размеров можно увеличить повторяемость частот.

Применение шестиугольных сот позволяет минимизировать ширину используемой полосы частот, поскольку такая форма обеспечивает оптимальное соотношение между значениями C и D . Кроме того, шестиугольная форма наилучшим образом вписывается в круговую диаграмму направленности антенны базовой станции, установленной в центре соты.

Размер соты R определяет защитный интервал D между ними, в которых повторно могут быть использованы одни и те же частоты. Значение защитного интервала D кроме уже перечисленных факторов, зависит также от допустимого уровня помех и условий распространения радиоволн. Поскольку интенсивность вызовов в пределах всей зоны обслуживания примерно одинакова, соты выбираются одного размера. Размер R определяет также количество абонентов N , способных одновременно вести переговоры на всей территории обслуживания. Следовательно, уменьшение этого размера позволяет не только повысить эффективность использования выделенной полосы частот и увеличить абонентскую емкость системы, но и уменьшить мощность передатчиков и чувствительность приемников базовых и подвижных станций. Это, в свою очередь, улучшает электромагнитную совместимость средств сотовой связи с другими радиоэлектронными средствами и системами.

Эффективным способом снижения уровня помех может быть использование секторных антенн с узкими диаграммами направленности.

В секторе такой узконаправленной антенны сигнал излучается преимущественно в одну сторону, а уровень излучения в противоположном направлении сокращается до минимума. Деление сот на секторы позволяет чаще применять частоты в сотах повторно. Весьма эффективный и используемый в настоящее время способ повторного использования частот в организованных таким образом сотах предусматривает применение трехсекторных антенн для каждой базовой станции и трех соседних базовых станций с формированием ими девяти групп частот (рис. 12.5). В этом случае используются антенны с шириной диаграммы направленности 120° .

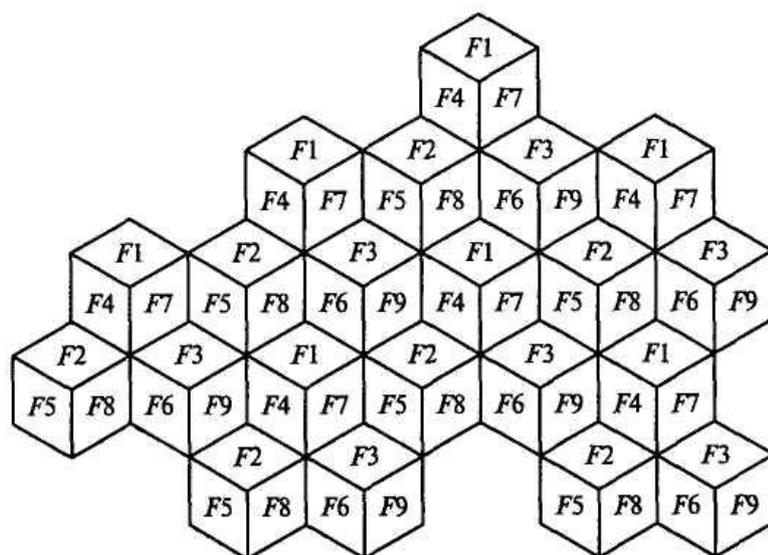


Рис. 12.5. Повторное использование частот в трехсекторных сотах

Еще более высокую эффективность использования выделенной полосы частот и, следовательно, наибольшее количество абонентов сети, работающих в этой полосе, обеспечит способ повторного использования частот, при котором шестидесятиградусные диаграммы направленности антенн базовых станций делят каждую ячейку на шесть секторов и каждая рабочая частота используется дважды в пределах кластера, состоящего из четырех сот.

Каждая из сот обслуживается многоканальным приемопередатчиком – базовой станцией (БС). Она служит интерфейсом между сотовым телефоном и центром коммутации подвижной связи, где роль проводов обычной телефонной сети выполняют радиоволны. Количество каналов базовой станции обычно кратно $2^3 = 8$. Один из каналов является управляющим (*control channel*). В некоторых ситуациях он может называться также каналом вызова (*calling channel*). По этому каналу

организуются соединения при вызове подвижного абонента сети, а сам разговор начинается только после того, как будет найден свободный в данный момент канал и произойдет переключение на него. Любой из каналов сотовой связи использует при работе пару частот для дуплексной связи (одна частота на передачу, другая – на прием). Поэтому частоты излучения базовой и подвижной станций разнесены.

Контроллер базовых станций может управлять несколькими БС. Он координирует распределение радиоканалов, контролирует соединения и регулирует их очередность, обеспечивает работу с прыгающей частотой, кодирует и декодирует сообщения, выполняет ряд других функций.

Центр коммутации подвижной связи обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы подвижная станция. Центр коммутации – это АТС системы сотовой связи. Он имеет интерфейс между фиксированными сетями связи и передачи данных и сетью подвижной станции. Центр коммутации обеспечивает маршрутизацию вызовов, функции управления вызовами, коммутации радиоканалов. Он же поддерживает процедуры обеспечения безопасности, применяемые для управления доступом к радиоканалам.

Центр коммутации осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями. Для этого используются **регистр положения** и **регистр перемещений**. В регистре положения хранится та часть информации о местоположении подвижной станции, которая позволяет доставлять вызов. Этот регистр содержит международный идентификационный номер мобильного абонента (*IMSI*) и некоторые другие данные.

Регистр перемещений контролирует движение мобильной станции из соты в соту. При каждом таком перемещении в регистр заносится новая информация о номере соты и некоторая другая информация.

Стандарт *GSM* предусматривает основательные меры по защите информации: обеспечивает аутентификацию сообщений, секретность передаваемых данных, секретность направления вызова.

Для исключения несанкционированного использования ресурсов системы связи в стандарт введены и определены механизмы аутентификации – удостоверения личности абонента. Каждый абонент на время пользования системой получает стандартный модуль подлинности абонента – SIM-карту, которая содержит международный идентификационный номер подвижного абонента *IMSI*, индивидуальный ключ аутентификации K_i и алгоритм аутентификации *A3*. На основе этой информации в результате взаимного обмена данными между подвижной станцией и сетью осуществляется полный цикл аутентификации и

разрешается доступ абонента к сети. Процедура проверки сетью подлинности абонента реализуется следующим образом.

Сеть передает случайное число $RAND$ на подвижную станцию. Подвижная станция, используя алгоритм $A3$, вычисляет значение отклика $SRES$ как функцию $RAND$ и ключа K_i :

$$SRES = A3(K_i, RAND) \quad (12.1)$$

и посылает вычисленное значение $SRES$ в сеть. Сеть сверяет значение принятого $SRES$ с результатом собственного вычисления. Если оба значения совпадают, подвижная станция получает разрешение пользоваться ресурсами сети: передавать и принимать сообщения. В противном случае связь прерывается, и индикатор подвижной станции должен показать, что опознание не состоялось.

По причине секретности вычисление $SRES$ происходит в рамках SIM . Несекретная информация (такая как ключ K_i) не подвергается обработке в модуле SIM .

Процедура аутентификации иллюстрируется рис. 12.6.



Рис. 12.6. Процедура аутентификации мобильного абонента

Для обеспечения секретности передаваемой по радиоканалу информации ее шифруют. В стандарте используется алгоритм шифрования с открытым ключом RSA (криптографическая система с открытым ключом Ривеста – Шамира – Алдемана). Алгоритм формирования ключей шифрования $A8$ хранится в памяти SIM -карты. Одновременно с вычислением отклика $SRES$ аппаратура подвижной станции определяет и ключ шифрования K_c по правилу

$$K_c = A8(K_i, RAND). \quad (12.2)$$

Для исключения риска утраты ключа он не передается по радиоканалу, а вычисляется и сетью, и абонентским терминалом одновременно с использованием одних и тех же данных и единого алгоритма $A8$ (рис. 12.7). Для обеспечения секретности вычисление ключа K_c производится в SIM .

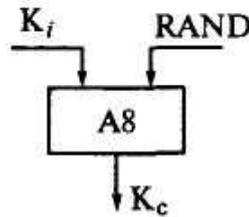


Рис. 12.7. Формирование ключа криптозащиты сообщений в соответствии со стандартом GSM

Кроме случайного числа $RAND$ сеть посылает подвижной станции идентификационную числовую последовательность. Это число связано с истинным значением K_c и позволяет избежать формирования ложного ключа. Число хранится подвижной станцией и содержится в каждом первом сообщении, передаваемом в сеть. Некоторые сети принимают решение о наличии числовой последовательности действующего ключа шифрования в случае, если необходимо приступить к опознаванию или если выполняется предварительное опознавание, при этом используется правильный ключ шифрования. Но иногда это допущение реально не обеспечивается.

Для установки режима шифрования сеть передает подвижной станции команду CMC (*Ciphering Mode Command*) на переход в режим шифрования. После получения команды CMC подвижная станция, используя имеющийся у нее ключ, включает режим криптографического преобразования сообщений. Поток передаваемых данных шифруется поточным шифром бит за битом с использованием алгоритма шифрования $A5$ и ключа шифрования K_c . Процедура установки режима шифрования иллюстрируется на рис. 12.8. Для исключения идентификации абонента на основе перехвата сообщений, передаваемых по радиоканалу, каждой мобильной станции системы сотовой связи присваивается временный международный идентификационный номер пользователя – $TMSI$ (*Time Mobile Subscriber Identity*), который действителен только в пределах зоны обслуживания с идентификационным номером LAI (*Location Area Identification*). В другой зоне обслуживания абоненту присваивается новый $TMSI$. Если подвижная станция переходит в новую зону обслуживания, то

ее *TMSI* должен передаваться вместе с *LAI* той зоны, в которой *TMSI* был присвоен абоненту.



Рис. 12.8. Шифрация сообщений в соответствии со стандартом *GSM*

При выполнении процедуры корректировки местоположения по каналам управления между подвижной и базовой станциями происходит двусторонний обмен служебными сообщениями. Эти сообщения содержат временные номера пользователей *TMSI*. В этом случае в радиоканале необходимо обеспечить секретность смены *TMSI* и его принадлежность конкретному абоненту.

В момент эстафетной передачи подвижная станция уже зарегистрирована в регистре перемещения с временным номером *TMSI*, соответствующим *TMSI* прежней зоны обслуживания. При входе абонента в новую зону осуществляется процедура опознавания, которая проводится по старому, зашифрованному в радиоканале *TMSI*, передаваемому одновременно с номером *LAI* зоны обслуживания. Последний сообщает центрам коммутации и управления информацию о направлении перемещения подвижной станции и позволяет запросить прежнюю зону расположения о статусе абонента, а также его данные, исключив обмен этими служебными сообщениями по радиоканалам управления. При этом по каналу связи сообщение передается как зашифрованный информационный текст с прерыванием сообщения в процессе эстафетной передачи всего на 100–150 мс.

Таким образом, в соответствии с рассмотренными механизмами обеспечения информационной безопасности, действующими в стандарте *GSM*, секретными считаются следующие данные:

- *RAND* – случайное число, используемое для аутентификации подвижного абонента;
- *SRES* – значение отклика, ответ подвижной станции на полученное случайное число;
- K_i – индивидуальный ключ аутентификации пользователя, используемый для вычисления значения отклика и ключа шифрования;

- K_c – ключ шифрования, используемый для шифрования дешифрования сообщений, сигналов управления и данных пользователя в радиоканале;
- $A3$ – алгоритм аутентификации, используемый для вычисления значения отклика из случайного числа с использованием ключа K_i ;
- $A8$ – алгоритм формирования ключа шифрования, используемый для вычисления ключа K_c из случайного числа с использованием ключа K_i ;
- $A5$ – алгоритм шифрования дешифрования сообщений, сигналов управления и данных пользователя с использованием ключа K_i, K_c ;
- $CKSN$ – номер ключевой последовательности шифрования, который позволяет избежать использование разных ключей на передающей и приемной сторонах, но указывает на действительное число K_c ;
- $TMSI$ – временный международный идентификационный номер пользователя.

Основным объектом, отвечающим за все аспекты безопасности, является центр аутентификации. Этот центр может быть отдельным объектом или входить в состав какого-либо оборудования, например в регистр местоположения.

Именно центр аутентификации формирует индивидуальные ключи аутентификации пользователей K_i и соответствующие им международные идентификационные номера абонентов $IMSI$, формирует набор $RAND/SRES/K_c$ для каждого $IMSI$ и раскрытие этих групп для регистра положения при необходимости эстафетной передачи мобильного абонента.

12.8. Система беспроводной связи *GPRS*

GPRS (*General Packet Radio Service* – услуга пакетной передачи данных по радиоканалу) – по сути, расширение существующих сетей GSM. Система *GPRS* обеспечивает мобильных пользователей высокой скоростью передачи данных и максимально приспособлена для прерывистого трафика, характерного для сетей Интернет/Инtranет. Скорость доступа от 14,4 (при использовании одного временного слота) до 115 Кбит/с (при объединении нескольких слотов).

Система *GPRS* реализует пакетную коммутацию на всем протяжении канала связи, существенно оптимизируя услуги передачи данных в сетях стандарта *GSM*. Она практически мгновенно устанавливает соединения, использует сетевые ресурсы и занимает участок диапазона частот только в моменты фактической передачи данных, что гарантирует чрезвычайно эффективное использование доступной полосы частот и позволяет делить

один радиоканал между несколькими пользователями. Пакеты данных передаются одновременно по многим каналам, что и определяет выигрыш в скорости. Однако голосовой трафик имеет безусловный приоритет, поэтому данные передаются в паузах речи и скорость их передачи определяется не только возможностями сетевого и абонентского оборудования, но и загрузкой сети. Система *GPRS* поддерживает все самые распространенные протоколы передачи данных в сети, в частности, Интернет-протокол IP, что позволяет абонентам сети подключаться к любому источнику информации. Новая система предполагает также иную схему оплаты услуги передачи данных: при использовании *GPRS* расчёты производятся пропорционально объёму переданной информации, а не времени, проведённому в сети.

GPRS позволяет без дополнительных устройств реализовать соединение, например, через интерфейсы *TCP/IP* или *X.25* с существующими системами передачи данных, обеспечивая поддержку самых разнообразных приложений: от низкоскоростной системы обмена сообщениями до работы с высокоскоростной корпоративной ЛВС. Кроме того, *GPRS* предоставляет услугу многоточечной передачи (мультивещания) между провайдером определённой сети и группой мобильных абонентов с терминалами *GPRS*.

Система *GPRS* строится путём простого добавления новых узлов пакетной обработки данных и модернизации существующих для маршрутизации пакетов данных от мобильного терминала до шлюза, который обеспечивает соединение с внешней сетью пакетной передачи данных для реализации доступа к Интернет/Интранет или, например, к базам данных.

Ядро системы *GPRS* (*GPRS Core Network*) состоит из двух типов основных блоков (рис. 12.9): *SGSN* (*Serving GPRS Support Node* – узел поддержки *GPRS*) и *GGSN* (*Gateway GPRS Support Node* – шлюз *GPRS*).

SGSN контролирует доставку пакетов данных пользователям, взаимодействует с реестром собственных абонентов, проверяя, разрешены ли запрашиваемые ими услуги, ведёт мониторинг находящихся в сети пользователей, организует регистрацию абонентов, вновь проявившихся в зоне действия сети, и т.п. *GGSN* – это шлюз между магистралью *GPRS* и внешними информационными магистралями (Интернет, корпоративными интранет-сетями, другими *GPRS*-системами и т.д.). Основной задачей *GGSN* является роуминг (маршрутизация) данных, идущих к абоненту и от него через *SGSN*. Другими функциями *GGSN* являются адресация данных, динамическая выдача IP-адресов, а также отслеживание информации о внешних сетях и собственных абонентах (в том числе тарификация услуг).

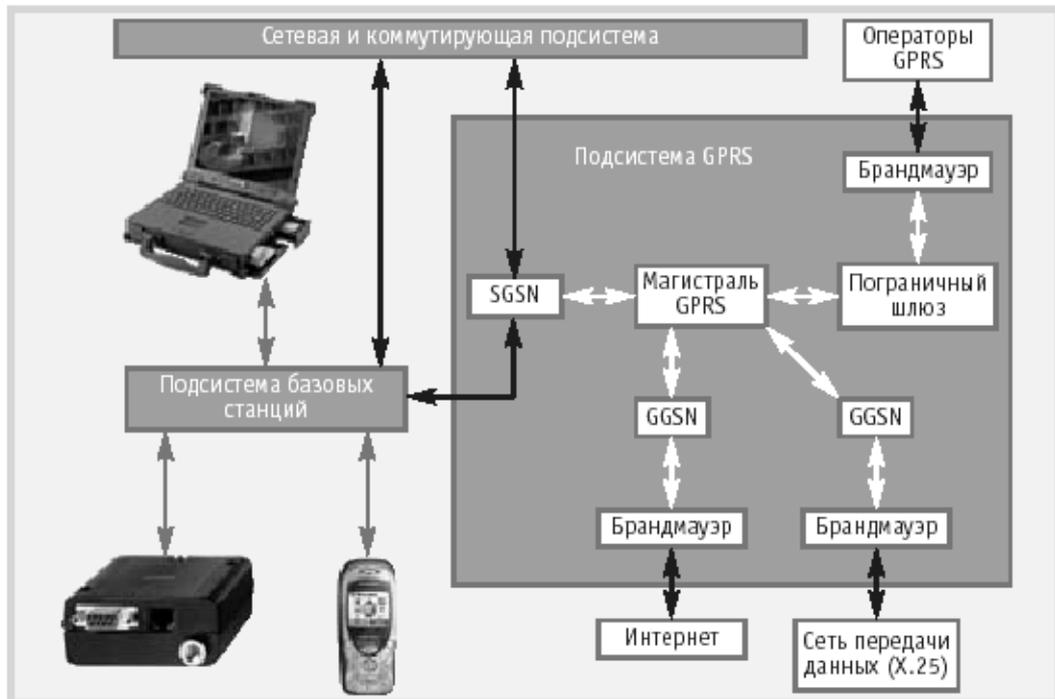


Рис. 12.9. Структура системы *GPRS*

В *GPRS*-систему заложена хорошая масштабируемость: при появлении новых абонентов оператор может увеличивать число *SGSN*, а при увеличении суммарного трафика – добавлять в систему новые *GGSN*. Внутри ядра *GPRS*-системы (между *SGSN* и *GGSN*) данные передаются с помощью специального туннельного протокола *GTP* (*GPRS Tunneling Protocol*).

Прежде чем приступить к работе с *GPRS*, мобильная станция должна зарегистрироваться в системе. За регистрацию пользователей отвечает *SGSN*. В случае успешного прохождения всех процедур абоненту выдается временный номер мобильного абонента для пакетной передачи данных.

Для быстрой маршрутизации информации *GPRS*-система нуждается в данных о месторасположении абонента относительно сети, причём с большей точностью, нежели в случае передачи голосового трафика. Чтобы оптимизировать работу системы в зависимости от местонахождения абонента, применяют деление терминалов на три класса:

- *IDLE* (неработающий). Терминал отключен или находится вне зоны действия сети. Система не отслеживает перемещение подобных абонентов.
- *STANDBY* (режим ожидания). Аппарат зарегистрирован в *GPRS*-системе, но уже долгое время (определяемое специальным таймером) не работает на передачу данных. Местоположение *STANDBY*

абонентов известно с точностью до *RA* (*Routing Area* – область маршрутизации); *RA* крупнее, чем сота, и состоит из нескольких элементарных ячеек.

- *READY* (готовность). Абонентский терминал зарегистрирован в системе и находится в активной работе. Координаты абонентов, находящихся в режиме *READY*, известны системе (а точнее, *SGSN*) с точностью до соты.

Согласно этой идеологии, терминалы, находящиеся в *STANDBY* режиме, при переходе из одной *RA* в другую посылают *SGSN* специальный сигнал о смене области маршрутизации. Если новая и старая *RA* контролируются одним *SGSN*, то смена *RA* приводит лишь к корректировке записи в *SGSN*. Если же абонент переходит в зону действия нового *SGSN*, то новый *SGSN* запрашивает у старого информацию о пользователе, а сетевая и коммутирующая подсистема, а также вовлеченные в работу *GGSN* ставятся в известность о смене *SGSN*.

Следует отметить такой важный параметр, как *QoS* (*Quality of Service* – качество сервиса). В *GPRS* существует несколько классов *QoS*, подразделяющихся по следующим признакам:

- необходимому приоритету (высокий, средний и низкий);
- надёжности (установлены три класса надёжности в зависимости от количества возможных ошибок разного рода, потерянных пакетов и т.п.);
- задержкам (задержки информации вне *GPRS* сети не учитываются);
- количественным характеристикам (пиковое и среднее значение скорости).

Класс *QoS* выбирается индивидуально для каждого нового сеанса передачи данных. Кроме *QoS*, в характеристику сессии передачи данных входят тип протокола (*Packet Data Protocol type* – *PDP type*), *PDP* адрес, выданный мобильной станции, а также адрес *GGSN*, с которым идет работа. Профиль сессии (*PDP context*) записывается в абонентский терминал, а также в обслуживающие его *SGSN* и *GGSN*. Одновременно может поддерживаться несколько профилей передачи данных для каждого пользователя.

Пакетная передача данных предусматривает два вида соединений:

- *PTP* (*Point-to-Point*) – «точка – точка»;
- *PTM* (*Point-to-Multipoint*) – «точка – многоточие».

Широковещательный режим с соединением *PTM*, в свою очередь, подразделяется на два подрежима:

- *PTMM* (*PTM-Multicast*) – информация передаётся всем пользователям, находящимся в определённой географической зоне;

- *PTMG (PTM Group Call)* – данные направляются определённой группе пользователей.

Абонентские устройства. Для работы с системой пакетной передачи данных необходимо иметь специальный телефон, совместимый с GPRS, или соответствующий модем.

GPRS-терминалы подразделяются на три класса:

- Класс *A*: терминалы способны одновременно работать как с передачей голоса, так и с передачей данных (они обладают возможностью функционировать как в режиме коммутации каналов, так и в режиме коммутации пакетов).

- Класс *B*: терминалы могут осуществлять либо передачу голоса, либо передачу данных.

- Класс *C*: терминалы поддерживают только передачу данных и не могут быть использованы для голосовой связи.

Максимальная скорость передачи данных определяется, в первую очередь, количеством каналов, с которыми одновременно может работать абонентский терминал. Один канал обеспечивает передачу данных со скоростью до 14,4 Кбит/с.

12.9. Беспроводные решения для автоматизации технологических процессов

Одними из первых промышленных решений с использованием технологии самоорганизующихся беспроводных сетей для автоматизации технологических процессов являются беспроводные сети *Smart Wireless* от компании *Emerson Process Management*, которые предоставляют возможность непосредственного подключения контрольно-измерительных приборов в беспроводную сеть с последующим получением информации в системе управления через беспроводной шлюз. Каждый датчик оснащается собственной антенной и независимым источником электропитания для поддержания работоспособности в течение длительного времени. Технология специально разработана для применения в области автоматизации технологических процессов.

Сеть *Smart Wireless* работает в диапазоне частот 2,4 ГГц, при этом оно надежно сосуществует с другими беспроводными сетями, установленными на предприятии (сети безопасности, управления, а также мобильные пульта) (см. рис. 12.10).

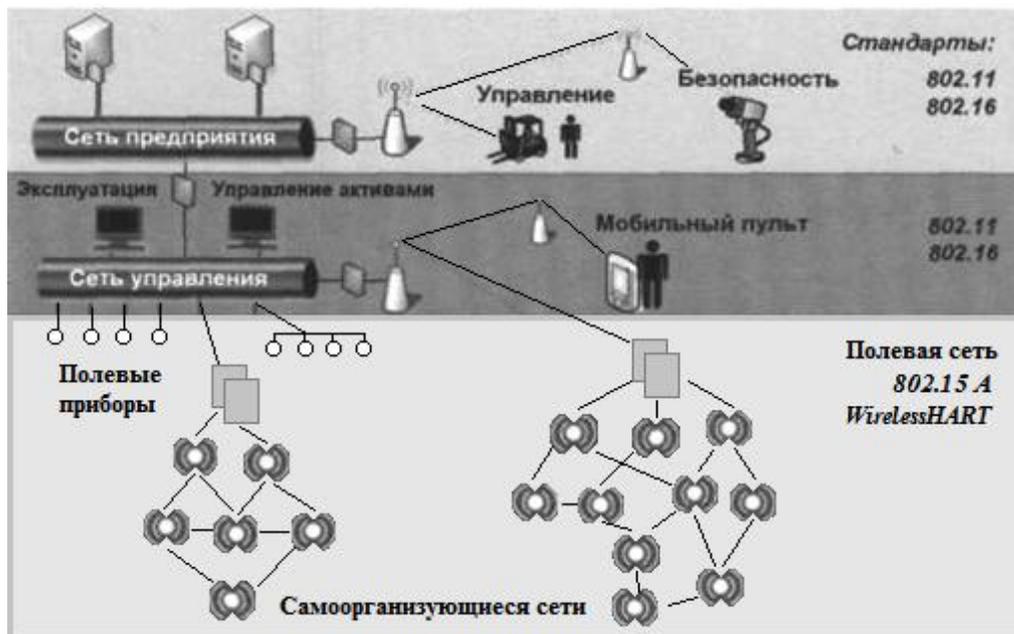


Рис. 12.10. Беспроводные решения *Smart Wireless*

Затраты на традиционное проводное подключение составляют значительную часть любого проекта, связанного с установкой измерительных приборов. Стоимость проводов, дополнительного аппаратного обеспечения и трудозатраты повышают стоимость любого проекта вне зависимости от его размеров. Считается, что отказ от кабельных линий позволяет снизить затраты на установку до 90 %. Решение *Smart Wireless* основано на беспроводных приборах *Rosemount*, которые поддерживают интеллектуальную технологию оптимизации потребления энергии, что позволяет продлить срок службы модуля питания, а также поддерживать надежность измерений, используя протокол *HART* для передачи данных и диагностической информации.

Беспроводные приборы *Rosemount* устанавливаются точно так же, как и традиционные проводные приборы, поэтому не требуется специального обучения персонала. Многоуровневый подход к обеспечению безопасности беспроводных сетей позволяет поддерживать защиту сети от несанкционированного доступа. Приборы в беспроводной сети используют методы шифрования, аутентификации, верификации, защиты от помех и управления ключами для обеспечения отправки данных только через беспроводной шлюз.

Преобразователь дискретного сигнала в беспроводной позволяет считывать значения с дискретных выходов и передавать их в беспроводную сеть. Данный преобразователь также может использоваться для контроля уровня в резервуарах или для контроля переключения клапанов.

Беспроводной шлюз отвечает за управление сетью, безопасность и интеграцию в систему верхнего уровня. Шлюз является точкой входа для передачи данных от беспроводных приборов, которые затем преобразовываются в формат, совместимый с другими системами. Через сеть *Ethernet* или последовательное соединение *RS-485* возможна системная интеграция с помощью *Modbus*, *OPC*, *TCP/IP*.

Решение *Smart Wireless* легко интегрируется в системы *Delta-V* и др., традиционные системы верхнего уровня и системы архивирования на основе стандартных промышленных протоколов (рис. 12.11).

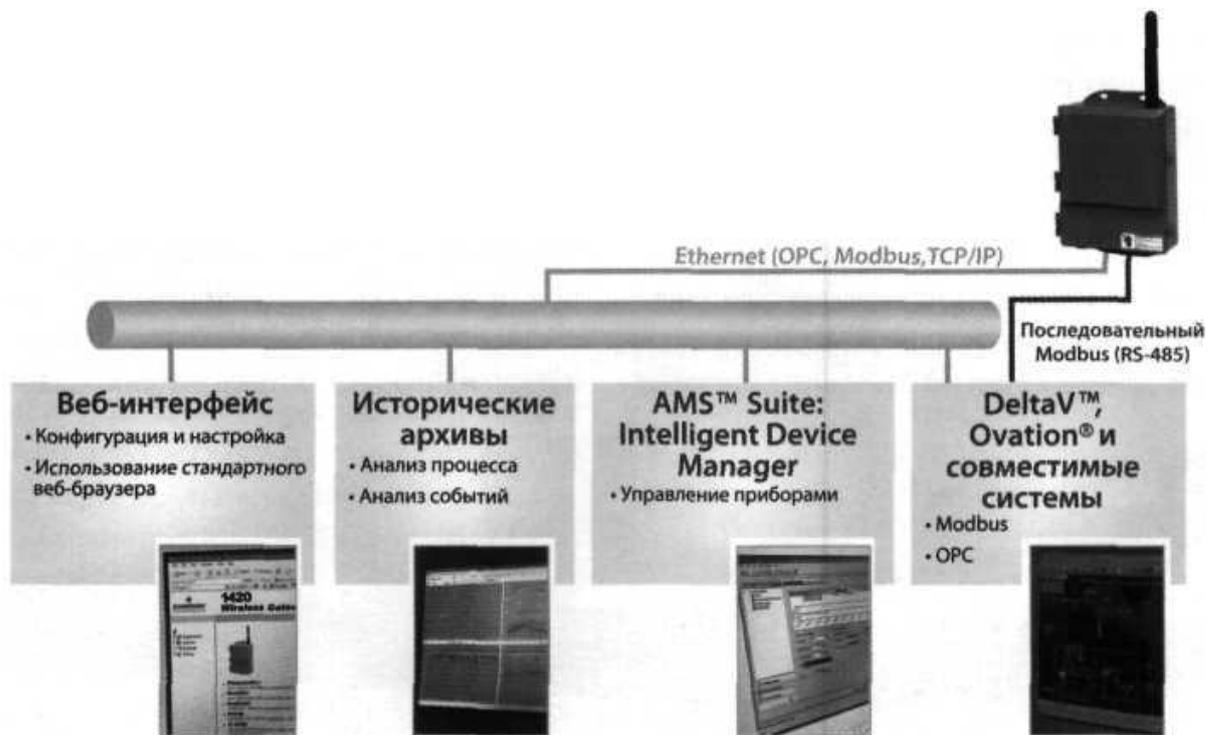


Рис. 12.11. Интеграция данных в систему верхнего уровня

В основе решения *Smart Wireless* лежит технология самоорганизующихся беспроводных сетей. В отличие от большинства беспроводных измерительных приборов, которые требуют наличия прямой видимости между измерительным прибором и шлюзом для передачи информации, решение *Smart Wireless* предоставляет беспроводным полевым приборам возможность самим взаимодействовать друг с другом (рис. 12.12).

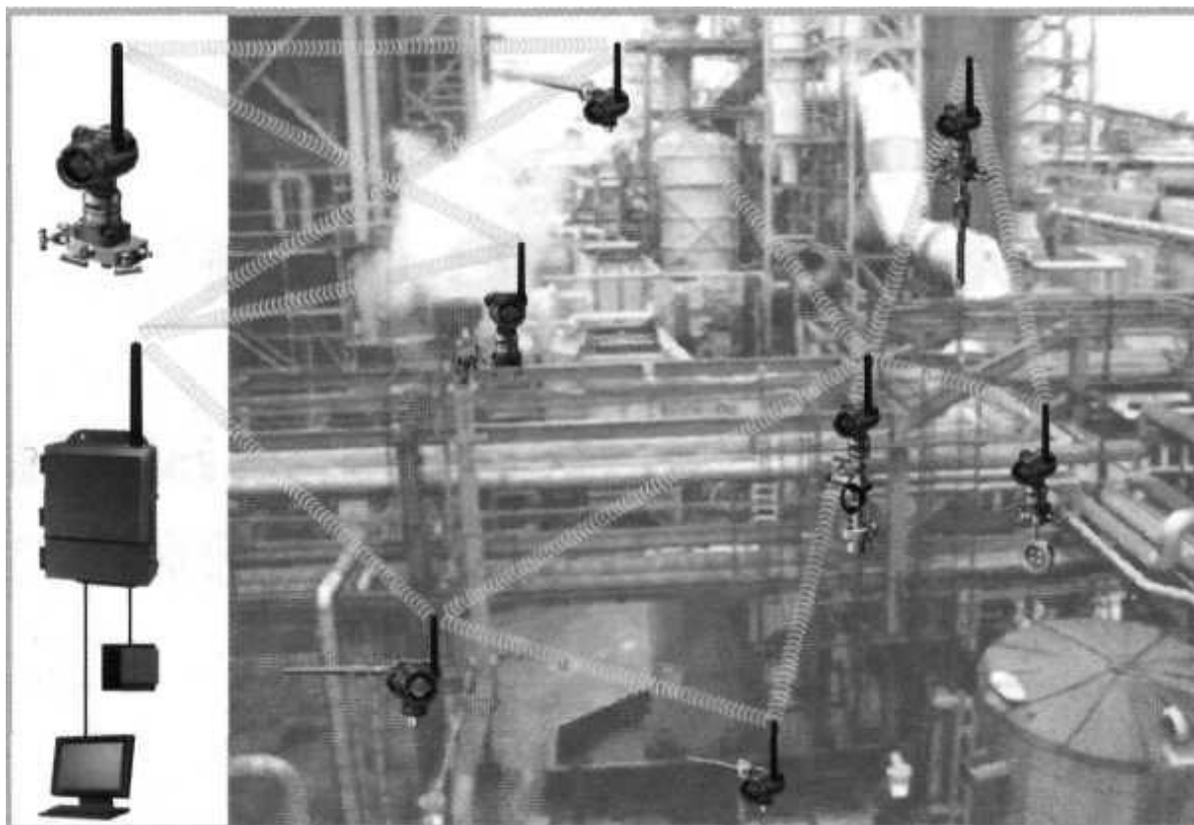


Рис. 12.12. Самоорганизующиеся беспроводные сети

Каждый прибор является полноправным независимым участником беспроводной сети и способен самостоятельно обмениваться данными с другими приборами. Каждый прибор может передавать как свою информацию, так и информацию от других приборов – в этом случае он является транслятором сигнала. Каждый прибор автоматически находит наиболее удобный путь для передачи сигнала в шлюз. При возникновении препятствий для прохождения сигнала по уже однажды пройденному маршруту сеть автоматически перестроится на новую структуру каналов обмена информацией.

Подобный способ организации передачи информации обладает надёжностью более 99 %, что было доказано в ходе опытной эксплуатации, то есть более 99 % выполненных измерений доставляются пользователю. Это достигается путём использования резервных каналов связи в сети, без проведения на объекте дорогостоящих и долгих исследовательских работ.

Сравнение протоколов передачи данных

Сеть	<i>One-Net</i>		<i>ZigBee</i>			<i>Z-Wave</i>		<i>KNX RF</i>
Преимущества	Конфигурируемые схемы построения, высокая надёжность		Размеры сети, использование менее загруженных диапазонов частот			Низкое энергопотребление, простота использования		Простота использования
Частоты, ГГц	0,868	0,915	0,868	0,915	2,4	0,868	0,908	0,868
Максимальная скорость передачи данных, Кбит/с	38,4–230,4		20	40	250	9,6		16,384
Расстояние между узлами в помещении (вне помещения), м	100(500)		30(100)			40 (60)		30(100)
Многоканальность	Да		Да			Отсутствует		Отсутствует
Количество поставщиков ИС	Много		Много			Один		Много
Размер сети (количество узлов)	2 ¹² с возможностью объединения		65 536 (16-битные адреса), 2 ⁶⁴ (64-битные адреса)			2 ³² (возможно объединение сетей посредством шлюзов)		
Метод шифрования данных	<i>XTEA-32</i> , <i>XTEA-8</i>		<i>AES-128</i>			Отсутствует		Отсутствует
Среда разработки	Свободная		Зависит от поставщика кристалла			От компании <i>Zensys</i> (5–10 тыс. долл США)		
Лицензия на стек протоколов	Свободная		«Защита» в кристалл поставщиком			Платная		Платная
Размер кода требуемой памяти программ	16К		48-128К			32К		
Топология сети	«P2P», «звезда», «многочейковая сеть»		«Точка – точка», «звезда», «дерево» «многочейковая сеть»			«Многочейковая сеть»		«P2P»

Использование беспроводных решений *Smart Wireless* позволяет узнать больше о своем технологическом процессе и увидеть возможности его улучшения: обнаружить центры переохлаждения в паропроводе, предотвратить переливы путем использования сигналов тревоги, заменить показывающие по месту приборы. Использование беспроводных сетей для мониторинга процессов позволяет увеличить количество собираемой информации для более эффективного управления.

Характеристики наиболее известных протоколов *One-Net*, *ZigBee*, *KNX RF* и *Z-Wave* передачи данных, используемых в АСУ ТП, представлены в табл. 12.4.

12.10. «Умная пыль»

Говоря о тенденциях развития промышленных интеллектуальных сетей, нельзя не отметить технологию «умной пыли» (*smart dust*). Под этим понимается сетевая технология сбора технической и иной информации через сотни тысяч датчиков, установленных в технологических аппаратах и сооружениях, коммуникациях, в стенах, на потолках, в окнах, на столах, в пропусках, т.е. повсюду на территории цеха, офиса и на открытой местности. Задача решается созданием маломощных узкополосных беспроводных *mesh*-сетей (замкнутых сетей).

Одним из ведущих исследователей в данной области считается Крис Пистер, профессор электромеханики из Калифорнийского университета в Беркли и главный технический директор компании *Dust Networks*, которую он основал в 2002 г. Концепция «умной пыли» подразумевает развертывание сети из тысяч беспроводных датчиков – «пылинок». Сегодня площадь «пылинки» составляет около 12 кв. мм, а в будущем она должна сократиться до размера булавочной головки. Каждая «пылинка» может работать в автономном режиме от микробатарейки в течение примерно 10 лет. Идея состоит в том, чтобы усеять микродатчиками здания, квартиры, предприятия или разбросать их на поле либо в лесу, а затем собирать с них информацию с помощью общей системы мониторинга.

Разработчики технологии столкнулись, однако, с проблемой распространения маломощных радиоволн, которым трудно преодолеть физические преграды, например, бетонные стены и металлические трубы. К тому же слабые сигналы микродатчиков легко заглушались электромагнитными помехами, и в результате эффективность «умной пыли» резко падала. После многочисленных экспериментов и полевых

испытаний «умная пыль» стала такой же надежной, как обычные проводные сети, причем стоимость ее развертывания и технической поддержки намного ниже, чем у традиционных сетевых инфраструктур. Решить проблему надежности удалось с помощью коротких цифровых сообщений, передаваемых в разное время на разных частотах по разным направлениям. Если на каком-то участке сигнал блокировался, то на других его передача могла происходить без помех.

Вначале предполагалось продавать новые системы компаниям, занимающимся промышленной автоматизацией, для облегчения задач мониторинга трубопроводов, кранов, клапанов и емкостей на нефте- и газоперерабатывающих заводах и других промышленных предприятиях со сложной рабочей средой. В ходе испытаний «умная пыль» показала очень высокую надежность.

Но «умную пыль» можно использовать и для повышения эффективности эксплуатации зданий. Так, владелец здания может развернуть целую сеть «умных датчиков» для системы отопления в каждом офисе, чтобы не полагаться на данные лишь одного термостата. Матрица микроустройств может отслеживать уровень солнечной освещенности в любой комнате и передавать данные на пульт управления, чтобы по мере необходимости усиливать или снижать уровень искусственного освещения. Кроме того, «умная пыль» может определить, кто находится в том или ином помещении, считывая информацию с электронных пропусков. Вводя данные в системы жизнеобеспечения (отопления, кондиционирования, освещения и т.п.), можно автоматически включать необходимые устройства там, где это требуется.

Dust Networks использует коммуникационный протокол, весьма схожий с *IP*. *IP*-стандарт для беспроводных сенсорных сетей разрабатывает главный орган стандартизации Интернета – *IETF (The Internet Engineering Task Force)* – совместно с фирмами *Dust Networks* и *Cisco Systems*. Сегодня беспроводные датчики *Dust Networks* легко связываются с Интернет-сетями через специальные шлюзы. Данные, собираемые «пылинками», преобразуются с помощью привычного Интернет-протокола *XML*.

12.11. Персональная спутниковая радиотелефонная связь

На исходе XX века родилась еще одна чудо-технология – персональная радиосвязь с любым абонентом, находящимся в любой точке нашей планеты. Эта технология обеспечивается системами персональной

спутниковой радиосвязи (СПСР), использующими комплексы космических ретрансляторов и абонентских радиотерминалов.

В общем случае любая спутниковая система связи состоит из трех сегментов: **космического** (группы космических спутников-ретрансляторов), **наземного** (наземные станции обслуживания, станции сопряжения) и **пользовательского** (терминалы, находящиеся у потребителя). И если для сотовой связи важным параметром является высота подъема антенны базовой станции, то для систем спутниковой связи то же значение имеет высота орбиты спутников-ретрансляторов (СР).

В настоящее время все системы спутниковой связи по высоте орбиты можно подразделить на:

- **геостационарные** орбиты (*GEO – Geostationary Earth Orbit* – спутник-ретранслятор как бы висит над одной точкой поверхности Земли): высота орбиты – 36 000 км; количество СР, необходимых для охвата всей территории земного шара, – 3 один спутник-ретранслятор перекрывает 34 % земной поверхности, временная задержка передачи сигнала составляет примерно 600 мс;
- **средневысокие** круговые или эллиптические орбиты (*MEO – Mean Earth Orbit*): высота орбиты в диапазоне от 5000 до 15 000 км, количество необходимых СР – 8–12, зона перекрытия одним спутником – 25–28 %, временная задержка передачи сигнала – 250–400 мс;
- **низкие** круговые или близкие к круговым орбиты (*LEO – Low Earth Orbit*): высота орбиты в диапазоне от 500 до 2000 км, количество необходимых СР – 48–66; зона перекрытия одним спутником – 3–7 %; временная задержка передачи сигнала – 170–300 мс.

Первая широко известная система спутниковых телекоммуникаций с мобильными абонентами «Инмарсат» (*Inmarsat*) и ей подобные обеспечивали обслуживание по принципу «следование абонента за терминалом»: радиотерминал с приемопередающей аппаратурой и мощной антенной устанавливался на подвижном объекте (автомобиле, поезде, корабле, самолете), и абонент был привязан к этому объекту, следовал за ним. Радиотерминал через спутник-ретранслятор, находящийся на геостационарной орбите, получал связь с радиотерминалами других абонентов.

Более поздние системы (*Inmarsat 3, EMSS, MSAT, «Марафон»*) позволили реализовать принцип «терминал следует за абонентом», поскольку при использовании более эффективных узконаправленных антенн мощность сигнала в локальных зонах обслуживания увеличилась и радиотерминал абонента стал более портативным (в виде небольшого чемоданчика, «кейса» и т.п.).

Возможность дальнейшего увеличения мощности радиосигнала и уменьшения размеров абонентских радиотерминалов обеспечивается путем приближения спутников-ретрансляторов к абонентам, т.е. переводом их с геостационарных на более низкие орбиты *LEO* и *MEO*, но при этом для охвата той же территории приходится использовать большее количество СР. Имеется определенная аналогия СПРС с системами сотовой телефонии – зоны обзора земной поверхности многолучевыми антеннами СР формируют сотовую (макросотовую) структуру покрытия зоны обслуживания.

Низкие орбиты уже давно рассматривались как основа для организации систем спутниковой связи, но их использование тормозилось определенной инерцией мышления, настроенного на то, что спутник-ретранслятор должен быть виден долго и непрерывно, а лучше всего быть неподвижным для наблюдателя (т.е. находиться на геостационарной орбите).

И только в последние годы появился ряд систем спутниковой связи, использующих низкие орбиты и более портативные абонентские радиотерминалы, вплоть до карманных радиотелефонных трубок.

В настоящее время имеется уже несколько десятков различных СПРС, характеристики некоторых из них приведены в табл. 12.5.

Таблица 12.5

Основные характеристики некоторых СПРС

Тип СР	Класс СР	Число СР	Высота орбиты, км	Масса СР, кг	Диапазон частот, ГГц		Скорость передачи, Кбит/с
					Прием	Передача	
«Орбита»	<i>GEO</i>	8	36 000	2200	5,98–6,28	3,65–3,95	9,6
«Горизонт»		2		2500			
«Экспресс»							
«Горизонт»	<i>GEO</i>	2	36 000	2200	5,88–6,38	3,55–4,05	9,6–64
«Ямал-100»	<i>GEO</i>	3	36 000	1300	3,46–3,79	5,76–6,12	9,6
<i>ICO</i>	<i>MEO</i>	10	10 300				
<i>Odissey</i>	<i>MEO</i>	12	10 400	2500			
<i>Inridium</i>	<i>LEO</i>	66	780	700	1,616–1,625	1,616–1,625	9,6
<i>Globalstar</i>	<i>LEO</i>	48	1414	426	6–7	6–7	9,6
«Гонец»	<i>LEO</i>	45	1400	250	0,312–0,315	0,387–0,390	2,4–19,2
«Сигнал»	<i>LEO</i>	48	1500	310	0,3–0,4	1,5–1,6	9,6

Большинство существующих спутниковых систем связи имеют геостационарные спутниковые группировки, что легко объяснимо: небольшое количество спутников при охвате всей поверхности Земли. Однако большая задержка сигнала делает их применимыми, как правило, только для радио- и телевидения. Для систем радиотелефонной связи большая задержка сигнала крайне нежелательна, так как приводит к плохому качеству связи и повышению стоимости обслуживания.

Низкоорбитальные СПРС *Iridium* имеют 66 спутников-ретрансляторов (5 мая 1997 года запущены первые пять из них) на орбитах высотой 780 км, а *Globalstar* – 48 на высоте 1400 км. Такое количество СР необходимо для поддержания непрерывного канала связи, предоставляемого любому абоненту на территории земного шара, поскольку каждый из низкоскоростных спутников-ретрансляторов находится в зоне видимости абонентского радиотелефона всего несколько минут за время каждого оборота спутника на орбите. Благодаря движению спутников друг за другом, их расположению в разных орбитальных плоскостях и автоматическому переключению связи с одного СР на другой, гарантируется полное перекрытие поверхности планеты зонами обзора и непрерывная связь с абонентом. Число обеспечиваемых системами каналов связи достигает 60 000–70 000.

Система *Iridium*. Разработчик – международный консорциум *Iridium Ltd.*, Вашингтон. Система глобальной подвижной персональной спутниковой связи предназначалась для предоставления услуг связи с подвижными и фиксированными объектами, рассредоточенными на всей территории земного шара. Космический сегмент системы состоял из 66 основных (высота орбиты 780 км над поверхностью Земли) и 6 резервных спутников (645 км). Система предоставляла абонентам следующие услуги: передача речи (2,4 Кбит/с), передача данных и телефакс со скоростью до 9600 Кбит/с, персональный вызов и определение местоположения.

Будучи очень дорогостоящим проектом (более 5 млрд долларов), *Iridium* в начальной стадии развития установил сверхвысокие цены на терминалы и трафик, ошибочно ориентируясь только на очень богатых потребителей услуги. Кроме того, в процессе эксплуатации возникли непредусмотренные проектом технические и финансовые проблемы, что привело консорциум к банкротству. В настоящее время обслуживание абонентов России не производится.

Система *Globalstar*. Система глобальной подвижной персональной спутниковой связи *Globalstar* (компания *Globalstar Ltd.*, Сан-Хосе, штат Калифорния) предназначена для предоставления услуг связи с подвижными и фиксированными объектами, расположенными на территории земного шара между 70 ° северной широты и 70 ° южной широты.

Эта система, используя сеть низкоорбитальных спутников или объектов (НОО), предоставляет услуги по передаче голоса, данных, обмену сообщениями, факсимиле и услуги определения местонахождения для клиентов во всем мире, использующих существующие общественные или частные телефонные компании. Она состоит из трех основных сегментов (космический сегмент, сегмент пользователя, наземный сегмент), взаимодействующих с существующими наземными сетями связи (рис. 12.13).

Космический сегмент системы «Глобалстар» представляет собой группировку из 48 низкоорбитальных спутников со следующими характеристиками:

Число орбит – 8;

Высота орбит – 1414 км;

Наклонение – 52 град;

Число спутников на одной орбите – 6;

Число космических аппаратов, одновременно обслуживающих территорию России – не менее 4

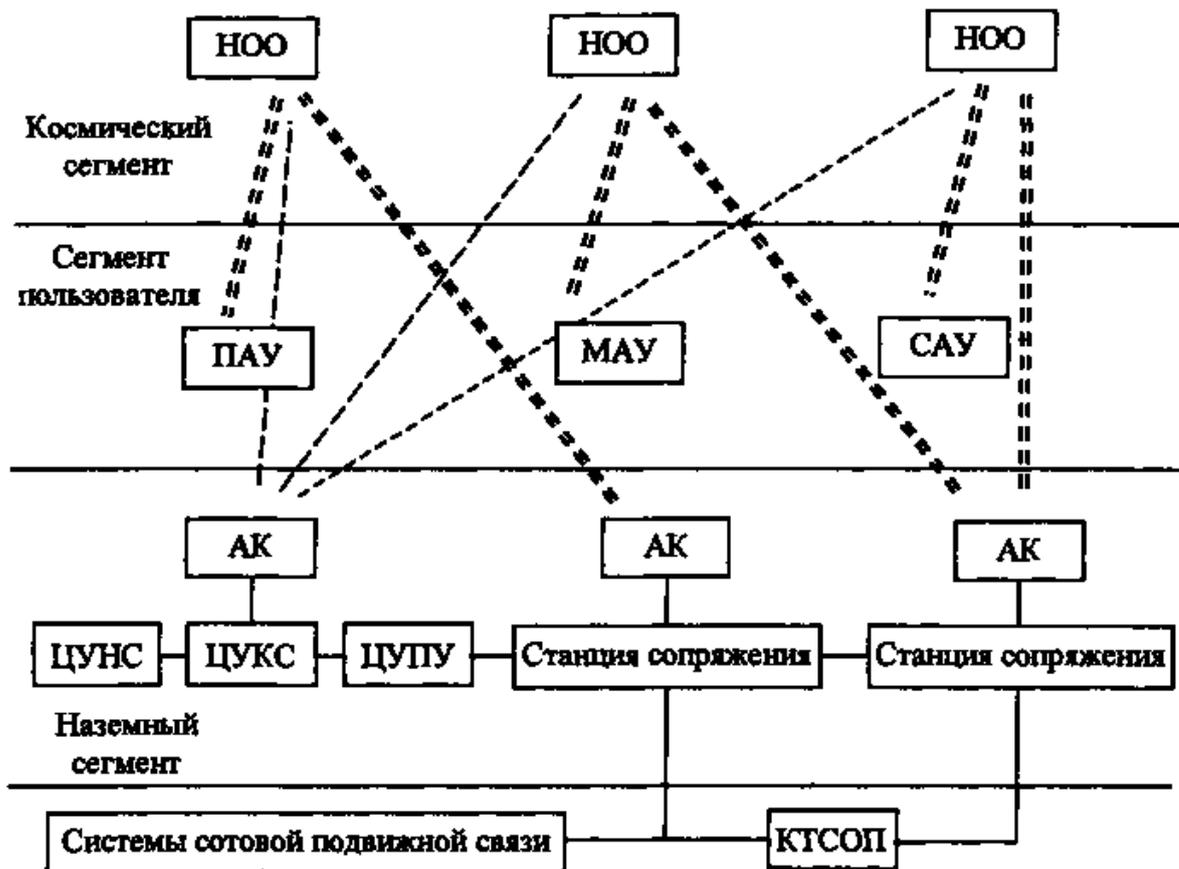


Рис. 12.13. Структурная схема системы «Глобалстар»

Каждый спутник содержит антенный комплекс, формирующий 16 лучей, создающих на поверхности Земли зону обслуживания диаметром в несколько тысяч километров, внутри которой возможна коммутация на любую CDMA-несущую с шириной полосы развертывания 1,25 МГц.

Благодаря низкой орбите спутников задержка сигнала и его искажения минимальны. Спутниковая система «Глобалстар» разработана таким образом, что не требует сложных и мощных пользовательских терминалов и наземных станций, это позволяет использовать портативные пользовательские терминалы, сопоставимые по размерам с обычными сотовыми телефонами.

Пользовательский сегмент состоит из портативных (ПАУ), мобильных (МАУ) и стационарных (САУ) терминальных устройств, использующихся для передачи голоса, данных и определения местоположения. Различают одно-, двух- и трехмодовые устройства. Одномодовые устройства используют только для доступа к системе «Глобалстар». Двух- и трехмодовые устройства, кроме доступа к системе «Глобалстар», также используются для доступа к наземным сотовым или другим мобильным радиосетям.

Наземный сегмент состоит из станций сопряжения, центра управления наземным сегментом (ЦУНС), центра управления космическим сегментом (ЦУКС), телекомандного оборудования, сети передачи данных и центров управления поставщиков услуг (ЦУПУ).

Станции сопряжения обеспечивают взаимодействие спутниковой системы подвижной связи и наземных кабельных и мобильных сетей. Большое количество таких станций, установленных по всему миру, гарантирует непрерывное обслуживание пользователей. ЦУНС планирует и контролирует использование ресурсов спутников (каналов, ширины полосы частот и т.п.) станциями сопряжения и взаимодействует с ЦУКС. Наземный центр управляет также сетью передачи данных и станциями сопряжения.

ЦУКС через телекомандные устройства следит за работоспособностью спутников и состоянием их орбит. Он обрабатывает, отображает в реальном времени и проверяет на соответствие параметрам данные телеметрии, поступающие со спутников; в случае несоответствия требованиям выдает отчет об отклонениях. ЦУКС также распределяет и корректирует положение постоянных орбит посредством команд, передаваемых на спутники. Телекомандное оборудование, расположенное на отдельных станциях сопряжения, обеспечивает прием телеметрии и управление спутниковой группировкой. Сеть передачи данных *GDN*

(*Globalstar Data Network*) – служит для обеспечения связи между частями наземного сегмента системы (управляется и контролируется ЦУНС) и предоставляет широкий спектр возможностей для связи станций сопряжения, ЦУНС, ЦУКС, телекомандного оборудования и делового офиса системы «Глобалстар». Схема организации связи такова, что все вызовы (как местные, так и международные) обрабатываются и коммутируются в наземной станции сопряжения с последующей передачей в телефонную сеть общего пользования (ТфОП). Это обеспечивает связь с абонентскими терминалами «Глобалстар» и другими наземными телефонными и сотовыми сетями, причем перечень услуг, предоставляемых местными операторами связи, не дублируется, а дополняется. Станция сопряжения подключает спутниковую сеть к наземной сети мобильной связи (ССПС) – такой, как *AMPS* или *GSM*, или непосредственно к АТС местной телефонной сети (ТфОП) посредством стандартного канала *E1/T1*, поддерживающего различные типы протоколов.

Наземный сегмент на территории России включает три станции сопряжения (Москва, Новосибирск, Хабаровск), обеспечивающих около 98 % охвата территории России южнее 70-й параллели с гарантированным качеством обслуживания. Каждая станция сопряжения связана с сетью общего пользования страны и может быть интегрирована с действующими стационарными и сотовыми сетями России. Каждая станция включает в себя антенную площадку с четырьмя антенными комплексами (АК) (диаметр антенны – 5 м), приемопередающую радиоаппаратуру, а также оборудование для маршрутизации и коммутации вызовов (отвечает за земную связь, в том числе за *GSM*-связь).

Коммутационное и канальное оборудование связано волоконно-оптическими линиями с антенной площадкой. Оно осуществляет передачу и прием сигналов *CDMA* на промежуточной частоте.

Программно-аппаратный комплекс управления оборудованием станции сопряжения обеспечивает не только визуализацию сети в целом, но и оперативное отслеживание спутников, работающих в данный момент с антеннами станции сопряжения. В число функций программного обеспечения (ПО) управления входят формирование ежесуточных отчетов о возникающих неисправностях, работе антенных комплексов, активности абонентов и многое другое. Все российские станции сопряжения соединены между собой магистралями (64 Кбит/с), принадлежащими «ГлобалТел», по которым и проходит внутренний трафик российского сегмента «Глобалстар».

Система «Глобалстар» для передачи данных в обоих направлениях использует следующий диапазон частот с использованием архитектур *CDMA* и *TDMA/FDMA*:

абонентские линии

1610.1621,35 МГц (линия вверх);

2483,5.2500 МГц (линия вниз);

фидерные линии

5091.5250 МГц (линия вверх);

6875.7055 МГц (линия вниз).

Абонентские линии обеспечивают передачу между спутниками и конечными пользователями мобильных терминалов, фидерные линии – передачу сообщений пользователя между спутниками и наземными базовыми станциями.

Сегмент пользователя образуют абонентские терминалы нескольких типов:

- портативные (трубка в руке), аналогичные сотовым телефонам;
- мобильные (устанавливаемые на подвижном средстве);
- стационарные телефонные аппараты, концентраторы, таксофоны.

Космический сегмент системы представляет собой группировку из 48 основных и 8 резервных спутников, весом менее 450 кг, размещенных на круговых орбитах на высоте 1414 км над поверхностью Земли. Спутники первого поколения рассчитаны на работу в режиме полной нагрузки не менее 7,5 лет.

Для охвата большей территории земного шара планируется построить порядка 50 станций сопряжения, обеспечивающих максимальное покрытие (до 85%) земной поверхности. Построено 38 станций сопряжения. В России находятся в эксплуатации 3 таких станции: в Московской области (Павловский Посад), Новосибирске и Хабаровске. Эти станции обеспечивают предоставление услуг подвижной связи с высоким качеством обслуживания практически на всей территории России южнее 70 ° северной широты. Каждая из станций связана с сетью общего пользования России. Система *Globalstar* эксплуатируется в России с мая 2000 года. В 2002 году *Globalstar* уже обслуживала более 150 000 отечественных абонентов.

Среднеорбитальные системы *Odyssey* и *ICO* с высотой орбиты порядка 10000 км, ввиду большего обзора территории с одного спутника-ретранслятора, позволяют сократить количество последних до 10–12 штук (время видимости одного СР доходит до нескольких часов). Число обеспечиваемых системами каналов связи достигает 25–30 тыс.

Весьма перспективной обещает быть среднеорбитальная система подвижной персональной спутниковой связи ICO (международная компания «*ICO Global Communications*»), предназначенная для предоставления услуг связи с подвижными и фиксированными объектами на всей территории земного шара, включая приполярные районы. Система будет содержать десять основных и два резервных спутника на *МЕО*-орбите высотой примерно 10 390 км над поверхностью Земли.

Согласно проекту, большую часть абонентских терминалов системы составят персональные телефонные аппараты, способные работать в двух режимах (спутниковый/наземный сотовый).

Особенностью данной системы станет специально сформированная сеть *ICONet*, которая соединит между собой «интеллектуальными» линиями связи двенадцать узлов спутникового доступа (УСД), расположенных по всему миру, и обеспечит быстрое соединение сетей общего пользования с мобильными терминалами и мобильных терминалов между собой вне зависимости от их местонахождения. На территории России предполагается строительство одного УСД.

Система *ICO* планирует предоставить пользователям следующие виды услуг: телеслужбы, услуги транспортной среды, услуги, предоставляемые в системе *GSM*, услуги по передаче сообщений и роумингу.

Телеслужбы будут предоставлять такие услуги, как цифровая телефония, экстренные вызовы, передача факса группы 3 на скоростях до 14,4 Кбит/с, и услуги по передаче коротких сообщений. При этом цифровая телефония будет обеспечивать качество передачи речи, подобное тому, которое обеспечивается существующими стандартами наземной подвижной радиосвязи.

На территории России системой *ICO* пользуются более полмиллиона абонентов.

СПРС имеют ряд особенностей в технических аспектах их организации, но в сфере пользовательских характеристик и предоставляемых абонентам услуг они во многом похожи на наземные сотовые системы. Это часто позволяет с одного радиотелефона, в зависимости от местонахождения абонента, поочередно осуществлять спутниковую и наземную сотовую связь (роуминг между соответствующими сетями). Передача информации в спутниковых системах ведется в цифровой форме со скоростями 9600–64 000 бит/с.

Помимо дуплексной телефонной связи СПРС обеспечивают предоставление целого ряда сервисных услуг, таких как:

- факсимильная связь;
- электронная почта;
- голосовая почта;
- пейджинговая связь;
- режим приоритетного обслуживания;
- режим персонального радиовызова;
- возможность подключения к радиотелефону портативного компьютера;
- защита информации от несанкционированного доступа;
- определение местоположения мобильного абонента и т.д.

Современные системы подвижной спутниковой связи совместимы с традиционными наземными системами подвижной связи (в первую очередь – с цифровыми сотовыми). При этом взаимодействие сетей подвижной спутниковой радиосвязи с телефонной сетью общего пользования возможно на любом уровне (местном, внутризональном, междугородном).

В перспективе, СПРС призваны развивать и дополнять сотовую радиотелефонную связь там, где последняя невозможна или недостаточно эффективна – при передаче информации на большие расстояния, в районах с малой плотностью населения, в морских акваториях и т.п.

12.12. Спутниковые навигационные системы

Большой интерес представляют спутниковые системы определения местоположения мобильного объекта с большой точностью – в разных режимах погрешности определения координат могут составлять от нескольких сантиметров до нескольких метров. В качестве мобильного объекта может выступать как любое средство передвижения (автомобиль, яхта, самолет и т.д.), так и человек – пользователь системы.

Проект спутниковой сети для определения координат в режиме реального времени в любой точке земного шара первоначально был создан в министерстве обороны США и назван *NAVSTAR (NAVigation Satellite with Timing And Ranging* – навигационная система определения времени и дальности). Название *Global Positioning System (GPS)* – система глобального позиционирования – появилось позднее, когда система стала использоваться не только в оборонных, но и в гражданских целях.

Первые шаги по развертыванию навигационной сети были предприняты в середине 70-х гг., коммерческая же эксплуатация системы в ее современном виде началась с 1995 года. В настоящий момент в сети

задействованы 28 спутников, равномерно распределенных по орбитам с высотой 20 350 км (для полнофункциональной работы достаточно 24 спутников). Сеть GPS довольно активно развивается – ежегодный прирост ее абонентов составляет примерно 1 млн приемников.

Базой для определения координат GPS-приемника является вычисление расстояния от него до нескольких спутников, местонахождение которых считается известным (эти данные содержатся в передаваемых со спутников данных). Дальнометрия основана на вычислении расстояния по временной задержке распространения радиосигнала от спутника к приемнику. Если знать время распространения сигнала, то пройденный им путь легко вычислить, просто умножив время на скорость света. При использовании для координации 6–8 спутников (большинство современных аппаратов имеют 12-канальный приемник, позволяющий одновременно обрабатывать информацию от 12 спутников) погрешность местоопределения составляет 3–5 м (высота определяется с точностью около 10 м).

Качественно уменьшить ошибку (до нескольких сантиметров) в измерении координат позволяет режим так называемой дифференциальной коррекции (*DGPS – Differential GPS*). Дифференциальный режим подразумевает два приемника, один из которых является стационарным, находится в точке с известными координатами и называется базовым, а второй является подвижным. Данные, полученные базовым приемником, используются для коррекции информации мобильного приемника. Обычно в качестве базового применяется профессиональный приемник, принадлежащий какой-либо компании, специализирующейся на оказании услуг навигации или занимающейся геодезией. Например; в феврале 1998 года недалеко от Санкт-Петербурга компания «НавГеоКом» установила первую в России наземную станцию дифференциальной GPS. Мощность передатчика станции – 100 Вт (частота – 298,5 кГц), что позволяет пользоваться DGPS при удалении от станций на расстояния до 300 км по морю и до 150 км по суше.

Но система дифференциальной коррекции требует весьма дорогостоящего оборудования и используется обычно только в системах специального назначения (в обычных бытовых устройствах точность определения места до нескольких сантиметров и не нужна).

В качестве мобильного приемника (навигатора) выступают портативные специализированные устройства либо сотовые телефоны стандартов *GSM/CDMA* со специальным программным обеспечением или встроенным микрочипом.

Например, специализированный навигатор *GPSII+* имеет вес 255 г, размеры – 59×27×41 мм и большой дисплей (56×38 мм). При включении навигатора начинается процесс сбора информации со спутников, а на экране появляется простенькая мультипликация (вращающийся земной шар). После первоначальной инициализации (которая на открытой местности занимает пару минут) на дисплее возникает примитивная карта неба с номерами видимых спутников, а рядом – гистограмма, свидетельствующая об уровне сигнала от каждого спутника. Кроме того, указывается погрешность навигации (в метрах) – чем больше спутников видит прибор, тем, разумеется, точнее будет определение координат.

Интерфейс *GPSII+* построен по принципу «перелистываемых» страниц (для этого даже есть специальная кнопка *PAGE*). Выше была описана страница спутников, а кроме нее есть страница навигации, карта, страница меню и ряд других. На странице навигации отображаются: абсолютные географические координаты, пройденный путь, мгновенная и средняя скорости движения, высота над уровнем моря, время движения, а в верхней части экрана – электронный компас.

Пройденный путь отображается на карте, причем ее масштаб можно менять от десятков метров до сотен километров в сантиметре. Удобно также и то, что в памяти прибора имеются координаты основных населенных пунктов земного шара.

Сотовый телефон *Benefon Esc!* (*GSM 900/1800*) имеет зашитый в микрочип протокол *MPTP* (*Mobile Phone Telematics Protocol*), позволяющий абоненту оперативно вывести на экран информацию о собственном местоположении, а также узнать координаты ближайших сервисных центров. Телефон имеет 12-канальный *GPS*-навигатор со сменными электронными картами местности.

Системы *GPS* часто включают в свой состав помимо *GPS*-приемника карту местности, локальный *LCD*-экран, вмонтированный в переднюю панель автомобиля (иногда на переднем стекле), и пульт. Водитель может ввести пункт назначения, система прокладывает оптимальный маршрут по улицам города, показывает маршрут, дальность, время поездки. Предоставляется и дополнительный сервис: информация об ограничениях движения, о пробках на дорогах и т.п.

Контрольные вопросы

1. Классифицируйте беспроводные сети.
2. Опишите достоинства и недостатки инфракрасных и лазерных беспроводных каналов.
3. Для организации канала прямого доступа в каких диапазонах дециметровых волн требуется разрешение Госсвязьнадзора РФ?
4. Дайте характеристику беспроводным радиоканалам.
5. Охарактеризуйте два способа передачи двоичной информации в ЛВС?
6. Поясните технологию широкополосного шумоподобного сигнала.
7. Сравните спутниковые каналы обмена данными на геостационарных и низких орбитах.
8. Дайте классификацию и поясните стандартные радиосети *IEEE* комитета 802.
9. Расскажите о радиосетях на рабочем месте *Wireless PAN*.
10. Каковы преимущества и недостатки радиосетей *Wireless LAN (Wi-Fi)*.
11. Охарактеризуйте цифровые системы мобильной связи стандарта *GSM*.
12. Расскажите о система беспроводной связи *GPRS*.
13. Поясните беспроводные решения для автоматизации технологических процессов.
14. Какие перспективы имеет разработка «Умная пыль»?
15. Охарактеризуйте персональную спутниковую радиотелефонную связь.
16. Расскажите о возможных приложениях спутниковых навигационных систем.

Глава 13. СЕТЕВЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

13.1. Общая характеристика сетевых программных средств

Одним из основополагающих принципов построения современных компьютеров является принцип программного управления, заключающийся в том, что последовательность действий компьютера определяется заранее заданной программой. Этот принцип обеспечивает универсальность компьютера, поскольку компьютер может использоваться для решения любой задачи, которая описывается последовательностью действий, приводящих к требуемому результату.

Для нормальной работы пользователя недостаточно одной программы, обеспечивающей решение какой-то конкретной задачи, поэтому в архитектуре вычислительной машины применяется более широкое понятие – программное обеспечение (*software*).

Программное обеспечение – совокупность программ, процедур и правил, обеспечивающих взаимодействие аппаратных средств, а также взаимодействие пользователя с вычислительной системой. Программное обеспечение вычислительной машины функционирует на нескольких связанных между собой уровнях, образуя иерархию, в которой каждый последующий уровень базируется на программном обеспечении предшествующих уровней.

Системное программное обеспечение – это программное обеспечение, включающее операционные системы, сетевое программное обеспечение, сервисные программы, а также средства разработки программ. Основой системного программного обеспечения является операционная система.

Операционные системы различают по особенностям реализации внутренних алгоритмов управления основными ресурсами компьютера, особенностям использованных методов проектирования, типам аппаратных платформ, сферам применения и др. (рис. 13.1).

Обобщенная характеристика современной операционной системы для вычислительной машины, являющейся узлом вычислительной сети, – сетевая, многопользовательская, многозадачная и даже многопроцессорная. Всем этим критериям соответствуют наиболее распространенные операционные системы семейства *Windows*, выпускаемые компанией *Microsoft* для персональных компьютеров начиная с 2000 г. Включение сетевого ядра в операционные системы персональных компьютеров в первую очередь, связано с развитием и массовым использованием глобальной сети *Internet*.



Рис. 13.1. Классификация операционных систем

Сетевое программное обеспечение является составной частью системного программного обеспечения и предназначено для управления общими ресурсами в распределенных вычислительных системах. Общими ресурсами, как правило, являются сетевые накопители на магнитных и оптических дисках, принтеры, сканеры и другие аппаратные средства. Кроме этого, к общим ресурсам относятся программы и данные.

К сетевому программному обеспечению, помимо операционных систем, поддерживающих работу вычислительной машины в сетевых конфигурациях (сетевые операционные системы), также относятся отдельные сетевые программы (пакеты), используемые совместно с операционными системами, не имеющими сетевого ядра.

13.2. Структура сетевой операционной системы с архитектурой «клиент – сервер»

Сетевая операционная система составляет основу любой вычислительной сети. В узком смысле сетевая операционная система – это операционная система отдельной вычислительной машины, обеспечивающая ей возможность работы в сети.

В процессе развития сетевых операционных систем развивались два подхода к их построению.

Первый подход рассматривал сетевую операционную систему как совокупность локальной операционной системы и надстроенной над ней сетевой оболочки. При этом локальная операционная система включала минимум сетевых функций, достаточных для ее взаимодействия с сетевой оболочкой, на которую возлагались основные задачи сетевого взаимодействия. Примерами такой реализации сетевых операционных систем являются объединения операционной системы *DOS 7.0* и сетевой оболочки *Personal Ware*, а также операционной системы *OS/2* и сетевой оболочки *LAN Manager*.

Второй подход к построению сетевых операционных систем, являющийся более эффективным, предусматривает внедрение сетевых функций в ядро операционной системы, что обеспечивает большую производительность операционной системы, ее устойчивость, безопасность и простоту эксплуатации. Примерами таких операционных систем являются операционные системы семейства *Windows* (*Windows NT*, *Windows 2000*, *Windows XP*, *Windows 2003*), а также операционная система *Unix*.

Структура сетевой операционной системы показана на рис. 13.2.



Рис. 13.2. Структура сетевой операционной системы

Средства управления локальными ресурсами компьютера реализуют функции вычислительной машины в локальном (изолированном от других вычислительных машин) режиме.

Средства предоставления собственных ресурсов и услуг в общее пользование (серверная часть сетевой операционной системы) обеспечивают обработку запросов удаленного доступа к собственной файловой системе и базе данных, управление очередями запросов удаленных пользователей к своим периферийным устройствам и т.д.

Средства запроса доступа к удаленным ресурсам и услугам и их использование (клиентская часть сетевой операционной системы) формируют и перенаправляют в сеть запросы к удаленным ресурсам от приложений и пользователей.

Средства управления коммуникационными устройствами реализуют обмен сообщениями в сети, обеспечивая их адресацию и выбор маршрута передачи по сети.

Рис. 13.3 иллюстрирует взаимодействие узлов вычислительной сети с клиент-серверной архитектурой сетевой операционной системы.

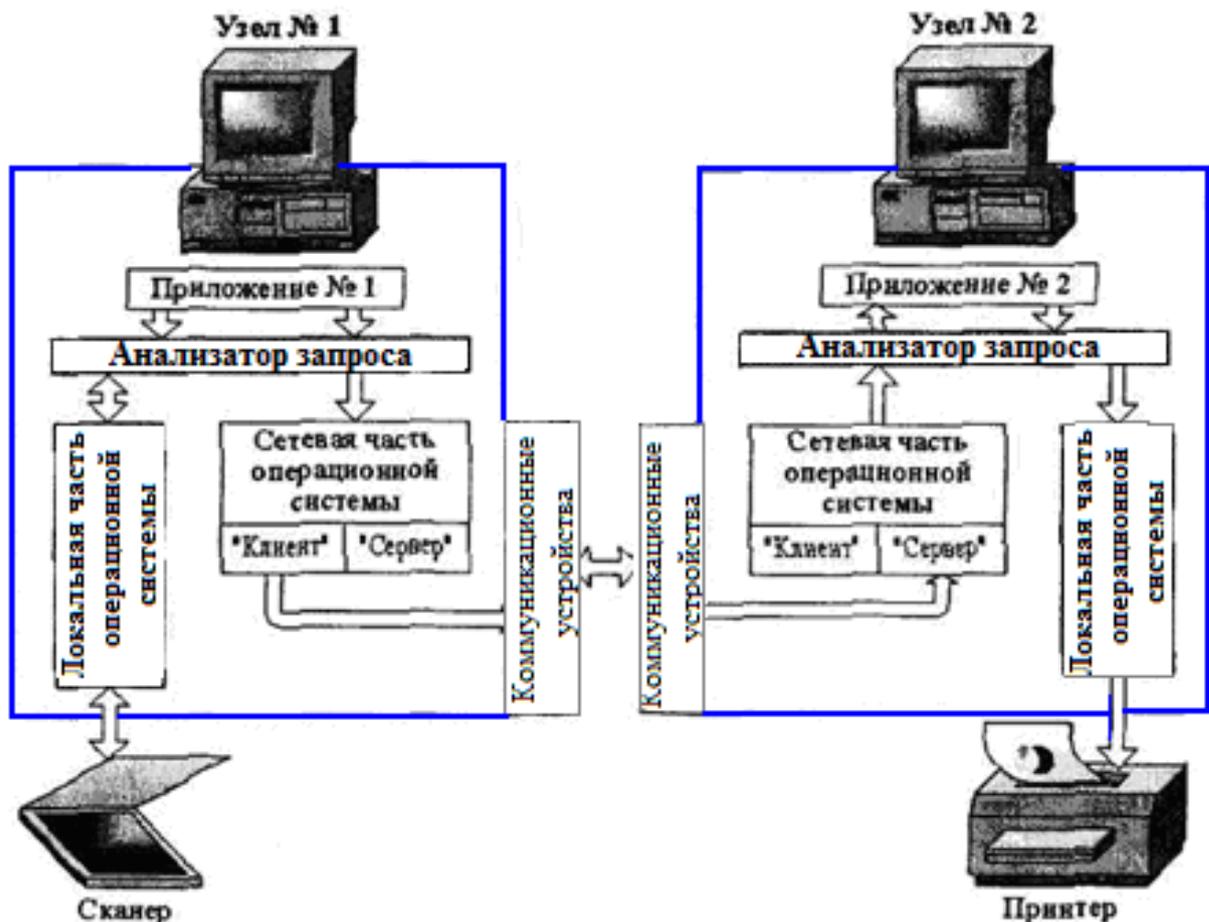


Рис. 13.3. Взаимодействие узлов вычислительной сети

Рассмотрим следующую задачу. Пользователю узла № 1 вычислительной сети необходимо сделать копию документа. При этом сканер (как показано на рис. 13.3) подключен к узлу № 1, а сетевой принтер подключен к узлу № 2.

Для решения этой задачи пользователь посредством приложения № 1 инициирует запрос на сканирование документа. Этот запрос обрабатывается анализатором запросов операционной системы. Если запрос выдан к ресурсу данного узла, то он переадресовывается соответствующей подсистеме локальной части операционной системы; если же этот запрос относится к удаленному ресурсу, то он переправляется в сеть. Поскольку данный запрос относится к аппаратным средствам узла № 1, то соответственно запрос адресуется локальной части операционной системы, которая совместно с прикладной программой осуществляет управление сканером. Полученное изображение от сканера передается приложению № 1. Далее (после получения изображения) приложение № 1 или другое приложение инициирует запрос на печать документа. В этом случае анализатор запросов адресует запрос клиентской части операционной системы.

Клиентская часть преобразует запрос из локальной формы в сетевой формат и передает его коммуникационным устройствам, обеспечивающим доставку сообщений серверу, к которому подключен принтер. Серверная часть операционной системы узла № 2 принимает запрос, преобразует его и передает для выполнения локальной части операционной системы.

Далее запрос узла № 1 выполняется как обычный запрос локальной части операционной системы. В тех случаях, когда процесс сетевого взаимодействия предусматривает передачу подтверждений результатов выполнения запросов, серверная часть узла № 2 формирует соответствующий ответ и посредством коммуникационных устройств перенаправляет его клиентской части узла № 1. Клиентская часть узла № 1 преобразует ответ из сетевого формата в локальный и передает его приложению, инициировавшему запрос. В данном примере вместо подтверждения выполнения запроса серверная часть узла № 2 может информировать приложение № 1 о неготовности устройства или его неисправности, а также об отсутствии необходимых прав доступа и т.д.

Из рассмотренного примера видно, что для решения данной задачи узел № 1 использует только клиентскую часть операционной системы, а узел № 2 только серверную часть. Исходя из этого, можно отметить, что в зависимости от функций, выполняемых узлами вычислительной сети, их операционные системы могут включать либо клиентскую, либо сетевую часть. В первом случае узел № 1 является клиентом сети, а во втором – сервером.

Таким образом, если узел вычислительной сети предоставляет свои ресурсы другим пользователям сети, то он играет роль сервера, а узел, обращающийся к ресурсам сервера, является клиентом.

Если выполнение каких-либо серверных функций является основным назначением узла вычислительной сети (например, предоставление файлов в общее пользование всем остальным пользователям сети, или организация совместного использования принтера, или предоставление всем пользователям сети возможности хранения документов в памяти этого узла), то такой узел называется выделенным сервером. В зависимости от того, какой ресурс сервера является разделяемым, он и определяет название сервера, например файл-сервер, принт-сервер и др.

Ранее при рассмотрении классификации вычислительных сетей отмечалось, что вычислительные сети могут быть одноранговыми, на основе сервера и комбинированными. При этом отмечалось, что даже в случае сети на основе сервера аппаратные средства всех узлов (в том числе и сервера) могут быть идентичными. В связи с этим подчеркнем еще раз, что данный классификационный признак вычислительных сетей связан только с функциями узлов сети и соответственно с программными средствами, используемыми ими для реализации своих функций.

На рис. 13.4 показаны структурные схемы узлов вычислительной сети, выполняющих соответственно роли «сервера» и «клиента».

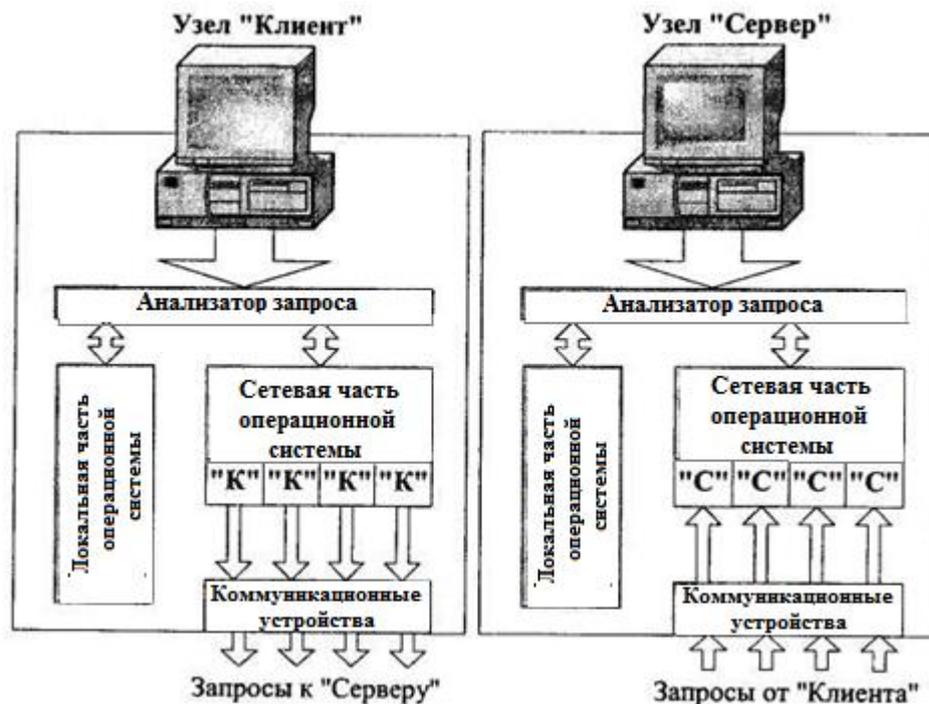


Рис. 13.4. Функциональная структура узла-«клиента» и узла-«сервера» вычислительной сети

13.3. Функционал вычислительных сетей

Поскольку узлы вычислительной сети могут содержать либо клиентскую, либо серверную часть, либо обе одновременно, то возможны три варианта функционального построения вычислительных сетей (принципиально не могут существовать сети, в которых все узлы только «клиенты» или все узлы только «серверы»):

- сеть, все узлы которой выполняют одинаковые функции (одноранговые узлы); соответственно сетевая часть операционной системы каждого узла включает как клиентскую, так и серверную часть – **одноранговая** сеть;

- сеть, в которой один узел предоставляет свои ресурсы всем остальным узлам – **сеть на основе сервера**; соответственно сетевая часть операционной системы выделенного сервера включает только серверную часть, а всех остальных узлов – клиентскую часть;

- сеть, включающая узлы всех типов (одноранговые, клиенты, серверы) – **комбинированная** сеть.

В одноранговых сетях (рис. 13.5) все узлы имеют одинаковые возможности доступа к ресурсам друг друга, при этом каждый пользователь определяет, какой ресурс узла может быть доступен другим пользователям. Исходя из этого на всех узлах вычислительной одноранговой сети устанавливаются типовые операционные системы, предоставляющие узлам равные возможности как клиента, так и сервера, поэтому такие сетевые операционные системы называются одноранговыми.

Примерами одноранговых сетевых операционных систем являются операционные системы *Windows NT Workstation* (для рабочих групп), *Windows 2000 Professional*, *Windows XP*. Среди несетевых операционных систем такими возможностями обладают операционные системы *Windows 95*, *Windows 98* и *Windows Millennium*.

Функциональная избыточность одноранговых сетей дает возможность администраторам сетей управлять ресурсами сети в соответствии с выбранной политикой. Например, администратор может ограничить функции одного узла сети только обслуживанием запросов других пользователей, тем самым превращая этот узел в «чистый» сервер. Аналогично, запрещая другим пользователям сети доступ к ресурсам другого узла, администратор превращает этот узел в узел-«клиент».

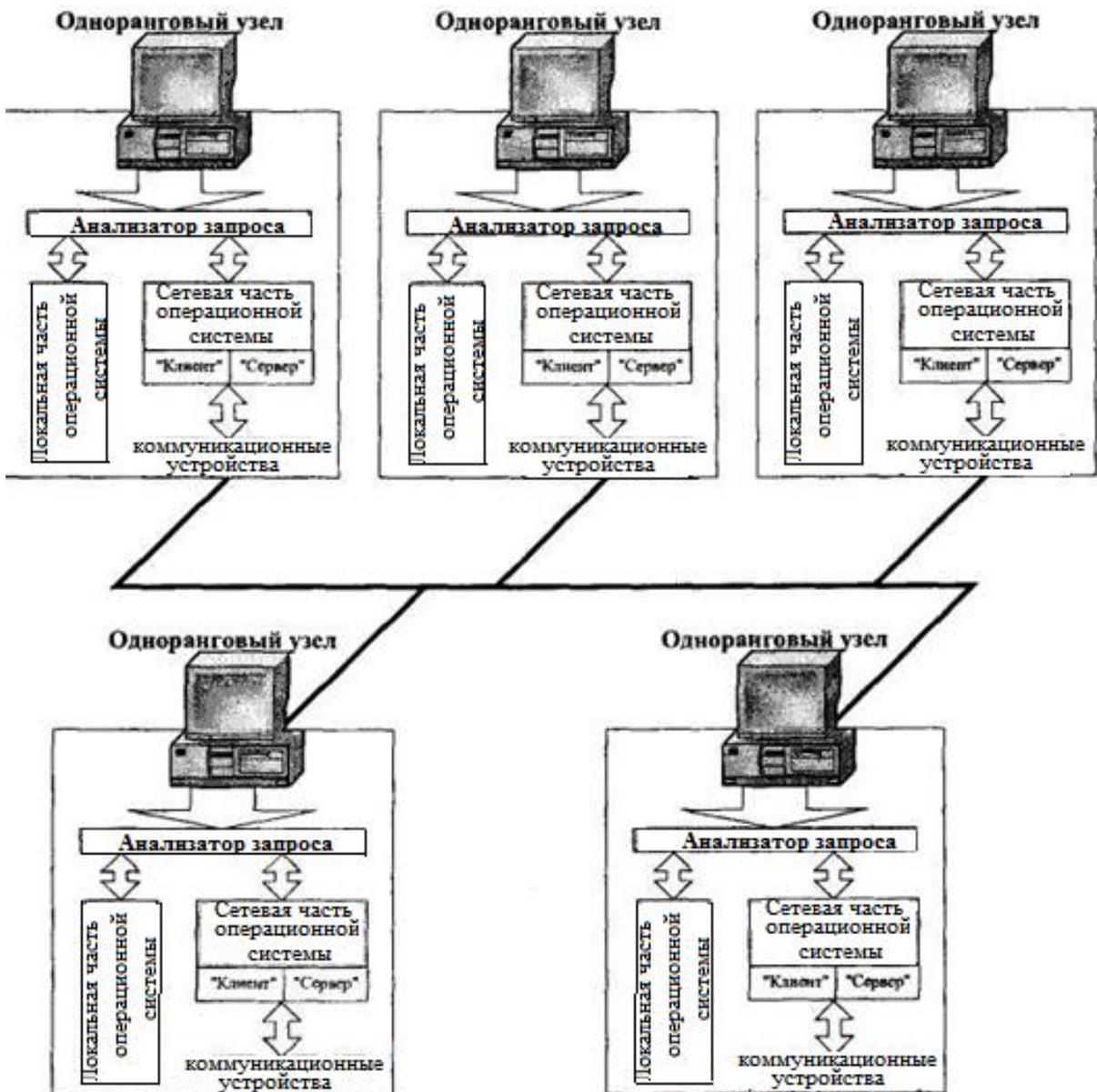


Рис. 13.5. Одноранговая вычислительная сеть

При реализации подобной политики одноранговая сеть становится похожей на сеть с выделенным сервером, но при этом между этими двумя типами сетей остается принципиальное отличие, заключающееся в отсутствии в одноранговой сети специализированной операционной системы, которая является обязательным элементом сети на основе сервера.

Ранее уже отмечалось, что одноранговая сеть чаще всего используются для небольших рабочих групп, поэтому количество узлов в ней обычно не превышает десяти.

С увеличением размеров вычислительных сетей возникают задачи централизованного администрирования сети, надежного хранения данных и, что немаловажно, обеспечения защиты данных от случайных и

преднамеренных воздействий. Для решения этих задач привлекаются специализированные (серверные) операционные системы, включающие расширенные сетевые функции, такие, например, как распределенные файловые системы, групповые политики безопасности, мониторинга сети и т.д. Соответственно вычислительные сети, в которых решаются подобные задачи, по функциональному признаку относятся к сетям на основе сервера (рис. 13.6).

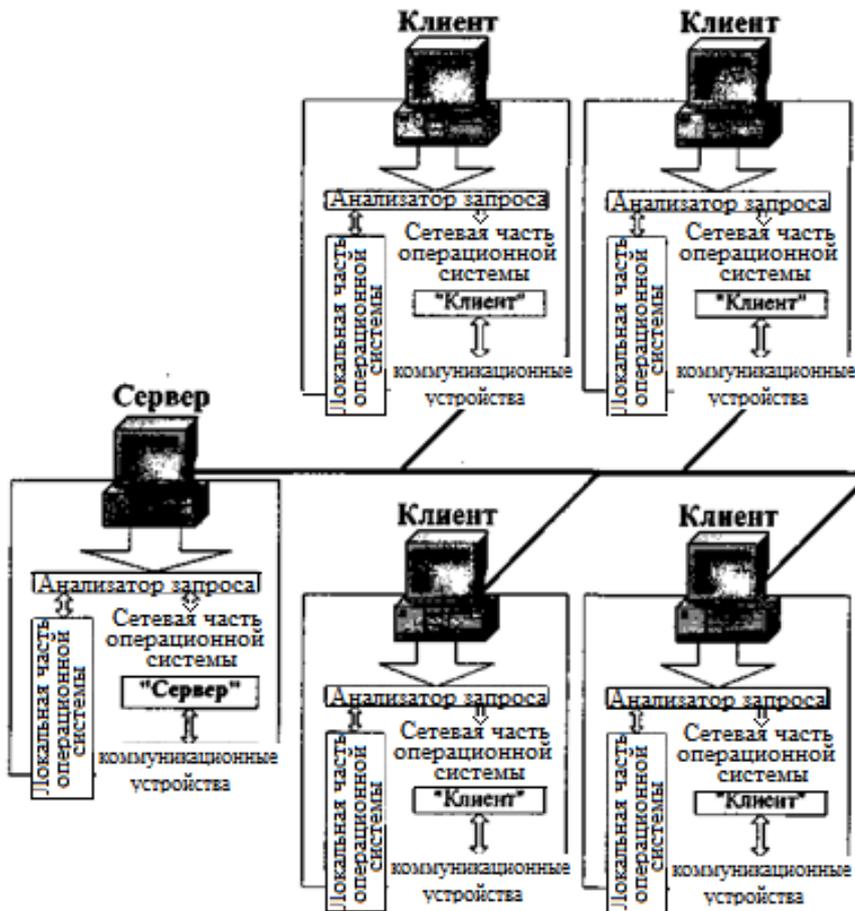


Рис. 13.6. Вычислительная сеть на основе сервера

Серверные операционные системы, помимо расширенного набора сетевых функций, являются оптимизированным вариантом операционной системы, обеспечивающим высокую производительность. Это обусловлено тем, что при функционировании сети, состоящей из сотен узлов, интенсивность запросов к разделяемым ресурсам сервера может быть очень большой, а сервер должен обрабатывать эти запросы в реальном времени для пользователя.

Отличительными чертами серверных сетевых операционных систем являются:

- расширенный набор сетевых служб;
- наличие эффективных служб защиты и восстановления операционной системы после сбоев;
- поддержка большого числа одновременно выполняемых процессов и сетевых соединений;
- наличие средств информационной безопасности и их соответствие требованиям стандартов;
- поддержка мощных аппаратных платформ, в том числе мультипроцессорных;
- включение в состав операционных систем служб централизованного администрирования сети (например, справочной службы, службы мониторинга сети или службы аутентификации пользователей сети).

Примерами специализированных (серверных) операционных систем являются операционные системы *Windows NT Server* (для выделенного сервера), *Windows 2000 Server*, *Windows 2003*, *Unix*. Компания *Microsoft* выпускает две версии одной и той же операционной системы. Одна версия предназначена для работы в качестве серверной операционной системы, а другая – в качестве клиентской операционной системы, например *Windows NT Workstation* и *Windows NT Server*, а также впоследствии *Windows 2000 Professional* и *Windows 2000 Server*. Эти версии операционных систем основаны на одном и том же ядре, но отличаются набором служб и утилит, а также параметрами конфигурации, в том числе устанавливаемыми по умолчанию. Вместе с тем эти операционные системы имеют близкий друг другу интерфейс, что существенно облегчает задачи администрирования сети. В качестве операционных систем на клиентских узлах сети на основе сервера используются все перечисленные ранее одноранговые сетевые и несетевые операционные системы.

В вычислительных сетях больших размеров возможна более сложная функциональная организация сети, нежели рассмотренная сеть на основе сервера. Например, в сети могут одновременно функционировать несколько серверов, которые решают различные задачи. Так, выделенный сервер может использоваться как главный сервер для общего управления вычислительной сетью, а другой узел может выполнять отдельные серверные функции, оставаясь клиентом по отношению к главному серверу. Вычислительные сети с такой функциональной организацией называются комбинированными. Структурная схема комбинированной сети показана на рис. 13.7.

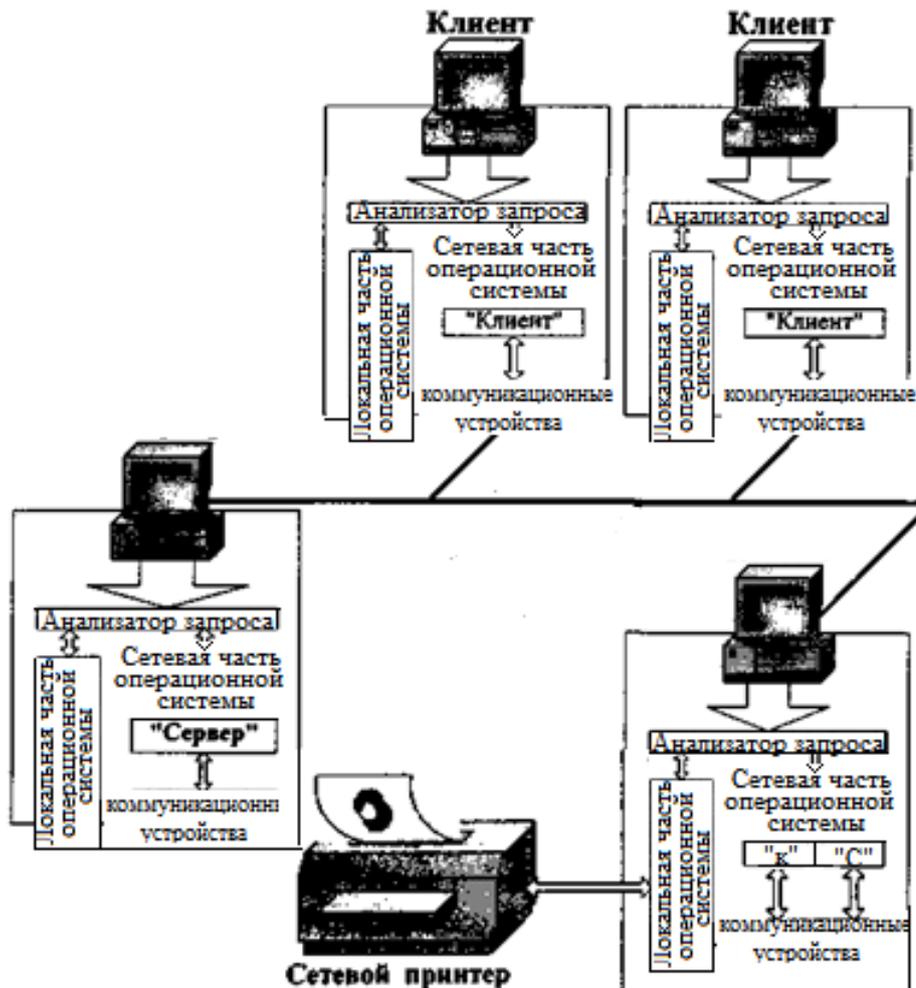


Рис. 13.7. Комбинированная вычислительная сеть

В комбинированной сети выделенный сервер является «чистым» сервером, обрабатывающим запросы всех узлов сети. По отношению к этому серверу все узлы являются клиентами. В сеть также включен узел, выполняющий функции принт-сервера, поскольку к этому узлу подключен сетевой принтер. Соответственно все узлы с клиентской частью сетевой операционной системы (клиенты) могут выдавать запросы этому узлу на печать документов. По отношению к узлам-«клиентам» данный узел является сервером, и соответственно его сетевая операционная система должна включать серверную часть. Вместе с тем этот же узел должен иметь возможность формировать запросы к главному серверу, например для проверки прав доступа пользователей к принтеру. Поэтому его сетевая операционная система должна включать наряду с серверной и клиентскую часть, как показано на рис. 13.7.

13.4. Понятие сетевой службы и сетевого сервиса

До сих пор вычислительные сети рассматривались в двух аспектах.

Во-первых, с точки зрения аппаратных средств, вычислительная сеть представляет собой совокупность узлов (вычислительных машин), линий связи и коммуникационного оборудования, обеспечивающего объединение узлов на больших расстояниях.

Во-вторых, с точки зрения межсетевого обмена данными, вычислительная сеть представляет собой совокупность протоколов, используемых узлами вычислительной сети для передачи данных по линиям связи. В этом случае протоколы выступают в роли «языка» общения между узлами сети.

Существует и третий аспект – функциональный. В этом случае вычислительная сеть рассматривается как совокупность сетевых служб, предоставляющих конечному пользователю определенный набор услуг, например доступ к аппаратным или программным средствам другого узла или его информационным ресурсам и т.д. В технической литературе англоязычный термин «*service*» обычно переводится как «служба», «сервис» или «услуга». Часто эти термины используются как синонимы. В то же время в литературе также различают термин «служба», с одной стороны, и термины «сервис» и «услуга» – с другой. Под службой понимается сетевой компонент, который реализует некоторый набор услуг, а сервисом называют описание набора услуг, который предоставляется данной службой. Таким образом, сервис – это интерфейс между потребителем услуг (например, пользователем) и поставщиком услуг (службой).

Реализация сетевых служб осуществляется программными средствами, причем все сетевые службы соответствуют архитектуре «клиент – сервер».

Пара модулей сетевой операционной системы «клиент – сервер» обеспечивает совместный доступ пользователей к определенному типу ресурсов, например к файлам. В этом случае говорят, что пользователь имеет дело с файловой службой. Обычно сетевая операционная система поддерживает несколько видов сетевых служб для своих пользователей – файловую службу, службу печати, службу электронной почты, службу удаленного доступа и т.д.

Кроме доступа к аппаратным, программным средствам и данным, сетевые службы решают и другие более специфические задачи, например, задачи, связанные с распределенной обработкой данных. К таким задачам

относится обеспечение синхронизации нескольких копий данных, размещенных на разных узлах (служба репликации), или организация выполнения одной задачи параллельно на нескольких машинах сети (служба вызова удаленных процедур), определение соответствия доменного имени узла и его IP-адреса (DNS-служба).

Среди сетевых служб выделяется отдельная группа административных служб, используемых только администратором сети для управления вычислительной сетью. Например, служба администрирования пользовательских учетных записей, которая позволяет администратору вести общую базу данных о пользователях сети, служба мониторинга сети, позволяющая захватывать и анализировать сетевой трафик, служба безопасности, в функции которой входит аутентификация пользователей и процессов и др.

На рис. 13.8 показан фрагмент списка (полный список составляет около 50 служб) служб операционной системы *Windows XP*, большинство из которых являются сетевыми службами.

Имя	Описание	Состояние
DHCP-клиент	Управляет конфигурацией сети посредством регистрации и обно...	Работает
DNS-клиент	Разрешает для данного компьютера DNS-имена в адреса и поме...	Работает
Machine Debug Manager	Manages local and remote debugging for Visual Studio debuggers	Работает
MS Software Shadow Copy Fro...	Управляет теневыми копиями, полученными при помощи тенево...	
NetMeeting Remote Desktop Sh...	Разрешает проверенным пользователям получать доступ к рабо...	
Plug and Play	Позволяет компьютеру распознавать изменения в установленно...	Работает
QoS RSVP	Обеспечивает рассылку оповещений в сети и управление локал...	
Reset S		
SpIDex Guard for Windows NT		Работает
Telnet	Позволяет удаленному пользователю входить в систему и запус...	
Windows Audio	Управление звуковыми устройствами для Windows-программ. Ес...	Работает
Windows Installer		
Автоматическое обновление	Включает загрузку и установку ключевых обновлений Windows....	Работает
Адаптер производительности...	Предоставляет информацию о библиотеках производительност...	
Беспроводная настройка	Предоставляет автоматическую настройку IEEE 802.11 адаптеров	Работает
Брандмауэр Интернета (ICF) /...	Обеспечивает поддержку служб трансляции адресов, адресаци...	Работает
Веб-клиент	Позволяет Windows-программам создавать, получать доступ и н...	Работает
Вторичный вход в систему	Позволяет запускать процессы от имени другого пользователя. ...	Работает
Диспетчер авто-подключени...	Создает подключение к удаленной сети, когда программа обра...	
Диспетчер логических дисков	Обнаружение и наблюдение за новыми жесткими дисками и пере...	Работает
Диспетчер отгрузки	Управляет синхронной и асинхронной передачей файлов между ...	Работает
Диспетчер очереди печати	Загружает в память файлы для последующей печати.	Работает
Диспетчер подключений уда...	Создает сетевое подключение.	Работает
Диспетчер сеанса справки дл...	Управляет возможностями Удаленного помощника. После остан...	
Диспетчер сетевого DDE	Управляет сетевыми общими ресурсами динамического обмена д...	
Диспетчер учетных записей б...	Хранит информацию о безопасности для учетной записи локальн...	Работает
Доступ к HID-устройствам	Обеспечивает универсальный доступ к HID-устройствам (Human...	
Журнал событий	Обеспечивает поддержку сообщений журналов событий, выдае...	Работает

Рис. 13.8. Фрагмент списка служб операционной системы *Windows XP*

Как правило, сетевая операционная система предоставляет услуги основных сетевых служб, обеспечивающих стандартные функции вычислительной сети, тогда как дополнительные услуги (сервис) могут предоставляться сетевыми службами, реализуемыми системными сетевыми приложениями или утилитами, работающими под управлением операционной системы. Например, услуги почтового клиента в операционных системах семейства *Windows* предоставляются программой *Outlook Express*, которая интегрирована в операционную систему.

Одним из главных показателей качества сетевой службы является ее удобство и, в первую очередь, удобство работы с ней пользователю. Именно поэтому сетевые службы наделяются специальным интерфейсом, в большинстве случаев интуитивно понятным пользователю.

При разработке сетевых служб решаются задачи выбора протокола сетевого взаимодействия клиентской и серверной части узлов вычислительной сети, распределения функций между ними, согласования взаимодействия протоколов различных вычислительных сетей.

13.5. Способы согласования протоколов вычислительных сетей

Проблема взаимодействия сетевых программных средств вычислительных сетей является одной из главных проблем, решаемых при объединении множества вычислительных машин в единую сеть.

Суть данной проблемы заключается в том, что узлы вычислительной сети во многих случаях имеют различные аппаратные платформы и соответственно различные сетевые программные средства, которые включают множество протоколов сетевого взаимодействия.

В предыдущих главах было показано, что на сегодняшний день существует несколько широко используемых стеков протоколов (*TCP/IP*, *NetBIOS*, *IPX/SPX*), а также множество сетевых архитектур, например *Ethernet*, *Token Ring*, *Arcnet*, *FDDI*.

Вполне очевидно, что существование различных стеков протоколов не является проблемой до тех пор, пока не возникает необходимость в их взаимодействии. Как только возникает задача объединения различных сетевых архитектур, так проявляется несовместимость близких по назначению, но различных по форматам данных и алгоритмам протоколов.

Как правило, общность различных стеков протоколов проявляется только на нижних уровнях – физическом и канальном, поскольку большинство стеков ориентированы на использование общих протоколов *Ethernet*, *Token Ring*, *FDDI*. Вместе с тем объединение узлов

вычислительной сети, использующих на нижних уровнях (канальном и физическом) различные протоколы, а на верхних (сетевой и выше) одинаковые, не является в современных вычислительных сетях проблемой. В этом случае можно использовать транслирующий мост, переупаковывающий кадры (без анализа содержимого кадра) из одного формата в другой.

Гораздо более сложной задачей является объединение узлов вычислительной сети и вычислительных сетей, использующих различные протоколы верхних уровней, начиная с сетевого уровня. Наибольшую сложность в совмещении представляют протоколы прикладного уровня, с помощью которых пользователям предоставляются различные сетевые услуги (сетевой сервис). Решение этой задачи является более сложным из-за большей сложности протоколов верхних уровней и их разнообразия.

Именно с этим связаны попытки разработки и внедрения единого стека протоколов, обеспечивающего полную совместимость любого сетевого оборудования и сетевых программных средств. Предпринятая *ISO* попытка внедрения единого стека протоколов (*OSI*) уже более 10 лет не находит широкой поддержки в сетевом сообществе; поэтому проблема совместимости в вычислительных сетях актуальна и по сей день. Попытка введения единого стека коммуникационных протоколов была сделана в 1990 г. и правительством США, которое обнародовало программу *GOSIP* (*Government OSI Profile*), в соответствии с которой стек протоколов *OSI* должен стать общим для всех сетей, устанавливаемых в правительственных организациях США. Вместе с тем, осознавая бесполезность силовых мер при решении данной проблемы, программа *GOSIP* не ставит задачу немедленного перехода на стек *OSI*, а принуждает пока к использованию этого стека в качестве второго стека протоколов (но обязательного) наряду с первым – основным стеком протоколов.

Для организации взаимодействия вычислительных узлов с различными стеками протоколов в настоящее время используется два подхода. Взаимодействие узлов, принадлежащих к разным сетям, во многом похоже на общение людей, говорящих на разных языках, которые для достижения взаимопонимания могут использовать два подхода: пригласить переводчика (аналог программного шлюза) или перейти на язык собеседника, если они им владеют (аналог мультиплексирования стеков протоколов).

Первый подход связан с использованием **программных шлюзов**, которые обеспечивают согласование двух стеков протоколов путем преобразования (трансляции) протоколов одного стека в протоколы

другого стека. При таком подходе шлюз размещается на «границе» взаимодействующих сетей и служит посредником, переводящим сообщения, поступающие от одной сети, в формат другой сети.

Второй подход, более радикальный, заключается в том, что в сетевые операционные системы одновременно внедряется несколько наиболее популярных стеков протоколов. Такая технология получила название **мультиплексирования стеков протоколов**.

Такой подход реализован в сетевых операционных системах *Windows*, сетевое ядро которых включает наиболее распространенные стеки сетевых протоколов, причем при необходимости один стек протоколов может быть установлен, а другой не установлен.

На рис. 13.9 показаны свойства сетевого подключения, установленного операционной системой *Windows XP*, где показано, что для данного подключения установлен и используется стек протоколов *TCP/IP*. Кроме этого, на этом же рисунке показано, что при необходимости могут быть установлены другие стеки протоколов, в частности *NetBIOS*- и *IPX/SPX*-совместимые транспортные протоколы.

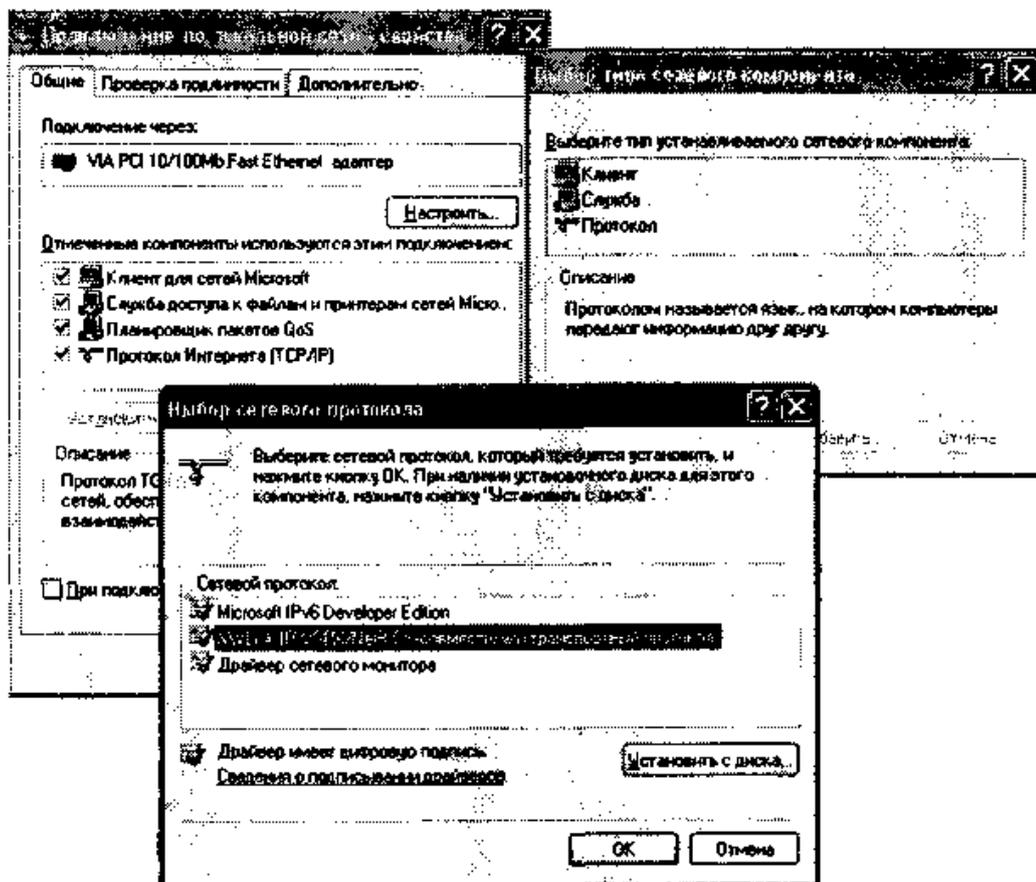


Рис. 13.9. Пример возможности мультиплексирования стеков протоколов в операционной системе *Windows XP*

Рассмотрим принцип работы программного шлюза, согласующего коммуникационные протоколы одного стека с коммуникационными протоколами другого стека (рис. 13.10).

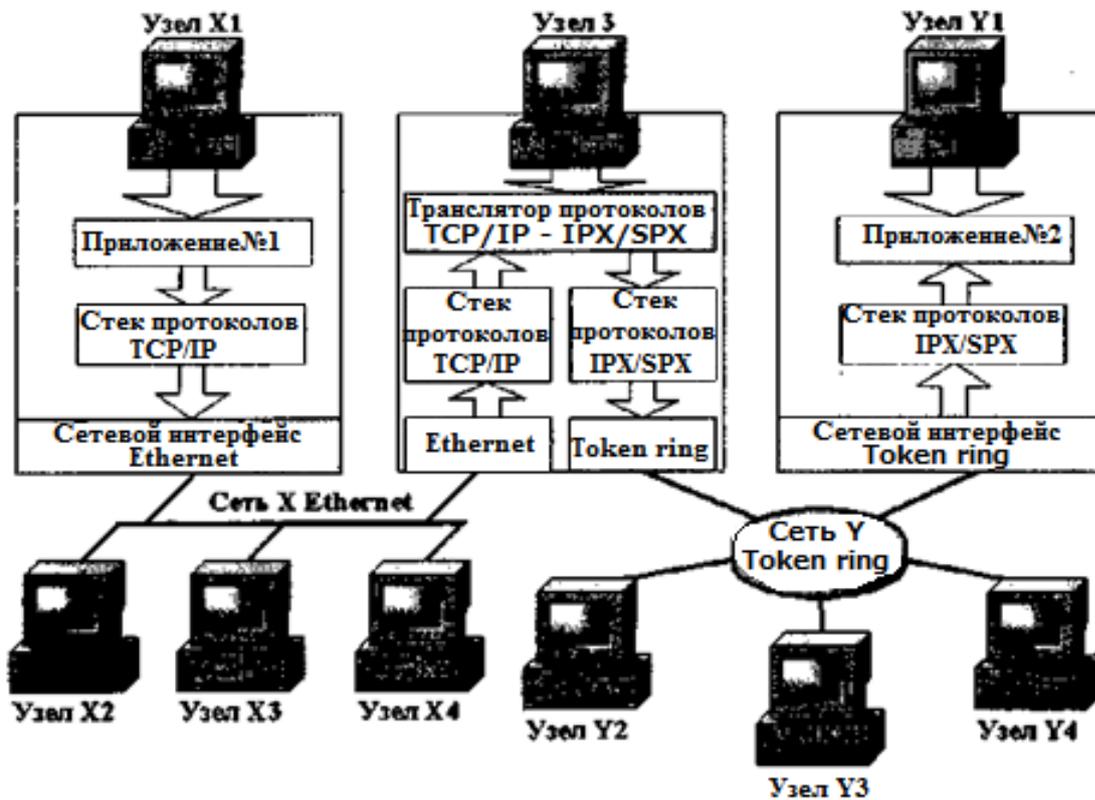


Рис. 13.10. Принцип работы программного шлюза

Рассмотрим следующий пример. Допустим, узел № X1 входит в сеть X, использующую стек протоколов *TCP/IP*. Узел № Y1, к которому формирует запрос узел № X1, входит в другую сеть Y, использующую стек протоколов *IPX/SPX*.

Запрос от прикладного процесса клиентского узла № X1 сети X поступает на прикладной уровень его стека протоколов. На прикладном уровне стека протоколов узла № X1 формируется сообщение (запрос), которое передается нижестоящим уровням для транспортировки по сети. Далее сформированный канальным уровнем сетевой кадр поступает на физический уровень (канал передачи данных), посредством которого передается узлу № 3, выполняющему функции шлюза. Программный шлюз на практике, чаще всего, реализуется на изолированном (изолированном в смысле выполнения других функций) узле вычислительной сети.

Достигнув узла № 3, сетевой кадр проходит обратные преобразования, соответствующие стеку протоколов узла № X1, т.е. кадр

преобразуется до сообщения. После чего это сообщение проходит через все уровни стека протоколов узла № У1, которому адресован запрос. Сформированный узлом № 3 (шлюзом) сетевой кадр передается по каналу передачи данных к узлу № У1. Узел № У1 в соответствии с принятой схемой для используемого стека протоколов преобразует полученный сетевой кадр в сообщение и, получив сообщение, обрабатывает его.

Если в ответ на запрос необходимо представить ответ, то процесс обратной передачи данных будет происходить по такой же схеме через шлюз.

Таким образом, узел № 3, выполняющий функции шлюза, должен включать оба стека протоколов, а также трансляторы протоколов *TCP/IP* в *IPX/SPX* и наоборот.

В представленном на рис. 13.10 примере рассматривается случай, когда стеки протоколов полностью несовместимы. В тех случаях, когда стеки протоколов частично несовместимы, например, до транспортного уровня, шлюз может быть запрограммирован на трансляцию протоколов не на прикладном уровне, а на транспортном. В этом случае, вполне очевидно, что время, требуемое на трансляцию стеков протоколов (работу шлюза), существенно сократится.

При мультиплексировании стеков протоколов на один из двух взаимодействующих узлов с различными стеками протоколов устанавливается стек протоколов другого узла.

На рис. 13.11 проиллюстрирован принцип мультиплексирования двух стеков протоколов. В представленном примере два сегмента сети на основе сервера X (узлы X1–X4) и Y (узлы Y1–Y4) используют разные стеки протоколов, *TCP/IP* и *IPX/SPX* соответственно. Поскольку к выделенному серверу поступают запросы от всех узлов вычислительной сети, то для обеспечения совместного доступа всех узлов вычислительной сети (клиентов) к ресурсам сервера последний должен включать оба стека протоколов.

При мультиплексировании протоколов, помимо самих стеков, на сервере устанавливается мультиплексор протоколов, задачей которого является определение стека протоколов узла, отправившего запрос. Например, для этого может использоваться служба имен сети, хранящая информацию о соответствии имени (адреса) узла вычислительной сети и стека протоколов, используемого им.

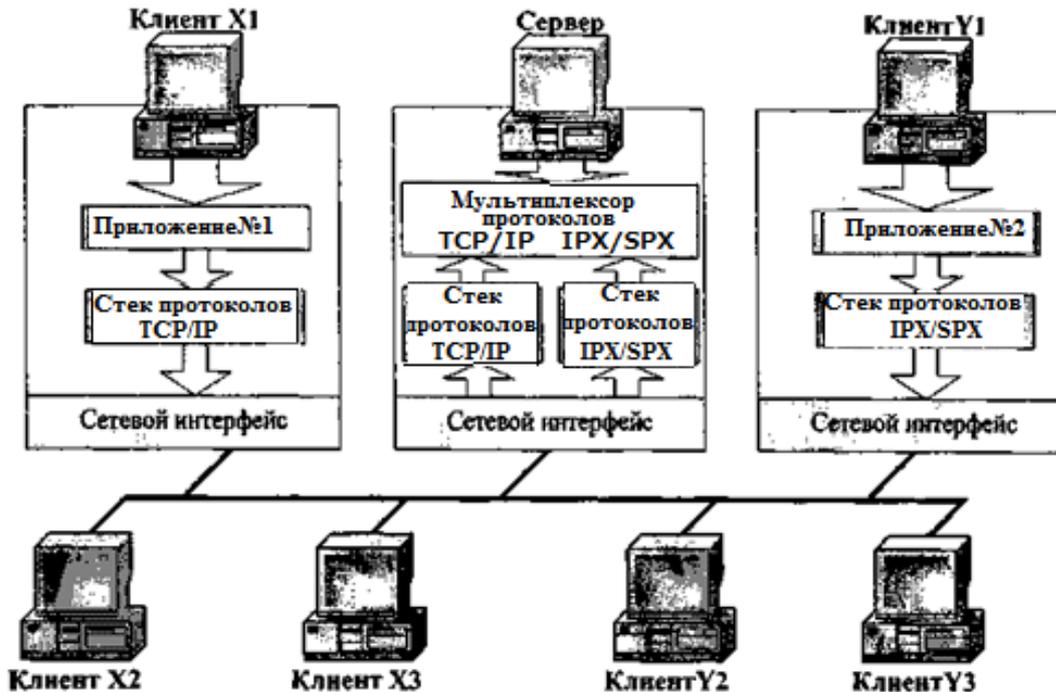


Рис. 13.11. Принцип мультиплексирования стеков протоколов

Пример более сложной схемы мультиплексирования протоколов показан на рис. 13.12, где рабочая станция сети (клиент) может обращаться с запросами к серверам, входящим в состав сетей с различной архитектурой и использующих при этом разные стеки протоколов. В сложных гетерогенных сетях на каждом из уровней сетевой модели могут использоваться несколько протоколов различных стеков. Гетерогенность сети характеризует ее неоднородность с точки зрения сетевой архитектуры и используемых протоколов. В противоположность гетерогенным сети с однородной архитектурой и идентичными стеками протоколов принято называть гомогенными. В этом случае мультиплексоров протоколов может быть несколько, а их функции будут заключаться в коммутации протоколов между разными уровнями доступных стеков протоколов.

Рабочая станция, имея в составе своего сетевого программного обеспечения такой набор протоколов с соответствующим набором мультиплексоров, может инициировать запрос к любому из представленных на рис. 13.12. серверов, расположенных в сетях с любой из трех сетевых архитектур.

Например, рабочая станция может получить доступ к серверам с протоколами *TCP/IP*, *IPX/SPX* и *NetBIOS* через один сетевой интерфейс *FDDI*.

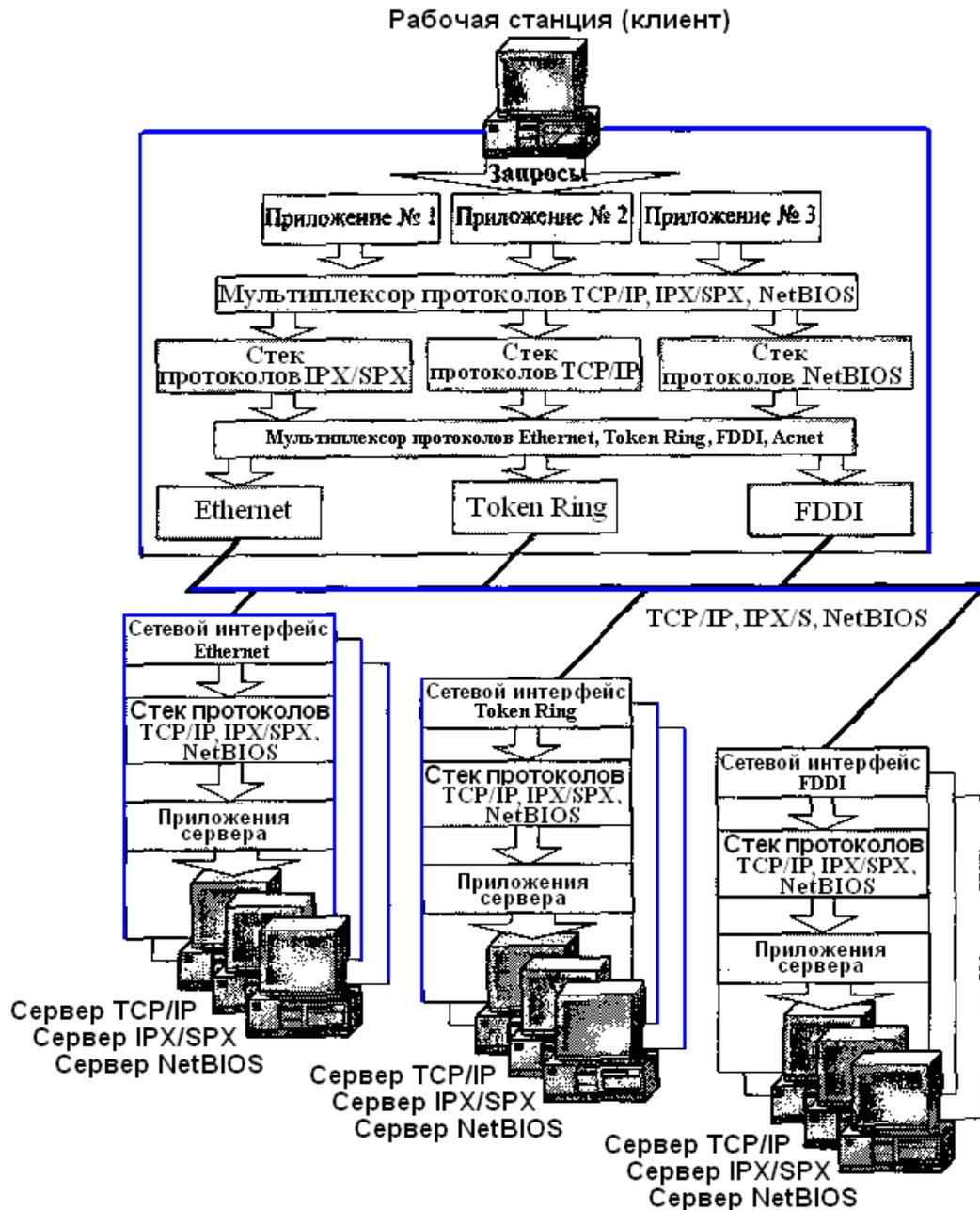


Рис. 13.12. Схема мультиплексирования протоколов в гетерогенных вычислительных сетях

Развитие технологии мультиплексирования стеков протоколов стало возможным благодаря строгому определению функций протоколов (их стандартизации) и интерфейсов различных уровней. Вторым фактором, сыгравшим важную роль в развитии этой технологии, стало открытое описание протоколов, что позволило сторонним разработчикам сетевых программных средств обеспечить эффективное взаимодействие нескольких стеков протоколов в рамках, например, одной сетевой операционной системы.

Практика применения рассмотренных подходов для согласования различных протоколов вычислительных сетей показывает, что эти подходы не исключают друг друга и каждый из них имеет свои достоинства и недостатки.

Выделенный программный шлюз концентрирует все средства согласования стеков протоколов в одном месте, причем в процессе согласования протоколов программный шлюз не использует ресурсы узлов вычислительной сети, поскольку в большинстве случаев устанавливается на отдельной аппаратной платформе. В этой связи вполне очевидны требования к аппаратной платформе шлюза, которая должна обладать достаточными ресурсами для обслуживания запросов всех узлов сети передающих или принимающих данные из смежных сетей с другими стеками протоколов. В случае недостаточности ресурсов аппаратной платформы программного шлюза сетевое взаимодействие пользователей замедлится, а шлюз станет «узким» местом сети. С этим связан и еще один недостаток этого подхода, заключающийся в том, что при выходе из строя шлюза взаимодействие узлов данной вычислительной сети с узлами другой вычислительной сети, использующей отличающийся стек протоколов, станет невозможным, т.е. применение шлюзов понижает надежность межсетевое взаимодействия.

Немаловажным достоинством программного шлюза является то, что при его использовании для согласования стеков протоколов двух вычислительных сетей формат внутрисетевого трафика каждой из сетей не меняется и соответствует базовому для данной сети стеку протоколов. Это способствует сохранению производительности сети, поскольку работа операционной системы в наибольшей степени оптимизирована для работы с базовым стеком протоколов.

Основным достоинством мультиплексирования стеков протоколов является их высокая совместимость в рамках одной сетевой операционной системы между собой и с другими программными продуктами узла вычислительной сети, что обусловлено их внедрением в операционную систему.

Вместе с тем можно отметить, что мультиплексирование протоколов замедляет работу узла вычислительной сети, привлекая его ресурсы для согласования стеков протоколов. Однако мультиплексирование протоколов не является узким местом вычислительной сети по сравнению с программным шлюзом, поскольку нарушение функций согласования стеков протоколов одного узла не скажется на других узлах вычислительной сети. Вполне очевидно, что это достигается

избыточностью, характерной для данного подхода. Избыточность при мультиплексировании протоколов обусловлена тем, что каждый узел вычислительной сети, а именно его операционная система, включает несколько стеков протоколов.

13.6. Обобщенная структура вычислительной сети

В результате всестороннего рассмотрения наиболее распространенных сетевых архитектур, принципов построения вычислительных сетей и управления ими сформулируем следующее определение вычислительной сети.

Вычислительная сеть – это многоуровневая система взаимосвязанных аппаратных и программных средств, а также сетевых служб, предоставляющих пользователю определенный набор сетевого сервиса (услуг).

Обобщенная многоуровневая структура вычислительной сети представлена на рис. 13.13.



Рис. 13.13. Обобщенная структура вычислительной сети

Самый нижний уровень вычислительной сети – **Уровень сетевых аппаратных средств** – объединяет все сетевые аппаратные средства, в том числе каналы передачи данных (проводные и беспроводные), различные коммуникационные устройства (повторители, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы, концентраторы, модемы и др.), а также аппаратные средства вычислительной машины – узла вычислительной сети. Набор аппаратных средств вычислительной сети должен всегда соответствовать

решаемым задачам и выполняемым ею функциям. В случае несоответствия аппаратных средств сети решаемым ею задачам, возможно, что сеть будет неоправданно дорогой (если не все возможности аппаратных средств используются) или неэффективной (если возможностей аппаратных средств недостаточно для решения задач, возлагаемых на вычислительную сеть).

Второй уровень обобщенной структуры вычислительной сети – **Уровень сетевых программных средств** – включает все сетевые программные средства, обеспечивающие согласованный обмен данными между узлами вычислительной сети, а также интерфейс взаимодействия пользователя с вычислительной сетью. Основой этого уровня в современной концепции построения вычислительной сети является сетевая операционная система с клиент-серверной архитектурой. Основными требованиями к сетевому программному обеспечению являются высокая совместимость между различными аппаратными и программными платформами, надежность и безопасность.

Верхний уровень обобщенной сетевой модели – **Уровень сетевых приложений и сетевого сервиса** – является исключительно прикладным уровнем, предоставляющим пользователю набор сетевых услуг. Возможный набор сетевых услуг определяется возможностями двух нижних уровней этой модели. Например, доступ пользователя к *Web*-серверу и просмотр *Web*-страницы будет возможен, если в распоряжении пользователя имеется специальная программа *Web*-браузер. Другой пример – работа пользователя по высокоскоростному каналу *ADSL* возможна при наличии соответствующего оборудования и т.д. Выделение сетевых служб в отдельный уровень в обобщенной структуре является условным, поскольку работа всех служб обеспечивается программами, поэтому этот уровень соответствует уровню сетевых программных средств. Однако в последнее время, особенно с развитием глобальной сети *Internet*, число сетевых служб значительно возросло, а пользователь в большинстве случаев работает именно ними, при этом работа базовых сетевых программных средств для самого пользователя становится все менее заметной. Это обстоятельство является решающим при выборе обобщенной структуры вычислительной сети.

В заключение можно отметить, что представленная обобщенная структура вычислительной сети хорошо согласуется с основными сетевыми моделями. Так, например, уровень сетевых аппаратных средств частично соответствует сетевому уровню модели *TCP/IP*, функции уровня сетевых программных средств во многом совпадают с функциями межсетевого и транспортного уровней этой модели, а уровень сетевых приложений обобщенной структуры вычислительной сети в полной мере соответствует прикладному уровню модели *TCP/IP*.

Введение в рассмотрение обобщенной структуры вычислительной сети позволяет систематизировать её устройство, выделив ее главные компоненты, не затрудняя при этом понимание структуры вычислительной сети описанием тонкостей ее работы.

Контрольные вопросы

1. Дайте общую характеристику сетевым программным средствам.
2. Что относится к сетевому программному обеспечению?
3. Какие элементы включает сетевая операционная система?
4. В чем состоит основной принцип функционирования сетевой операционной системы с клиент-серверной архитектурой?
5. Чем характеризуются серверные операционные системы?
6. Каковы функции программного шлюза?
7. Что означает мультиплексирование протоколов?
8. Какие уровни включает обобщенная структурная схема вычислительной сети?
9. Что понимается под вычислительной сетью?
10. Что такое сетевая служба?

Глава 14. СОВРЕМЕННЫЕ СТАНДАРТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ

Термин «промышленная сеть» (*fieldbus* – полевая шина) подчёркивает, что сеть применяется для решения задач передачи информации в области, связанной непосредственно с производственной зоной, где работают контроллеры, датчики и исполнительные устройства. Задача промышленной сети состоит в организации физической и логической связи датчиков и исполнительных устройств с системным интеллектом, роль которого выполняют ПЛК или промышленные компьютеры таким образом, чтобы информация с этого уровня была доступна общезаводской информационной системе.

Промышленная сеть должна отвечать множеству разнообразных, а зачастую противоречивых требований. От выбора сетевой архитектуры зависят не только затраты на создание системы, но и срок её жизни, её способность к развитию, т.е. интегральная стоимость системы. Вот как могут быть сформулированы некоторые основные требования, которые предъявляются к «идеальной» промышленной сети:

- 1) производительность;
- 2) предсказуемость времени доставки информации;
- 3) помехоустойчивость;
- 4) доступность и простота организации физического канала передачи данных;
- 5) максимальный сервис для приложений верхнего уровня;
- 6) минимальная стоимость устройств аппаратной реализации, особенно на уровне контроллеров;
- 7) возможность получения «распределённого интеллекта» путём предоставления максимального доступа к каналу нескольким ведущим узлам;
- 8) управляемость и самовосстановление в случае возникновения нештатных ситуаций.

Как видно, в получившемся списке первое требование противоречит второму, третье – четвёртому и т.д. Более того, подобные противоречия приходится обходить постоянно и на всех уровнях проектирования, начиная с того, какой формат пакета передачи данных выбрать: тот, который позволит осуществлять расширенное управление сетью и удалённую загрузку, или тот, который обеспечит максимально быструю работу с большим числом дискретных сигналов, – заканчивая решением философской проблемы, что лучше: применить не самое современное, но проверенное годами решение или применить кажущееся блестящим и современным решение, которое почему-то оказывается дороже и до сих пор ещё не применяется на предприятии-конкуренте.

Таким образом, можно полагать, что промышленная сеть суть один большой компромисс. И от того, как расставлены акценты в этом компромиссе, зависит успешность решения задач, стоящих перед сетевой архитектурой.

Промышленная сеть должна полностью удовлетворять запросам потребителя по модульности, надёжности, защите от внешних помех, простоте в построении, монтаже и программировании логики работы. Предпочтительность того или иного сетевого решения как средства транспортировки данных можно оценить по следующей группе критериев:

- объём передаваемых полезных данных;
- время передачи фиксированного объёма данных;
- удовлетворение требованиям задач реального времени;
- максимальная длина шины;
- допустимое число узлов на шине;
- помехозащищённость;
- денежные затраты в расчёте на узел.

Поскольку часто улучшение по одному параметру может привести к снижению качества по другому, то при выборе того или иного протокольного решения необходимо следовать принципу разумной достаточности.

14.1. Области применения промышленных сетей

В зависимости от области применения весь спектр промышленных сетей можно разделить на два уровня:

- системный уровень (*Field level* – полевой уровень): промышленные сети этого уровня решают задачи по управлению процессом производства, сбором и обработкой данных на уровне промышленных контроллеров;
- уровень датчиков и исполнительных механизмов (*Sensor/actuator level*): задачи сетей этого уровня сводятся к опросу датчиков и управлению работой разнообразных исполнительных механизмов.

Другими словами, необходимо различать промышленные сети для системного уровня (*field busses*) и уровня датчиков (*sensor/actuator busses*). Сравнение этих двух классов в самом общем виде можно получить по критериям из табл. 14.1.

Таблица 14.1

Сравнительные критерии промышленных сетей

Основные критерии	<i>Fieldbus</i>	<i>Sensorbus</i>
1. Предельное расстояние	от 100 м до 1 км	до 100 м
2. Время цикла сети	от 10 мс до 10 с	от 1 мс до 1 с
3. Объём передаваемых данных в одном пакете	от 8 до нескольких сотен байт	от 1 до 8 байт
4. Управление доступом к шине	централизованное/ децентрализованное	централизованное

На сегодняшний день спектр протоколов для каждого класса промышленных сетей довольно широк. К тому же можно выделить целый ряд протоколов, способных успешно работать на обоих уровнях.

Типичные представители промышленных сетей **системного** уровня:

- *Fieldbus Foundation HSE (High Speed Ethernet)*;
- *Modbus/TCP*;
- *Modbus Plus*;
- *PROFIBUS FMS (Process Field Bus for Fieldbus Message Specification)*;
- *Bitbus*.

Типичные **сенсорные (датчиковые)** сети:

- *Fieldbus Foundation HI*;
- *PROFIBUS PA (PROFIBUS Process Automation)*;
- *HART*;
- *AS-interface (Actuator/Sensor interface)*;
- *Interbus-S*;
- *SERCOS interface*.

Типичные сети для **обоих уровней** применения:

- *Modbus*;
- *CAN (Controller Area Network)*;
- *PROFIBUS DP (PROFIBUS for Distributed Peripheral)*;
- *FTP (Factory Instrumentation Protocol)*;
- *LON (Local Operating Network)*.

Необходимо также отметить появление комплексных сетевых решений, представленных на каждом из уровней и позволяющих организовать единое информационное пространство с помощью протоколов, изначально ориентированных на совместное использование. Примерами таких сетей являются семейство протоколов *PROFIBUS (FMS, DP, PA)* и протокол *Fieldbus Foundation (HSE, HI)*.

14.2. Протоколы уровня датчиков

14.2.1. *HART*-протокол

Стандарт для передачи аналоговых сигналов значениями тока в диапазоне 4–20 мА известен уже несколько десятков лет и широко используется при создании систем АСУТП, в химической индустрии, теплоэнергетике, в пищевом и многих других отраслях промышленности. Традиционно для измерения различных физических величин (давления, объема, температуры и т.д.) предлагается множество приборов с токовым выходом 4–20 мА. Достоинством данного стандарта является простота его реализации, массовое использование в приборах и возможность помехоустойчивой передачи аналогового сигнала на относительно большие расстояния. Однако при создании нового поколения интеллектуальных приборов и датчиков потребовалось наряду с передачей аналоговой информации передавать и цифровые данные, соответствующие их новым расширенным функциональным возможностям.

Перевод существующих АСУТП на новые датчики, использующие цифровой обмен данными, связан с закупками дорогостоящего оборудования и программного обеспечения. Кроме того, использование даже одного цифрового датчика в системе потребует отдельного

цифрового контроллера и изменения всей архитектуры АСУТП. Преимущество *HART*-протокола в том, что *HART*-устройство можно ставить на место аналогового датчика и, не меняя всей системы, использовать цифровой обмен.

HART-протокол (*Highway Addressable Remote Transducer* – высокоскоростной удалённый адресуемый приёмник) был разработан в середине 80-х годов американской компанией *Rosemount*. В начале 1990-х годов протокол был дополнен и стал открытым коммутационным стандартом. Вначале он был нормирован только для применения в режиме соединения «точка – точка», затем появилась возможность применять протокол в режиме многоточечного соединения «*multidrop*». Основные технические параметры, определяемые стандартом на *HART*-протокол, представлены в табл. 14.2.

Таблица 14.2

Технические параметры, определяемые стандартом *HART*-протокола

Топология	«Точка – точка» (стандартная) или шина
Максимальное количество устройств	Одно подчинённое устройство и два ведущих устройства (стандартный режим); 15 подчинённых устройств, 2 ведущих устройства (многоточечный режим с удалённым питанием)
Максимальная протяжённость линии связи	3 км (стандарт) 100 м (многоточечный режим)
Тип линии	Экранированная витая пара
Интерфейс	4–20 мА, токовая петля (аналоговый)
Скорость передачи	1200 Кбит/с
Метод обращения	<i>Polling</i> (механизм опроса с уникальной адресацией каждого устройства)
Максимальная длина пакета данных	25 байт
Время цикла обновления данных	Около 500 мс (в пакетном режиме – 330 мс)
Надёжность передачи данных	1 ошибка на 10^5 бит, контроль по четности каждого байта, байт контрольной суммы для каждого пакета
Возможность использования во взрывоопасной зоне	Да

Метод передачи данных. *HART*-протокол основан на методе передачи данных с помощью частотной модуляции (*Frequency Shift Keying, FSK* – частотная манипуляция), в соответствии с широко распространенным коммуникационным стандартом *Bell 202*. Цифровая информация передается частотами 1200 Гц – (логическая единица) и 2200 Гц – (логический ноль), которые накладываются на аналоговый токовый сигнал (рис. 14.1). Частотно-модулированный сигнал является двухполярным ($\pm 0,5$ мА) и при применении соответствующей фильтрации не влияет на основной аналоговый сигнал 4–20 мА. Скорость передачи данных для *HART* составляет 1,2 Кбит/с. Каждое *HART*-устройство требует для цифровой передачи соответствующего модема.

Благодаря наличию двух ведущих устройств каждое из них может быть готово к передаче через 270 мс (время ожидания). Цикл обновления данных повторяется 2–3 раза в секунду в режиме запрос/ответ и 3–4 раза в секунду в пакетном режиме. Несмотря на относительно большую длительность цикла, в большинстве случаев он является достаточным для управления непрерывными технологическими процессами.

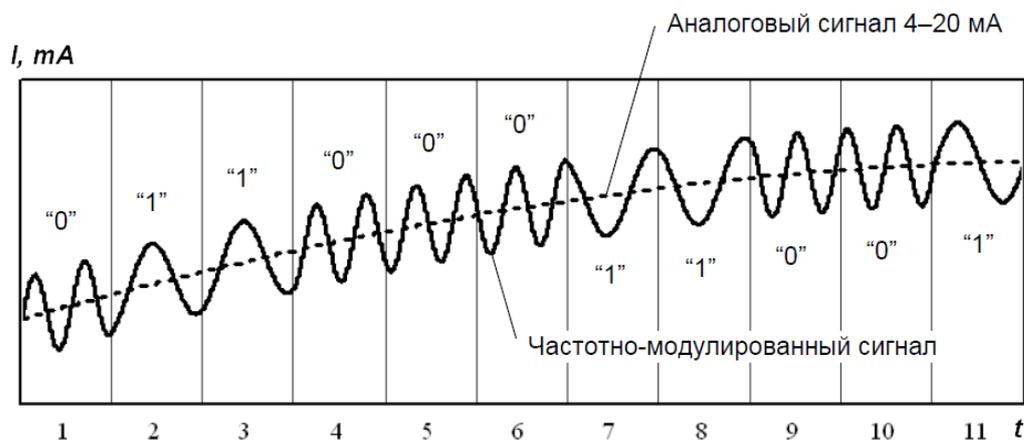


Рис. 14.1. Кодирование *HART*-сигнала

Подключение устройств и топология. *HART*-протокол используется в двух режимах подключения. В большинстве случаев применяется соединение «точка – точка» (рис. 14.2, а), т.е. непосредственное соединение прибора низовой автоматики (преобразователя информации, датчика, исполнительного устройства и т.п.) и не более чем двух ведущих устройств. В качестве первичного ведущего устройства, как правило, используется программируемый логический контроллер (ПЛК), а в качестве вторичного – портативный *HART*-терминал или отладочный персональный компьютер (ПК) с *HART*-

модемом. При этом аналоговый токовый сигнал передаётся от ведомого устройства к соответствующему ведущему устройству. Цифровые сигналы могут приниматься или передаваться как от ведущего, так и от ведомого устройства. Так как цифровой сигнал наложен на аналоговый, процесс передачи аналогового сигнала происходит без прерывания.

В многоточечном режиме (рис. 14.2, б) до 15 ведомых устройств могут соединяться параллельно двухпроводной линией с теми же двумя ведущими устройствами. При этом по линии осуществляется только цифровая связь. Сигнал постоянного тока 4 мА обеспечивает вспомогательное питание ведомых приборов по сигнальным линиям.

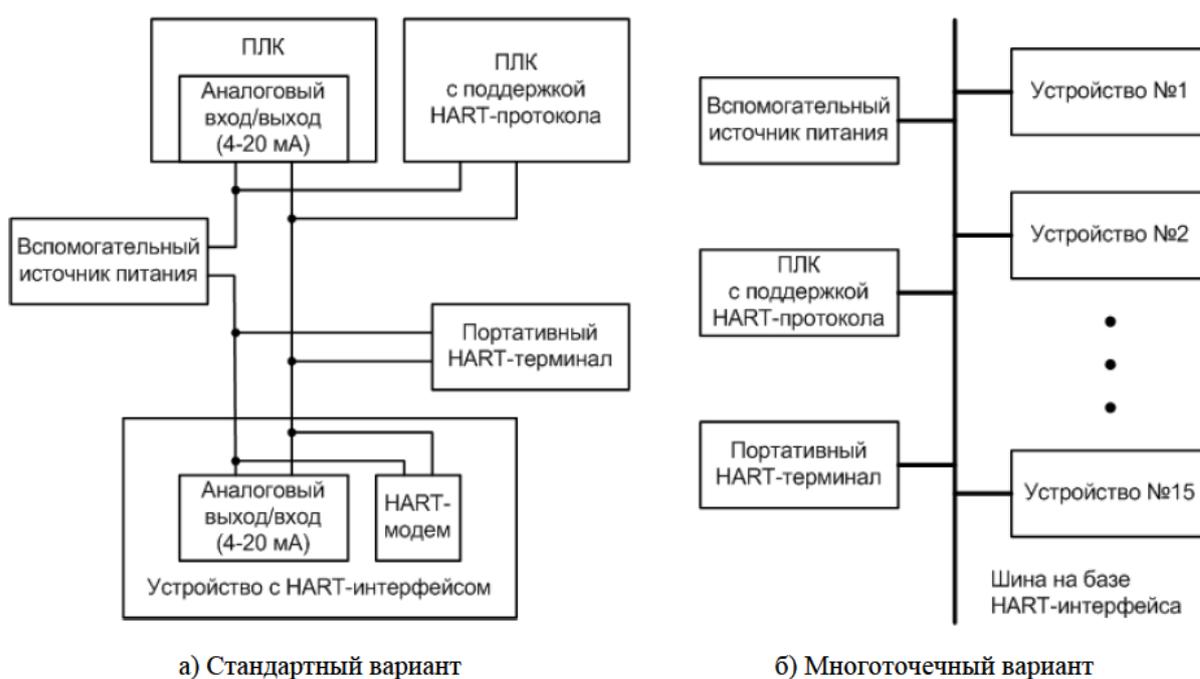


Рис. 4.2. Структурная схема подключения *HART*-устройств:
 а – цифровой канал «точка – точка» с аналоговым сигналом; б – цифровой канал (топология «шина») без передачи аналогового сигнала, но с удалённым питанием по цепям связи

Реализация *HART*-протокола. *HART*-протокол реализует уровни 1, 2 и 7 модели взаимодействия открытых систем (ВОС). Дополнительно протокол предусматривает надстройку к уровню 7 в форме *HART Device Description Language*.

При реализации физического уровня *HART*-протокол опирается на стандарт *Bell 202*. Таким образом, аппаратно он ориентирован на так называемые *Bell*- или *HART*-модемы. На уровне канала данных реализуется протокол передачи данных, который использует принцип

«ведущий – ведомый» (*master – slave*). Активное ведущее устройство передаёт соответствующую *HART*-команду на ведомое *HART*-устройство (как правило, приборы низовой автоматики). Запрашиваемое *HART*-устройство интерпретирует соответствующую команду и отвечает. Оба ведущих имеют различные адреса, что и гарантирует однозначность при обмене командами и ответами. Передача данных происходит асинхронно в полудуплексном режиме. Структура пакетов во всех режимах работы одинаковая, что создаёт однозначное соответствие между *HART*-командами и ответами устройств в многоточечном режиме. Различия существуют только между структурой запроса ведущего (*HART*-терминала или ПЛК) и структурой ответа ведомых устройств (рис. 14.3).

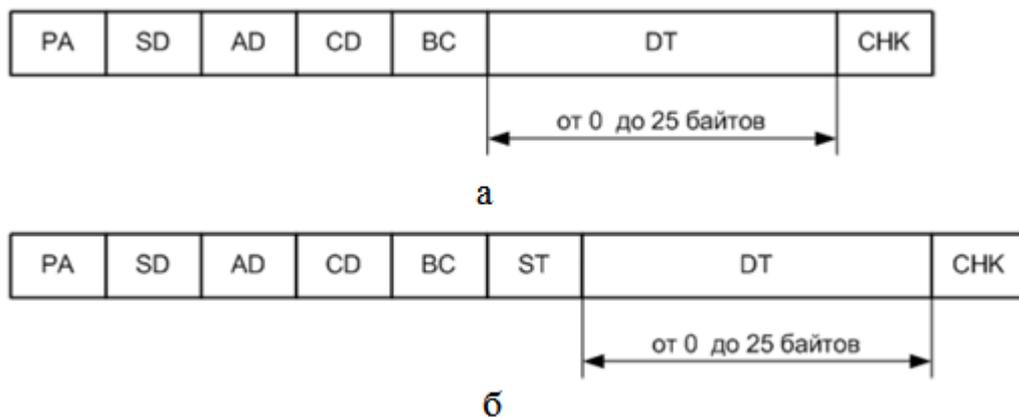


Рис. 14.3 Структура *HART*-сообщения:

а – запрос от ведущего устройства, б – ответ от ведомого устройства

Все *HART*-сообщения передаются побайтно в асинхронном режиме. Передача каждого байта начинается со стартового бита, затем идут биты данных (начиная со старшего), бит чётности и стоповый бит.

Сообщение состоит из следующих элементов, указанных в табл. 14.3

Длина преамбулы зависит от требований ведомых устройств. Ведущее устройство использует самую длинную преамбулу только при первом обращении к ведомому устройству. Затем, запросив требуемую ведомым устройством длину преамбулы, ведущее устройство использует преамбулу требуемой длины.

Длинная преамбула приводит к снижению скорости передачи полезных данных, поэтому практически все современные ведомые устройства используют пятибайтовую преамбулу.

Поле статуса (*ST*) появляется только в ответе ведомого устройства. Если ведомое устройство не выполнило команду, в поле статуса

отображается причина, например, сообщение получено устройством с ошибкой или устройство не может выполнить полученную команду.

Надёжность передачи данных по *HART*-протоколу обеспечивается различными мерами контроля как на уровне байта, так и на уровне пакета. Частота возникновения ошибки на уровне передачи битов составляет одну ошибку на 10 бит. Каждый передаваемый байт внутри *HART*-пакета имеет бит паритета; каждый *HART*-пакет имеет контрольную сумму, с помощью которой можно распознавать до 3 ошибочных битов.

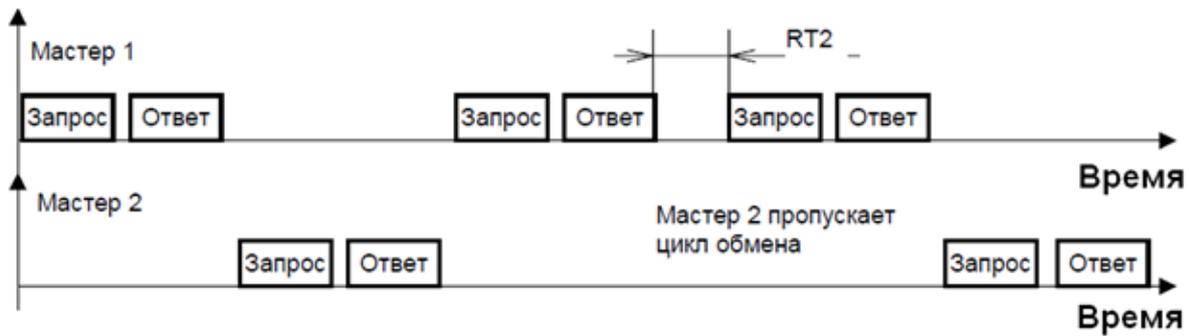
Таблица 14.3

Поля *HART*-сообщения

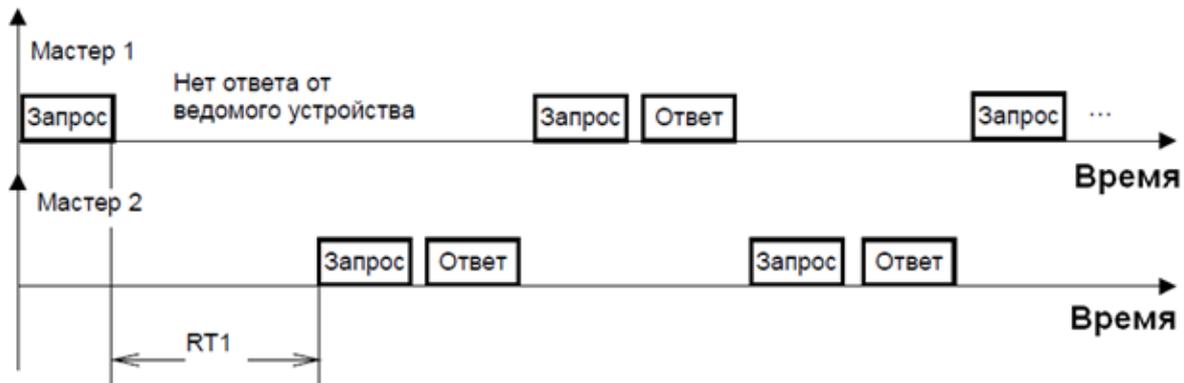
Имя поля	Длина, байт	Назначение
<i>PA</i> (<i>Preamble</i>) Преамбула	от 5 до 20	Синхронизация <i>HART</i> -модемов и обнаружение несущей
<i>SD</i> (<i>Stan Delimiter</i>) Стартовый байт	1	Признак начала сообщения. Синхронизация приёмника и передатчика
<i>AD</i> (<i>Address</i>) Адрес	1 или 5	Содержит адрес приёмника или признак пакетного режима.
<i>CD</i> (<i>Command</i>) Команда	1	Содержит код <i>HART</i> -команды, которую должно выполнить <i>Slave</i> -устройство
<i>BC</i> (<i>Byte Count</i>) Количество байтов	1	Содержит суммарную длину полей <i>ST</i> и <i>DT</i> в байтах
<i>ST</i> (<i>Status</i>) Статус ведомого устройства	0 – для ведущего устройства, 2 – для ведомого устройства	Ведомое устройство сообщает ведущему устройству о выполнении или невыполнении команды и причину невыполнения
<i>DT</i> (<i>Data</i>) Данные	от 0 до 25	Поле содержит параметры или результат выполнения команды (например, результат измерения)
<i>CHK</i> (<i>Checksum</i>) Контрольная сумма		Поле используется для обнаружения ошибок при передаче

Управление доступом к среде передачи. Поскольку в сети может быть два ведущих устройства, то должен быть определён протокол доступа этих устройств к среде передачи. Оба ведущих устройства постоянно контролируют сетевой трафик, поочерёдно посылая запросы и получая

ответы от ведомых устройств (рис. 14.4). Если ведущему устройству не нужно ничего передавать, то он не занимает шину. В этом случае ведущее устройство, передававшее последний раз, выжидает в течение времени $RT2$, после чего начинает новый цикл обмена (рис. 14.4, а).



а



б

Рис. 14.4. Циклы обмена по *HART*-протоколу:
 а – пропуск цикла одним из ведущих устройств;
 б – нет ответа от ведомого устройства

Если ведущее устройство не получает ответа в течение времени $RT1$ с момента окончания передачи кадра-запроса, то право на запрос переходит к другому ведущему устройству (рис. 14.4, б). Длительность временного интервала $RT1$ определена так, чтобы она была немного больше предельного времени отклика ведомого устройства TTO . Если ведомое устройство не успевает ответить в течение интервала TTO с момента окончания передачи кадра-запроса, то оно не отвечает вообще. Благодаря этому не возникает конфликта между ведомым и ведущим устройствами, начавшим передачу по истечении времени $RT1$.

Значения временных интервалов, используемые в *HART*-протоколе для синхронизации устройств, приведены в табл. 14.4.

Длительность в табл. 14.4 измеряется временным интервалом, который нужен для передачи одного байта (символа). Зная, что каждый байт данных передаётся 11 битами, а скорость передачи 1200 бит/с, можно рассчитать длительность одного символа – 9,167 мс.

Различные значения интервалов $RT1$ для главного и второстепенного ведущих устройств введены для того, чтобы после инициализации сети первым начало передачу главное ведущее устройство.

Таблица 14.4

Временные интервалы, определенные в HART-протоколе

Обозначение	Описание	Длительность в символах
$RT2$	Ожидание ведущего устройства перед повторным использованием сети	8
$RT1(0)$	Ожидание ответа от ведомого устройства главным ведущим устройством	33
$RT1(1)$	Ожидание ответа от ведомого устройства второстепенным ведущим устройством	41
TTO	Предельное время начала ответа ведомого устройства	28

Команды HART-протокола. Внутри уровня 7 протокол *HART* использует команды, которые подразделяются на три основных класса.

Универсальные команды. Эти команды используются и поддерживаются всеми ведомыми устройствами. Они служат решению таких общих задач, как, например, считывание первичных значений измерений, диапазона измерений, граничных величин или констант. Имеется 10 таких команд:

- прочитать производителя и тип устройства;
- прочитать главную переменную (ГП) и единицы измерения;
- прочитать силу тока на аналоговом выходе и процент от диапазона;
- прочитать силу тока на аналоговом выходе и до четырёх predetermined динамических переменных;
- прочитать/записать 8-символьный идентификатор и 16-символьное описание;
- прочитать/записать 32-символьное сообщение;
- прочитать диапазон значений устройства, единицы измерения и время выборки;

- прочитать серийный номер устройства и ограничения;
- прочитать/записать последний шифр комплекта устройств;
- записать адрес запроса.

Стандартные команды. Они используются в большинстве *HART*-приборов, но не во всех. К этой группе принадлежат, прежде всего, такие команды, как считывание и запись стандартных и приборных параметров:

- прочитать выборку значений динамических переменных (до четырёх переменных);
- записать константу времени выборки;
- записать диапазон значений устройства;
- калибровать (установка нуля, диапазона);
- установить постоянное значение выходного тока;
- выполнить самотестирование;
- выполнить перезапуск устройства;
- установить ГП в нуль;
- записать единицы измерения ГП;
- установить нулевое значение цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и коэффициент усиления;
- записать функцию преобразования (квадратный корень или линейное);
- записать серийный номер устройства;
- прочитать/записать привязки динамических переменных.

Специфические команды устройств. Эти команды содержат функции, которые ограничиваются данной моделью или типом прибора. К ним относятся команды, связанные с настройкой, вводом в эксплуатацию или работой специфических приборов:

- прочитать/записать уровень обрезки малых значений;
- пуск, останов или общий сброс;
- прочитать/записать коэффициент поправки на плотность;
- выбрать ГП (масса, расход или плотность);
- прочитать/записать информацию о материале и конструкции;
- калибровать датчик;
- включить ПИД-регулятор;
- записать уставку ПИД-регулятора;
- характеристика регулирующего клапана;
- уставка положения регулирующего клапана;
- границы перемещения регулирующего клапана;
- единицы измерения пользователя;
- информация локального дисплея.

Для каждой команды определён код, а также значения полей данных в запросе и ответе. Например, для универсальной команды «Прочитать силу тока на аналоговом выходе и процент от диапазона» код команды – 2, поле данных в запросе будет пустым (длина – нуль байтов). Ответ на эту команду будет содержать поле данных из 8 байтов: байты 0–3 содержат значение тока в миллиамперах в формате с плавающей запятой (4 байта); байты 4–7 - процент от диапазона в формате с плавающей запятой.

Средства параметрирования и подключения *HART*-устройств.

Для обеспечения нормальной работы устройств различных производителей в системах с *HART*-протоколом был введён *Device Description Language (DDL)* – язык описания устройств. Этот язык позволяет производителям *HART*-устройств однозначно описывать их свойства и возможности. Описание на языке *DDL* осуществляется в текстовом формате, а затем переводится компилятором в двоичную форму (*DD*). Полученный двоичный образ *HART*-устройства может быть загружен, например, в портативный *HART*-терминал или в ПК, где соответствующее прикладное программное обеспечение, предназначенное для конфигурирования и наладки *HART*-устройств, прочтя этот образ, сможет настроиться на работу с соответствующим устройством. Можно сказать, что описание на языке *DDL* является своего рода «драйвером» *HART*-устройства, который ко всему прочему программно совместим с любым прикладным программным обеспечением, предназначенным для работы с *HART*-протоколом.

Многие фирмы-производители *HART*-устройств предлагают специальное программное обеспечение как для их конфигурирования, так и для их встраивания в систему управления. Оно позволяет использовать в полной мере возможности современных интеллектуальных датчиков и исполнительных механизмов, а также обеспечивает их удобное конфигурирование и диагностику.

14.2.2. AS-interface

Основная задача сети *AS-interface* – связать в единую информационную структуру устройства самого нижнего уровня распределённой системы автоматизации, а именно: датчики и разнообразные исполнительные механизмы, имеющие соответствующий сетевой интерфейс. Название сети раскрывает её предназначение: *Actuator/Sensor Interface (ASI, AS-i)* – интерфейс с исполнительными механизмами и датчиками. Протокол ориентируется в первую очередь на подключение дискретных датчиков и исполнительных механизмов.

Впервые *ASI*-протокол вышел на рынок в конце 1989 года и уже сегодня поддержан рядом известных фирм: *IFM, Limberg, Siemens, Pepperl-Fuchs, Allen-Bradley*. Существует и одноименная ассоциация по поддержке этой сети – *ASI*.

AS-интерфейс является открытой промышленной сетью нижнего уровня систем автоматизации, которая предназначена для организации связи с датчиками и исполнительными устройствами в соответствии с требованиями европейских нормативов *EN 50295* и международного стандарта МЭК 62026-2.

В существовавших ранее решениях для подключения дискретных датчиков и исполнительных механизмов к управляющему устройству использовалось множество кабельных соединений (жгут), так как каждое такое устройство подключалось к модулю ввода – вывода управляющего устройства отдельной парой проводников. При этом затраты на приобретение кабельной продукции, на её монтаж и эксплуатацию были очень велики. *AS*-интерфейс позволяет решить задачу подключения датчиков и исполнительных механизмов к системе управления на основе построения сети с использованием одного двухжильного кабеля, с помощью которого обеспечивается как питание всех сетевых устройств, так и опрос датчиков и выдача команд на исполнительные механизмы.

При наличии в системе специальных модулей *AS*-интерфейс позволяет подключать к системе управления обычные широко распространённые на рынке датчики и исполнительные механизмы. Следующим шагом в развитии сетевых технологий на базе *AS*-интерфейса стало включение интегральных микросхем ведомого устройства непосредственно в электронную часть датчиков и исполнительных механизмов. Для таких интеллектуальных устройств становится возможной реализация удалённого параметрирования и диагностики без использования дополнительных связей.

Гибкость управления системой достигается за счёт применения различных ведущих устройств. Функции ведущих устройств могут выполнять программируемые логические контроллеры, промышленные компьютеры или модули связи с сетями более высокого уровня – *MODBUS, Interbus, CAN, PROFIBUS, DeviceNet*.

Передача данных. В качестве среды передачи используется пара обычных проводников. Площадь поперечного сечения каждого проводника, равная $1,5 \text{ мм}^2$, установлена стандартом. При таком сечении гарантируется питающий ток 2 А. таким образом, ведомые устройства могут питаться непосредственно от шины *AS*-интерфейса.

Оболочка кабеля AS-интерфейса имеет специальный профиль в виде трапеции с выступом (рис. 14.5), исключающий возможность неправильного подключения сетевых компонентов. Желтый плоский кабель стал своего рода рыночным знаком AS-интерфейса. Большая часть сетевых компонентов подключается к кабелю методом прокалывания изоляции, и сделать это можно практически в любой точке соединительного кабеля, что обеспечивает гибкость сетевой архитектуры и сокращает сроки монтажа. Наряду с профилированным кабелем используется и круглый кабель, ориентированный на специальные модули.

Если для исполнительных механизмов требуется дополнительное питание, например постоянное напряжение 24 В, то можно применить аналогичный профилированный кабель черного цвета, который также использует технологию прокалывания. Для напряжений более 30 В, в частности для 220 В переменного тока, используется кабель с оболочкой красного цвета.

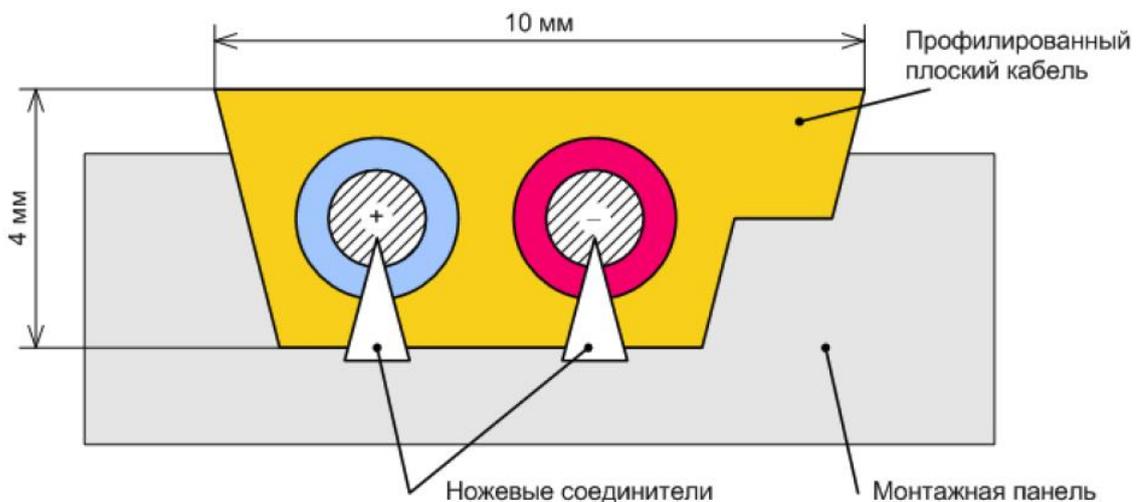


Рис. 14.5. Поперечное сечение кабеля AS-интерфейса и способ подключения устройств

Скорость передачи данных ограничена до 167 Кбит/с. Для кодирования данных используется манчестерский код, в котором логические единица и нуль кодируются восходящим и нисходящим фронтом сигнала в середине битового интервала. Такой тип кодирования снижает влияние на ASI-кабель внешних возмущений.

Подключение устройств и топология. Локальная вычислительная система низкого уровня на базе AS-интерфейса может иметь только одно ведущее устройство. По спецификации AS-интерфейса версии 2.0 к

ведущему устройству можно подключить 31 ведомое устройство. Каждое ведомое устройство может иметь до 4 входов/выходов.

AS-интерфейс использует метод доступа к ведомым устройствам, основанный на их циклическом опросе. При опросе системы, состоящей из 31 ведомого устройства, время цикла составляет 5 мс. Таким образом, не позднее чем через каждые 5 мс датчик или исполнительный механизм системы будет опрошен ведущим устройством.

Каждый узел ASI-сети должен иметь специальную интерфейсную микросхему с поддержкой ASI-протокола. AS-интерфейс позволяет передавать как данные, так питающую нагрузку к узлам сети, поскольку существует большое число фотоэлектрических и индуктивных датчиков, которые потребляют небольшую мощность и могут питаться непосредственно от сети. Упрощенно ASI-сеть может выглядеть, как на рис. 14.6.

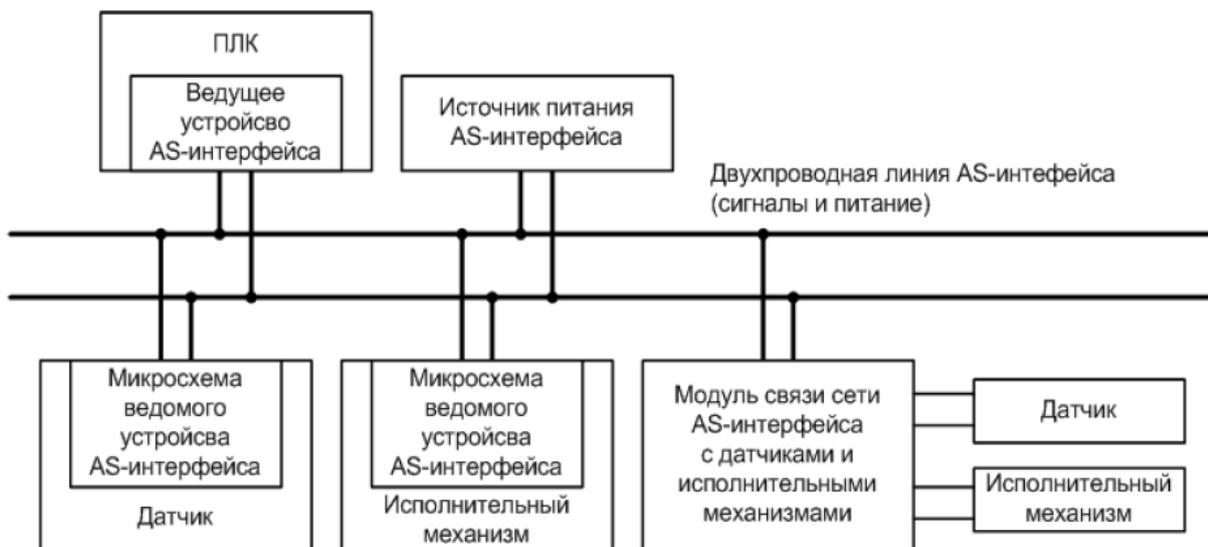


Рис. 14.6. Пример ASI-структуры

Топология сети AS-интерфейса может быть произвольной (рис. 14.7). Отсутствие терминаторов шины позволяет даже «закольцевать» среду передачи. Единственное, что необходимо учитывать – это ограничение общей длины кабеля – 100 м. Под общей длиной понимается сумма длин всех ветвей сегмента сети, обслуживаемого одним ведущим устройством. Специальный расширитель позволяет удлинить кабель или разделить ветвь на группы. Если требуется большая длина кабеля, то можно использовать до двух повторителей, что обеспечит надёжное соединение при суммарной протяжённости линий связи до 300 м. При этом необходимо учитывать, что каждый сегмент требует отдельного источника электропитания.

Для сетевых устройств должны использоваться только специальные источники, предназначенные для работы с AS-интерфейсом.

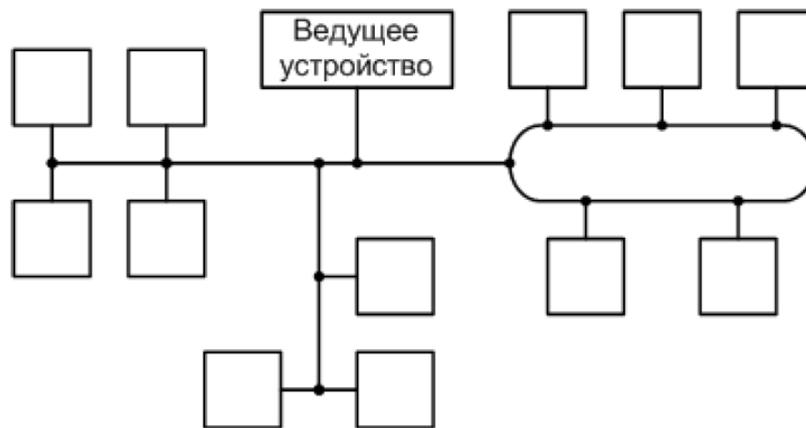


Рис. 14.7. Топология сети AS-интерфейса

Микросхема ведомого устройства. Для того чтобы электронная часть ведомого устройства, могла быть встроена непосредственно в датчик или исполнительное устройство, она должна быть компактной и, кроме того, дешёвой. Это возможно только при использовании специализированных микросхем с высокой степенью интеграции.

Через интегральную микросхему ведомого устройства двоичные датчики и исполнительные устройства подключаются к сети AS-интерфейса. Специализированная микросхема (*ASI Chip*, *ASIC*) обеспечивает датчик или исполнительное устройство электропитанием от сети, распознает переданную от ведущего устройства информацию и посылает в ответ собственные данные. Возможны два способа использования таких микросхем:

- микросхема может быть встроена прямо в датчик или исполнительное устройство, в результате чего получается устройство с интегрированным AS-интерфейсом (рис. 14.8);
- микросхема может быть встроена в специальный модуль таким образом, что к модулю можно подключать обыкновенный датчик или исполнительное устройство, которые при этом становятся устройствами с внешним AS-интерфейсом (рис. 14.9).

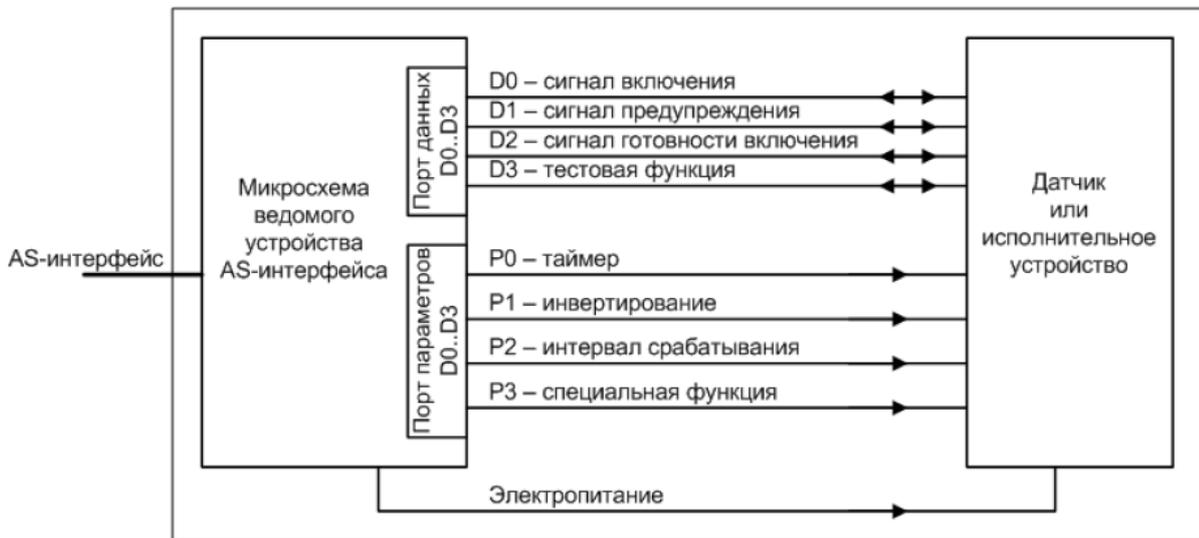


Рис. 14.8. Схема датчика или исполнительного устройства с интегрированным *AS*-интерфейсом

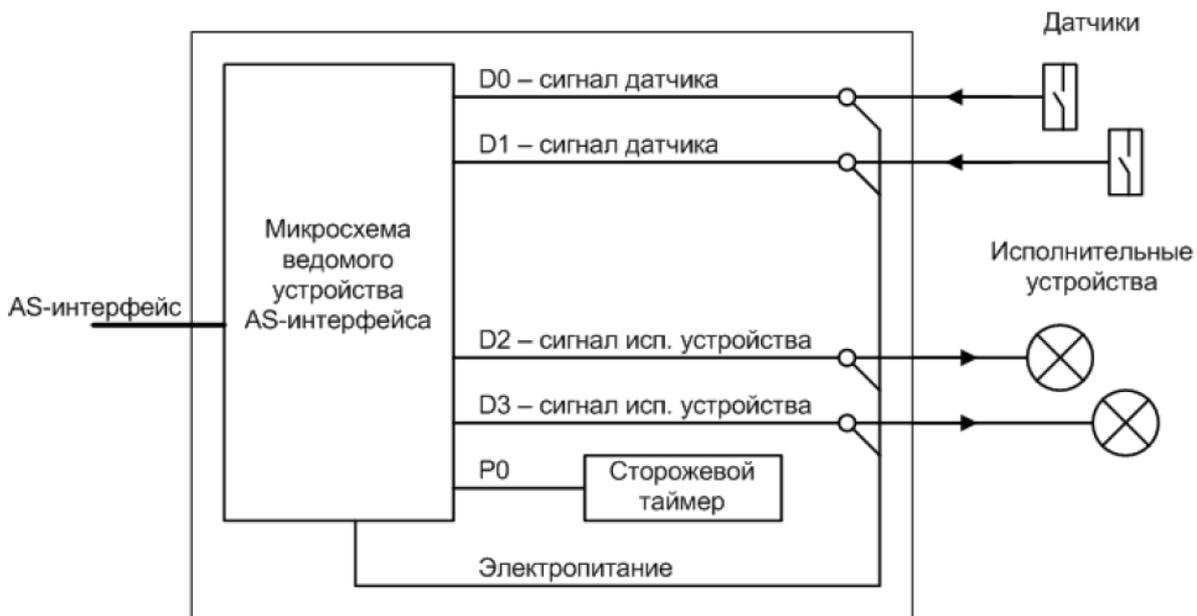


Рис. 14.9. Схема модуля связи сети *AS*-интерфейса с датчиками и исполнительными механизмами без встроенных микросхем ведомого устройства

Основным производителем микросхем для *AS*-интерфейса является компания *AMS (Austria Microsystems)*, выпускающая микросхемы *AS13+* и *SAP4*.

Четыре возможные точки подключения к порту данных микросхемы ведомого устройства – *D0–D3* (рис. 14.8, 14.9) – могут быть сконфигурированы как входы, выходы и двунаправленные порты (входы/выходы). Конфигурирование выполняется производителем *AS*-устройства и не может быть изменено в процессе эксплуатации.

14.3. Протоколы системного уровня

14.3.1. Протокол *Modbus*

Этот протокол разработан фирмой *Modicon Gould Inc.*, ныне *Schneider Electric* для построения промышленных распределённых систем управления. Специальный физический интерфейс для него не определён. Поэтому на физическом уровне протокола *Modbus* может использоваться любой байт-ориентированный протокол: *RS-232C*, *RS-422*, *RS-485* или же токовая петля.

Протокол *MODBUS* работает по принципу «*Master – Slave*» или «ведущий – ведомый». Конфигурация на основе этого протокола предполагает наличие одного ведущего устройства и до 247 ведомых устройств. Каждому ведомому устройству на этапе конфигурирования сети присваивается уникальный адрес устройства в диапазоне от 1 до 247. Только ведущее устройство инициирует циклы обмена данными (транзакции). Существует два типа транзакций:

- запрос/ответ (адресуется только одно из ведомых устройств);
- широковещательная передача (ведущее устройство, используя нулевой адрес, обращается ко всем остальным узлам сети одновременно без квитирования).

Таким образом, каждая транзакция содержит один кадр запроса и один кадр ответа, либо один кадр широковещательной передачи.

Некоторые характеристики протокола *Modbus* фиксированы. К ним относятся формат кадра, последовательность кадров, обработка ошибок коммуникации и исключительных ситуаций, и выполнение функций.

Другие характеристики выбираются пользователем. К ним относятся тип средства связи, скорость обмена, проверка на чётность, число стоповых бит и режим передачи (*ASCII* или *RTU*). Параметры, выбираемые пользователем, устанавливаются (аппаратно или программно) на каждом устройстве. Эти параметры устанавливаются одинаковыми для всех устройств сети *Modbus* и не могут быть изменены во время работы системы.

Режим передачи определяет структуру отдельных блоков информации в сообщении и системы счисления, используемой для передачи данных. В системе *Modbus* существуют два режима передачи. Оба режима обеспечивают одинаковую совместимость при связи с ведомыми устройствами. Режим выбирается в зависимости от объединяемого с помощью сети *Modbus* оборудования. Для каждой сети *Modbus* должен использоваться только один режим. Смешивание режимов не допустимо. Режимы делятся на *ASCII* (*American Standard Code for Information Interchange* – Американский стандартный код обмена информацией) и *RTU* (*Remote Terminal Unit* – модуль удалённого терминала).

Символы ASCII удобнее использовать при отладке, поэтому этот режим удобен для компьютеров, программируемых на языке высокого уровня. Режим *RTU* обеспечивает более компактный размер кадров, что позволяет сократить длительность транзакции.

В режиме *RTU* данные передаются в виде 8-разрядных двоичных символов. В режиме ASCII каждый *RTU*-символ сначала делится на две четырехразрядные части (старшая и младшая), значение каждой цифры представляется одной 16-разрядной цифрой, а затем ASCII-символы этих 16-тиразрядных цифр используются при формировании сообщения. В результате каждый *RTU* символ представляется двумя ASCII символами, которые могут принимать значения 0–9 и A–F. Их коды ($30_{16} - 39_{16}$ и $41_{16} - 46_{16}$ соответственно) лежат в основной (нижней) части ASCII-таблицы, что позволяет использовать только семь бит для передачи каждого байта (самый старший восьмой бит всегда будет равен нулю, а значит его можно не передавать).

ASCII режим использует в два раза больше символов, чем *RTU* режим, но декодирование и управление данными – легче. К тому же, в режиме *RTU* символы сообщения должны передаваться непрерывным потоком. В режиме ASCII допустима задержка до 1 секунды между двумя соседними символами.

Формат кадра для режимов ASCII и *RTU* представлен в табл. 14.5.

Таблица 14.5

Формат кадра для режимов ASCII и *RTU*

	Старт	Адрес	Функции	Данные	Контрольная сумма	Конец
ASCII	1 символ «:»	2 символа	2 символа	2 <i>N</i> символов	2 символа	2 символа <i>CR LF</i>
<i>RTU</i>	пауза более 3,5 байт	1 байт	1 байт	<i>N</i> байт	2 байта	пауза более 3,5 байт

В режиме ASCII начало кадра обозначается символом двоеточия «:». Коней кадра обозначается символами возврата каретки (*CR*) и перевода строки (*LF*), указывающими на конец кадра. Символ перевода строки (*LF*) также служит как синхронизирующий символ, который указывает на то, что передающая станция готова к приёму ответного сообщения.

В режиме *RTU* приёмное устройство отслеживает время между приёмом символов. Если прошло время, равное периоду следования 3,5 символов, а кадр не был завершён или не поступило нового символа, устройство очищает кадр и предполагает, что следующий принимаемый байт – это адрес устройства в новом сообщении.

Поле адреса следует сразу за началом кадра и состоит из одного 8-разрядного символа в режиме *RTU* или 2-х символов в режиме *ASCII*. Эти биты указывают пользователю адрес ведомого устройства, которое должно принять сообщение, посланное ведущим устройством.

Каждое ведомое устройство имеет уникальный адрес, и только адресуемое устройство может ответить на запрос, который содержит его адрес. Когда ведомое устройство посылает ответ, адрес, указываемый в кадре ответа, информирует ведущее устройство о том, какое ведомое устройство на связи. В широковещательном режиме используется адрес 0. Все ведомые устройства интерпретируют такое сообщение как выполнение определённого действия, но без посылки подтверждения.

Поле кода функции указывает адресуемому ведомому устройству, какое действие выполнить. Коды функций *Modbus* специально разработаны для связи персональных компьютеров и промышленных коммуникационных систем *Modbus*. Старший бит этого поля устанавливается ведомым устройством в единицу в случае, если ведомое устройство сообщает устройству, что ответное сообщение ненормальное.

Поле данных содержит информацию, необходимую ведомому устройству для выполнения указанной функции, или содержит данные, собранные ведомым устройством для ответа на запрос.

Поле контрольной суммы позволяет *Modbus*-устройствам проверять сообщение на наличие ошибок. Существует два типа ошибок, которые могут возникать в системах связи: ошибки передачи и программные или оперативные ошибки. Протокол *Modbus* позволяет определять оба типа ошибок.

Ошибки связи обычно заключаются в изменении бита или битов сообщения. Например, байт 0001 0100 может измениться на 0001 0110. Ошибки связи выявляются при помощи символов начала и конца кадра, контроля по четности и избыточным кодированием.

Когда обнаруживается ошибка кадрирования, чётности и контрольной суммы, обработка сообщения прекращается. Ведомое устройство не должно генерировать ответное сообщение, поскольку при возникновении ошибки связи ведомое устройство не может быть уверено, что сообщение было адресовано именно ему.

Ведущее устройство должно программироваться так, чтобы в случае отсутствия ответного сообщения в течение определённого времени была зафиксирована ошибка связи. Продолжительность этого времени зависит от скорости обмена, типа сообщения и времени опроса ведомого устройства. По истечении этого периода ведущее устройство повторяет запрос.

Для обеспечения качества передачи данных протокол *Modbus* обеспечивает несколько уровней обнаружения ошибок. Для обнаружения множественного изменения битов сообщения протокол использует

избыточный контроль: *CRC* и *LRC* для режимов *RTU* и *ASCII* соответственно.

Вычисление контрольной суммы отличается для *ASCII* и *RTU* режимов. Контрольная сумма в режиме *ASCII* – *LRC* – это 8-разрядное число, передаваемое как два *ASCII*-символа. Контрольная сумма рассчитывается следующим образом. Все байты сообщения, исключая символы начала и конца кадра, складываются без учёта переноса, а затем вычисляется дополнительный код полученного числа. В приёмнике все полученные байты сообщения также складываются, и если передача прошла без ошибок, то суммирование полученной суммы с принятым значением контрольной суммы без учёта переноса даст нуль (табл. 14.6).

Таблица 14.6

Пример расчёта *LRC* для сообщения «Запрос на чтение первых восьми булевых ячеек из устройства с адресом 02»

	<i>ASCII</i> -символы сообщения	Значения байтов сообщения в двоичном формате	Примечания	
Сообщение, сформированное передатчиком				
Адрес	02	0000 0010		
Функция	01	0000 0001		
Адрес первой ячейки (<i>HIGH</i>)	00	0000 0000		
Адрес первой ячейки (<i>LOW</i>)	00	0000 0000		
Число ячеек(<i>HIGH</i>)	00	0000 0000		
Число ячеек (<i>LOW</i>)	03	00001000		
Расчет <i>LRC</i>			0000 1011 1111 0100 1111 0101	Сумма Инверсия Доп. код
Контрольная сумма	<i>F5</i>	11110101		
Сообщение, полученное приемником				
Приёмное устройство складывает все байты данных, включая <i>LRC</i> . Сумма может превышать 8 бит, в расчет принимаются только младшие 3 бит.	02 01 00 00 00 08 <i>F5</i>	0000 0010 0000 0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 00001000 11110101	Сумма всех принятых байтов равна нулю (0000 0000), значит сообщение принято без ошибок.	

Команды протокола Modbus. Каждое *Modbus*-устройство рассматривается протоколом как некоторый контроллер с дискретными и аналоговыми входами и выходами, к которым подключены соответственно датчики и исполнительные механизмы. Состояния входов и выходов такого *Modbus*-устройства представляются в виде четырёх таблиц данных. В каждой таблице располагаются данные определённого типа (табл. 14.7).

В таблицах дискретных входов и входных регистров хранятся данные, которые получены от дискретных и аналоговых датчиков. Поскольку эти данные описывают состояния датчиков, то и поменяются они могут только при изменении состояний датчиков. Поэтому для таблиц входов определён режим доступа «только чтение».

Таблица 14.7

Типы данных *Modbus*

Тип данных	Размер поля	Обозначение	Режим доступа
Дискретные входы (<i>Discrete Inputs</i>)	1 бит	%IX	только чтение
Дискретные выходы (<i>Coils</i> – катушки реле)	1 бит	%QX	чтение/запись
Входные регистры (<i>Input Registers</i>)	16-разрядное слово	%IW	только чтение
Регистры временного хранения информации (<i>Holding Registers</i>)	16-разрядное слово	%QX QW	чтение/запись

Поскольку для включения дискретных исполнительных механизмов чаще всего, используются электромагнитные реле, то и дискретные выходы были названы *coils*, чтобы подчеркнуть этот факт.

Таблицы, описывающие состояния дискретных выходов и регистров, могут использоваться для хранения информации о состояниях дискретных и аналоговых исполнительных механизмов, подключенных к *Modbus*-устройству. Для управления исполнительными механизмами состояния выходов могут изменяться как программой самого узла *Modbus*, так и командами, переданными по сети. Кроме того, таблицы дискретных выходов и регистров временного хранения информации могут использоваться для размещения переменных соответствующего типа.

Каждая таблица располагается в соответствующей области памяти *Modbus*-устройства и может содержать до 65536 значений параметров. Номер параметра, его позиция в таблице определяется числом в диапазоне

от 1 до 65536. Адреса параметров при передаче по протоколу *Modbus* задаются беззнаковым целым числом (*unsigned integer*), которое принимает значения от 0 до 65535. Таким образом, при формировании запроса необходимо отнимать единицу от адреса запрашиваемого параметра.

Набор команд протокола *Modbus* описывает функции:

- чтение/запись битов и битовых последовательностей;
- чтение/запись регистров и группы регистров;
- диагностики;
- программные;
- управления списком опроса;
- сброса (*RESET*).

Основные функции доступа к данным и диагностики, чаще всего реализуемые *Modbus*-устройствами, представлены в табл. 14.8.

Таблица 14.8

Коды функций *Modbus*

Тип доступа	Область доступа	Название функции	Код
Побитовый доступ	Дискретные входы	Чтение группы дискретных входов	02
	Дискретные выходы или внутренние логические переменные	Чтение группы дискретных выходов	01
		Запись одного дискретного выхода	05
		Запись группы дискретных выходов	15
16-разрядный доступ	Входные регистры	Чтение входного регистра	04
	Выходные регистры или внутренние целочисленные переменные	Чтение нескольких регистров хранения информации	03
		Запись одного регистра хранения	06
		Запись группы регистров хранения	16
Диагностика			08

Функция диагностики реализует серию проверок системы коммуникации между ведущим и ведомым устройствами или проверку на различные внутренние ошибки в ведомом устройстве. Широкое вещание не поддерживается. Функция использует два байта кода подфункции в запросе для определения типа теста, который необходимо провести (например, перезапуск, чтение значения диагностического регистра, переход в режим «только приём»). Ведомое устройство возвращает оба кода функции и подфункции в нормальном ответе. Большинство диагностических запросов используют два байта поля данных для отправки диагностических данных или контрольной информации ведомому

устройству. Некоторые результаты диагностики могут возвращаться подчиненным в поле данных нормального ответа.

Пример 14.1. Ниже приведена транзакция между ведущим устройством и ведомым с адресом 17_{10} . В результате транзакции происходит чтение значений группы регистров хранения информации (код функции 03) с адресами

$$\%QW109 - \%QW112.$$

Использование функции с кодом 03 требует указания в поле данных запроса адреса первого регистра группы (2 байта, старший байт передаётся первым) и количества считываемых регистров (2 байта, старший байт передаётся первым).

В ответе ведомого устройства возвращается адрес устройства, код функции. В первом байте поля данных указывается количество байтов информационных байтов в поле. Количество информационных байтов определяется количеством считываемых регистров – по два байта на каждый регистр (старший байт, младший байт).

Для формирования запроса необходимо все числа перевести в шестнадцатеричную форму записи:

- адрес ведомого устройства – $17_{10} \rightarrow 11_{16}$.
- код функции – $03_{10} \rightarrow 03_{16}$.
- адрес первого регистра – $(109 - 1) = 108_{10} \rightarrow 6C_{16}$.
- количество считываемых регистров – $04_{10} \rightarrow 04_{16}$.

Запрос в формате *Modbus-ASCII* будет выглядеть следующим образом:

11 03 00 6C 00 04 7D.␣

Ответ ведомого устройства:

11 03 08 0B C7 00 F4 1A 20 09 93 48.␣

После «разбора» ответа ведущим устройством, получаем значения считанных регистров:

- $\%QW109:0BC7_{16} \rightarrow 3015_{10}$;
- $\%QW110:00F4_{16} \rightarrow 244_{10}$;
- $\%QW111:120_{16} \rightarrow 6688_{10}$;
- $\%QW112:0993_{16} \rightarrow 2451_{10}$.

Как интерпретировать полученные данные, зависит от конкретного ведомого устройства. Ведущее устройство должно «знать», какие именно данные лежат в регистрах по запрашиваемым адресам. Их обработка осуществляется прикладной программой ведущего устройства.

Протокол *Modbus* можно назвать наиболее распространённым в мире. Для работы со своими изделиями его используют десятки фирм. Хотя ограничения этого протокола достаточно очевидны, он привлекает простотой логики и независимостью от типа интерфейса.

14.3.2. Протокол *Modbus Plus*

Компания *Schneider Electric* предлагает для объединения своих контроллеров закрытый стандарт сети *Modbus Plus* (*MODBUS+*, *MB+*). Передача данных осуществляется со скоростью 1 Мбит/с, в качестве среды передачи используется экранированная витая пара. Сеть *Modbus Plus* реализует децентрализованный способ управления доступом к шине по методу передачи маркера. Протокол *Modbus Plus* позиционируется как высокоуровневый протокол управления каналом передачи данных (*High level Data Link Control – HDLQ*).

Сеть поддерживает до 64 адресуемых узлов. До 32 устройств могут быть подключены к сетевому кабелю непосредственно на расстоянии до 450 метров (рис. 14.10). При помощи повторителей длина сети может быть увеличена до 1800 метров, а количество устройств – до 64. Для больших расстояний имеются волоконно-оптические повторители.

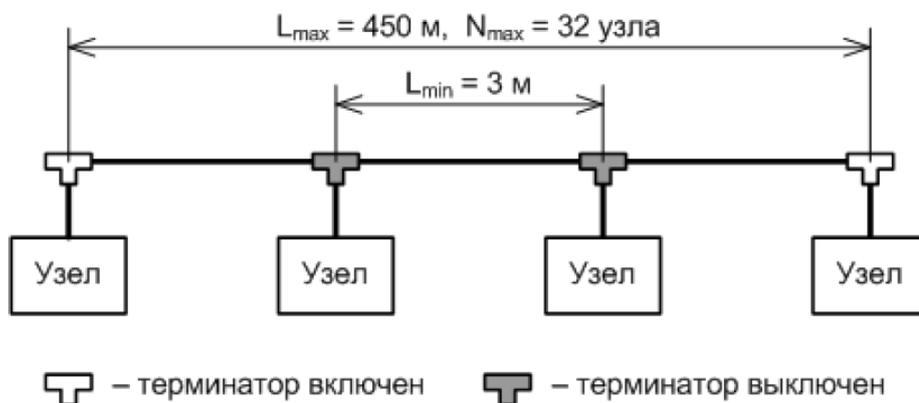


Рис. 14.10. Сегмент сети *Modbus Plus* с одним кабелем

Минимальная длина кабеля между любыми двумя узлами сети составляет 3 метра. Максимальное расстояние между двумя узлами совпадает с максимальной длиной кабельного сегмента – 450 метров. При

монтаже двухкабельной сети *Modbus Plus* с резервированием максимальная разница длин двух кабелей не должна превышать 150 метров (рис. 14.11).

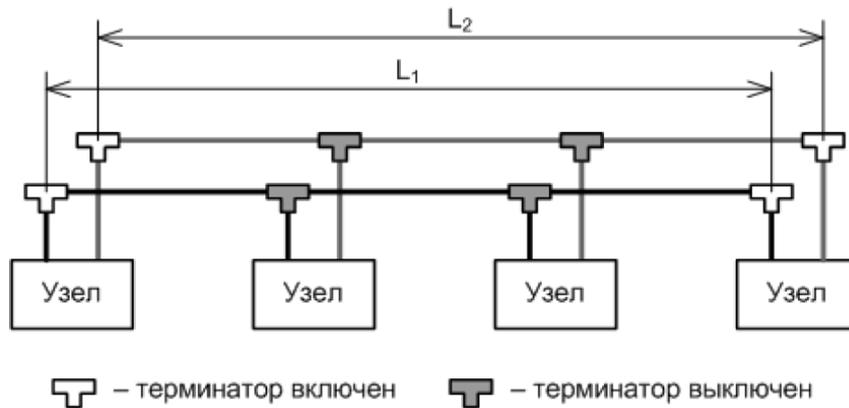


Рис. 14.11. Сегмент сети *Modbus Plus* с резервированием $|L_1 - L_2| < 150\text{м}$

Каждый узел подключается к магистральному кабелю с помощью специальных ответвителей (рис. 14.12). Они обеспечивают электрическое соединение магистрального кабеля и кабеля снижения для подключения узла сети. В каждом ответвителе имеются встроенные терминаторы, которые подключаются с помощью перемычек. Подключение терминаторов осуществляется только в ответвителях, расположенных на концах кабельного сегмента, во избежание отражения сигнала. На конце сегмента магистральный кабель подключается с любой стороны ответвителя. Терминатор подключается к противоположным контактам ответвителя.

Устройства, поддерживающие протокол *Modbus*, а также другие устройства с последовательным протоколом могут быть подключены к сети с помощью мостов-мультиплексоров. Каждый мост-мультиплексор имеет четыре последовательных конфигурируемых порта. Подключенные к мосту-мультиплексору последовательные устройства могут обмениваться данными с устройствами, подключенными в сеть *Modbus Plus*, а также с другими устройствами, подключенными к последовательным портам моста-мультиплексора. Каждый порт моста-мультиплексора может быть сконфигурирован для работы в режиме ведущего или ведомого устройства сети *Modbus*.

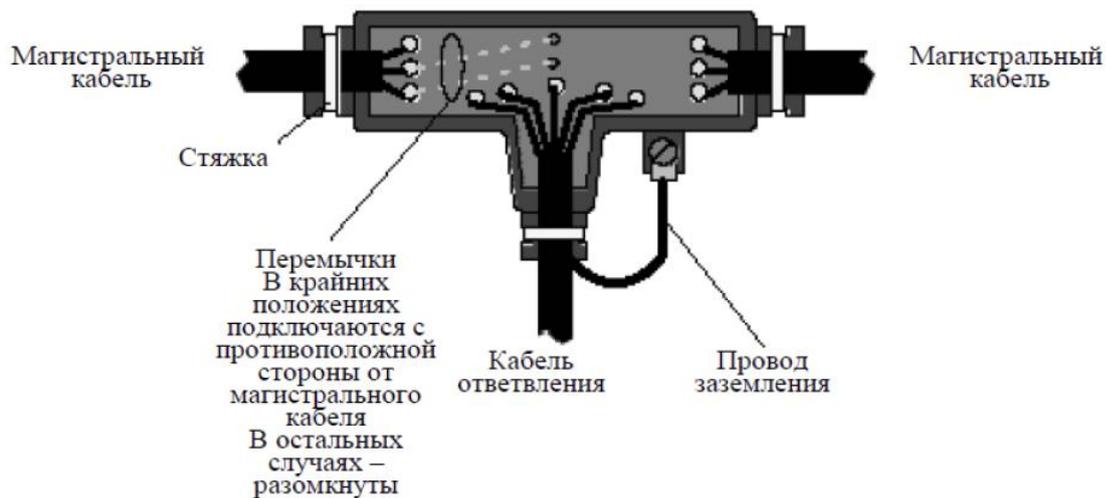


Рис. 14.12. Подключение к сети *Modbus Plus* с помощью ответвителя

Несколько сетей *Modbus Plus* могут быть объединены в единую информационную систему с помощью мостов.

Логическая организация *Modbus Plus*. Каждому узлу сети пользователем задаётся уникальный адрес. Адрес узла не зависит от его физического положения в сети. Адреса устройств должны лежать в диапазоне от 1 до 64. Все узлы являются равноправными членами логического кольца по которому передаётся маркер. Маркер представляет собой специальное сообщение, которое пересылается от одного узла к другому – от узла с младшим адресом к узлу со старшим. Узел с самым старшим адресом пересылает маркер узлу с самым младшим адресом, замыкая, таким образом, логическое кольцо.

***Modbus/TCP*.** Широкое распространение протоколов *Ethernet-TCP/IP* при построении локальных вычислительных сетей привело к их естественному проникновению в системы управления производством. В качестве основного аргумента при этом используется идея «бесшовного» соединения всех уровней классической пирамиды автоматизации: от уровня автоматизации технологических процессов до уровня управления предприятием. Реализация этой идеи потребовала серьезной адаптации *Ethernet*, особенно в плане поддержки реального времени. Недетерминированные протоколы связи типа *HTTP* и *FTP*, конечно, обеспечивают универсальность и удобство использования, но для применения в промышленности все же пришлось разрабатывать на основе *Ethernet* специальные прикладные протоколы.

При поддержке *Schneider Electric* группа *Modbus-EDA (International Development Association)* – Международная ассоциация развития) предлагает архитектуру *Modbus TCP* для распределённых систем управления, использующую структуру сообщений *Modbus*. *Modbus TCP* –

это симбиоз стандартного протокола *Modbus* и протокола *Ethernet-TCP/IP* как средства передачи данных. В результате получился простой, структурированный, открытый протокол передачи. Поскольку функции управления доступом к среде передачи реализуются на уровне протокола *Ethernet-TCP/IP*, то каждый участник сети может инициировать транзакцию. Инициатор транзакции (клиент) формирует запрос, а устройство, которому адресован запрос, (сервер) формирует ответ.

Протокол *Modbus* позиционируется группой *Modbus-EDA* как протокол уровня приложений модели взаимодействия открытых систем, который обеспечивает клиент-серверный обмен данными между устройствами, объединёнными различными типами шин или сетей (рис. 14.13). Все три протокола из семейства *Modbus* (*Modbus RTU*, *Modbus Plus* и *Modbus TCP*) используют один протокол уровня приложений, что позволяет обеспечить их совместимость на уровне обработки пользовательских данных.

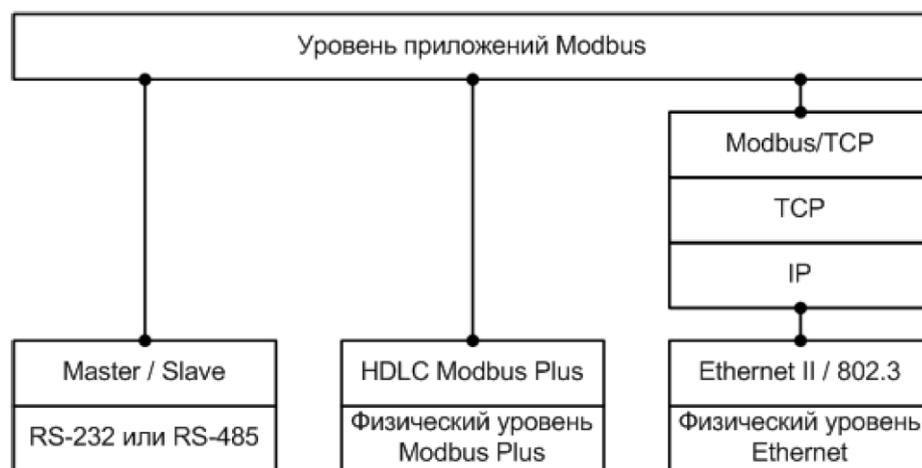


Рис. 14.13. Семейство протоколов *Modbus*

Протокол уровня приложений определяет простой кадр данных протокола (*PDU, Protocol Data Unit*), состоящий из двух полей: поля кода функции и поля данных. Коды функций и формат поля данных остаются неизменными для любого протокола семейства *Modbus*.

Для передачи данных по сети, в зависимости от её типа, используются дополнительные поля кадра данных приложения (*ADU, Application Data Unit*). На рис. 14.14 представлены форматы кадров данных приложения для различных типов сетей. Можно заметить, что в кадре данных приложения *Modbus TCP* отсутствует поле контрольной суммы. Нет в нём и поля адреса. Это связано с тем, что функции адресации и проверки правильности передачи по сети берёт на себя протокол *Ethernet-TCP/IP*.



Рис. 14.14. *Modbus*-сообщение:

- а – формат сообщения *Modbus RTU* для сети на базе RS-422/435;
 б – формат *Modbus*-сообщение для передачи данных по *TCP/IP*

Modbus-EDA – это не только протоколы на основе *Modbus*. Это целая архитектура, объединяющая методы построения различных систем автоматике с распределённым интеллектом и описывающая как структуру системы управления в целом, так и интерфейсы устройств и программного обеспечения в частности. Это обеспечивает вертикальную и горизонтальную интеграцию всех уровней автоматизации с широким использованием *web*-технологий.

Передача данных в реальном времени обеспечивается использованием стека *IDA* (рис. 14.14), являющегося надстройкой над *TCP/UDP* и основанного на протоколе *Modbus*. Передача некритичных ко времени данных и поддержка *web*-технологий происходит через стек *TCP/IP*. Предусмотрена возможность удаленного управления устройствами и системами (диагностика, параметризация, загрузка программ и т.п.) при помощи стандартных протоколов *HTTP*, *FTP* и *SNMP*.

14.4. Сети системного и сенсорного уровней

14.4.1. CAN-сети

История этого протокола началась в начале 80-х годов. Технологии того времени подошли к такому этапу, на котором возникла необходимость сбора и обработки результатов от множества датчиков, устанавливаемых в автомобилях, за короткие промежутки времени. Эту задачу можно было решить только при использовании структуры,

объединяющей все компоненты и использующей для этой цели недорогую, последовательную сетевую структуру. По этой причине фирма *Robert Bosch GmbH* (Германия) разработала протокол «*Control Area Network (CAN)*» – сеть области управления, который был утверждён Международной организацией по стандартизации в качестве стандарта *ISO 11898*. В настоящее время организация, объединившая производителей различных *CAN*-устройств – *CAN in Automation (CiA, CAN* в автоматизации) занимающаяся продвижением *CAN*-протокола расшифровывает аббревиатуру *CAN* несколько по иному: *Controller Area Network* – сеть уровня контроллеров.

Протокол *CAN* используется для организации последовательной передачи данных по шине с высокой степенью надёжности. Протокол отвечает требованиям задач реального времени. В автомобильной промышленности системы управления двигателем, датчики, системы АБС и т.п. подключаются к шине *CAN* со скоростью передачи до 1 Мбит/с.

CAN-протокол описывает уровень канала данных и часть физического уровня модели взаимодействия открытых систем (уровень 2 и частично, уровень 1 модели *ВОС*).

На уровне канала данных протокол описывает два подуровня:

- подуровень управления логической связью – *Logical Link Control (LLC)* – верхний подуровень;
- подуровень управления доступом к среде – *Medium Access Control (MAC)*.

Подуровень *LLC* предоставляет сервисы для передачи данных и удалённых запросов данных, решает, какие сообщения, полученные *LLC* подуровнем актуальны для данного узла.

Подуровень *MAC* в основном реализует протокол передачи данных, т.е. формирует и принимает сообщения, реализует арбитраж, квитирование, проверку ошибок передачи, формирование сообщений об ошибках. Именно на *MAC*-подуровне контролируется состояние шины – свободна/занята. Кроме того, основные параметры битовой синхронизации описываются на *MAC*-подуровне.

На физическом уровне *CAN*-протокол описывает требования к физической передаче сигналов, кодированию битов и синхронизации. Протокол не определяет жестко уровни логических сигналов и электрические характеристики среды передачи, они могут быть выбраны производителем *CAN*-устройств. Естественно, что в рамках одной сети все устройства должны соответствовать одинаковым требованиям

Для передачи данных по физическому каналу используется кодирование без возвращения к нулю (*NRZ*-кодирование). Поскольку при *NRZ*-кодировании уровень сигнала может оставаться постоянным относительно долгое время, например, при передаче группы битов с одинаковыми значениями, то, чтобы избежать рассинхронизации приёмников и передатчика, после каждых пяти битов одинакового значения в сообщение вставляется один добавочный бит противоположного значения – правило добавочного бита. Естественно, приёмник удаляет все добавочные биты перед обработкой полученного сообщения.

По требованиям *CAN*-протокола, среда передачи должна находиться в одном из двух состояний: логический нуль (нижний уровень – *CAN_L*) – доминирующее состояние, а логическая единица (верхний уровень – *CAN_H*) – рецессивное состояние. При одновременной передаче доминирующего и рецессивного битов на шине должно присутствовать доминирующее значение. Этот механизм используется при арбитраже сообщений.

В *CAN*-протоколе используется метод широковещательной передачи сообщений – каждый приёмник сам решает, нужно ли ему обрабатывать очередное передаваемое сообщение. Содержание каждого сообщения определяется идентификатором сообщения. Идентификатор не определяет узел-приёмник, а описывает «смысл» передаваемых данных (можно сказать, что это имя передаваемой переменной), благодаря чему остальные узлы сети могут решить для себя, должны ли они обрабатывать передаваемые данные или нет.

Благодаря применению метода широковещательной передачи, *CAN*-устройства не используют никакой информации о конфигурации сети (адреса узлов отсутствуют). Узлы могут подключаться к сети и отключаться от неё без каких-либо изменений в настройках и программном обеспечении остальных узлов. Протокол также не ограничивает количество узлов, которые могут быть подключены к одной сети. На практике максимальное количество узлов сети определяется предельно допустимой нагрузкой на шину.

Когда шина свободна, любой узел может начать передачу. Если несколько узлов начали передачу одновременно, конфликт разрешается с помощью поля идентификатора сообщений (поля арбитража). Во время передачи сообщения, передатчик сравнивает значение передаваемого им бита со значением, установленным на шине. Если передаваемое и принимаемое значение бита совпадают, то узел может продолжать передачу. Если же при передаче рецессивного бита шина находится в

доминирующем состоянии, то передатчик должен прекратить передачу (табл. 14.9). Таким образом, право на передачу по шине получает тот узел, который передаёт сообщение с наивысшим приоритетом. Важно понимать, что приоритетным является не передающий или принимающий узел, а сообщение.

Типы сообщений в CAN-протоколе. В настоящее время в CAN-протоколе используются два различных формата сообщений, которые отличаются длиной поля идентификатора. Сообщения с 11-битным полем идентификатора называются стандартными, сообщения с 29-битным полем идентификатора называются расширенными. Формат расширенных сообщений определён таким образом, чтобы стандартные сообщения выигрывали арбитраж.

Таблица 14.9

Пример поразрядного арбитража

Идентификатор передаваемого сообщения	Передаваемые узлом данные	Примечание
Узел № 1: 10110110101	1011	узел № 1 проигрывает арбитраж и прекращает передачу сообщения
Узел № 2: 10101100111	10101100111 ...	узел № 2 выигрывает арбитраж и продолжает передачу сообщения
Узел № 3: 10101101000	10101101	узел № 3 проигрывает арбитраж и прекращает передачу сообщения
Состояние шины	10101100111 ...	

Стандарты протоколов уровня приложений на базе CAN. Как уже говорилось, CAN-протокол описывает уровень канала данных и часть физического уровня модели ВОС. Однако этого зачастую недостаточно для эффективной разработки CAN-сетей. Неопределёнными остаются такие важные на этапе разработки моменты, как адресация узлов, распределение между ними CAN-идентификаторов, интерпретация содержимого фрейма данных, передача данных длиной более 8 байт и др. Поэтому с началом массового выпуска CAN-компонентов и широкого распространения CAN-приложений, рядом независимых компаний и некоммерческих ассоциаций в области систем промышленной автоматизации, транспорта и т.д. проводилась (и продолжается по сей день) работа по созданию и стандартизации спецификаций протоколов верхнего уровня (*Higher Level Protocol, HLP*) для CAN-сетей.

Как правило, большинство существующих на сегодня спецификаций протоколов верхнего уровня для CAN-сетей имеют сжатую трехуровневую архитектуру, включающую два базовых уровня CAN-протокола (физический, часто дополненный более конкретными спецификациями, и канальный) и уровень приложения или прикладной уровень. Сервисы промежуточных уровней либо отсутствуют, либо включены в прикладной уровень. Уменьшенное число уровней против полных семи позволяет обеспечить предсказуемость задержек прохождения сообщений в сети и повысить её производительность в режиме реального времени.

При разработке CAN-приложений на базе стандартных прикладных протоколов разработчик получает в руки уже готовые механизмы передачи данных любой длины, процедуры начальной инициализации, распределения идентификаторов и т.п. Появляется возможность простой интеграции стандартных модулей независимых производителей и наращивание сети в будущем, а также максимально полной реализации основных преимуществ CAN-протокола, особенно при работе в режиме реального времени.

Известно более четырех десятков спецификаций протоколов верхнего уровня для CAN. Среди подобного многообразия наибольшее распространение в системах промышленной автоматизации получили четыре, поддерживаемых ассоциацией CiA: *CAL/CANopen*, *CAN Kingdom*, *DeviceNet* и *SDS (Smart Distributed System)*.

CAL/CANopen. Разработка и поддержка открытого протокола прикладного уровня для сетей промышленной автоматизации были одними из приоритетных целей создания организации CiA в 1992 году. Основой такого протокола послужил *HLP*, разработанный фирмой *Philips*, после доработки и усовершенствования которого рабочей группой CiA в 1993 году была опубликована спецификация *CAL (CAN Application Level – уровень приложений CAN-протокола) (CiA DS 20x, DS om Draft Standard – проект стандарта)*. Фундаментом *CAL*-протокола служит канальный уровень *CAN*. *CAL* не является ориентированным на конкретные приложения стандартом протокола, не содержит каких-либо профилей, привязанных к конкретным устройствам, и не определяет содержание передаваемых данных, но предлагает стандартизованные элементы сетевого сервиса прикладного уровня. *CAL*-протокол включает в себя четыре составные части:

- спецификация CAN-сообщений (*CAN Message Specification, CMS*);
- сетевое управление (*Network Management NMT*);
- распределение идентификаторов (*Distributor, DBT*);
- управление уровнем (*Layer Management LMT*).

Сетевые *CAN*-приложения, основанные на прикладном уровне *CAL*, в настоящее время успешно работают в медицинской электронике, системах контроля дорожного движения, на транспорте, в промышленном оборудовании.

Протокол *CANopen* может рассматриваться как приложение прикладного уровня *CAL*-протокола. Первоначально *CANopen* предназначался для сетей управления движущимися механизмами в системах промышленной автоматики. Однако впоследствии протокол нашел применение в медицине, морской электронике, на транспорте и в системах автоматизации зданий.

14.4.2. Протокол *CAN Kingdom*

Протокол шведской компании *KVASER-AB* занимает особое место среди спецификаций протоколов верхнего уровня для *CAN*-сетей не только из-за своего необычного названия (*CAN* Королевство), но и в значительной степени благодаря оригинальной концепции сетевого взаимодействия и эффективности *CAN*-приложений на его основе. Началу работ над первой версией протокола *CAN Kingdom* в 1990 году предшествовал многолетний опыт компании в области создания систем распределённого управления. Протокол был специально разработан для управления движущимися машинами и механизмами, промышленными роботами, текстильными станками, мобильными гидравлическими устройствами и позволяет достичь высокой производительности в режиме реального времени при удовлетворении жёстких требований безопасности. *CAN Kingdom* является также основой американского военного стандарта *CDA 101* и широко используется в военной технике от надувных лодок и систем наведения на цели до сверхзвуковых истребителей и ракет.

Основной целью создания протокола было предоставление системному разработчику максимальной свободы в реализации своих идей при построении сети, сохранив при этом возможность использования стандартных модулей от независимых производителей. *CAN Kingdom* не является «готовым» протоколом в том смысле, в каком это справедливо, например, по отношению к стандартам типа *CANopen* или *DenceNet*. Это скорее набор примитивов, метапротоколов, с помощью которых можно «собрать» протокол под конкретную сеть модулей. Этим достигается уникальное сочетание простоты интеграции готовых модулей с высокой степенью «закрытости» оригинального протокола.

При разработке спецификации *CAN Kingdom* авторы отказались от принятого в подобных случаях и широко распространённого следования правилам взаимодействия открытых систем. Семиуровневая модель ВОС создавалась изначально для описания традиционных компьютерных сетей, от которых не требуется работа в реальном масштабе времени и которые предназначены для обслуживания пользователей, чьи требования априори (на этапе построения такой сети) неизвестны и непредсказуемы. В системах же управления реального времени ситуация прямо противоположная: на стадии разработки все коммуникационные потребности модулей должны быть известны.

Краеугольным камнем концепции сетевого взаимодействия *CAN Kingdom* является принцип: «узлы обслуживают сеть» (в отличие от принципа «сеть обслуживает пользователей», свойственного компьютерным сетям).

Это означает, что каждый узел, подключаемый к сети, должен объявить о своём подключении. После этого остальные узлы обеспечат новый узел информацией, необходимой для выполнения его задачи в сети. Каждый узел, подключаемый к сети, уже «знает» о своей роли в системе и запрашивает средства, которые ему необходимы.

Представление *CAN*-сети в терминах *CAN Kingdom* (в сравнении с традиционным) дано на рис. 14.15. В *CAN Kingdom* сеть *CAN* – это страна (королевство) со своей столицей (центральный контролирующий узел) и провинциальными городами (остальные узлы). Король (управляющая программа-супервизор) управляет всем королевством и отвечает за соблюдение закона и порядка в нём, а за местное управление (в пределах своего узла) отвечают мэры городов (управляющие программы узлов). Каждый город экспортирует или импортирует продукцию-информацию посредством почты, которая циркулирует по почтовому тракту (*CAN*-шина) и проходит через почтмейстеров (*CAN*-контроллеры). Типы почтовой корреспонденции (информация, передаваемая по сети) и её соответствие *CAN*-терминам таковы:

Письмо – *CAN*-фрейм данных или удалённого запроса;

Конверт – *CAN*-идентификатор;

Страница – Поле данных *CAN*-фрейма;

Строка – Байт данных;

Элемент строки – Бит данных.

Неформальный язык описания протокола позволяет любому специалисту, далекому от вычислительной техники или электроники (биологу, механику или врачу), благодаря интуитивно понятному

описанию сети (как должны функционировать общество или страна, примерно представляют себе все) активно участвовать если не в процессе разработки системы, то хотя бы сознательно формулировать технические условия и иметь представление о принципах её функционирования.

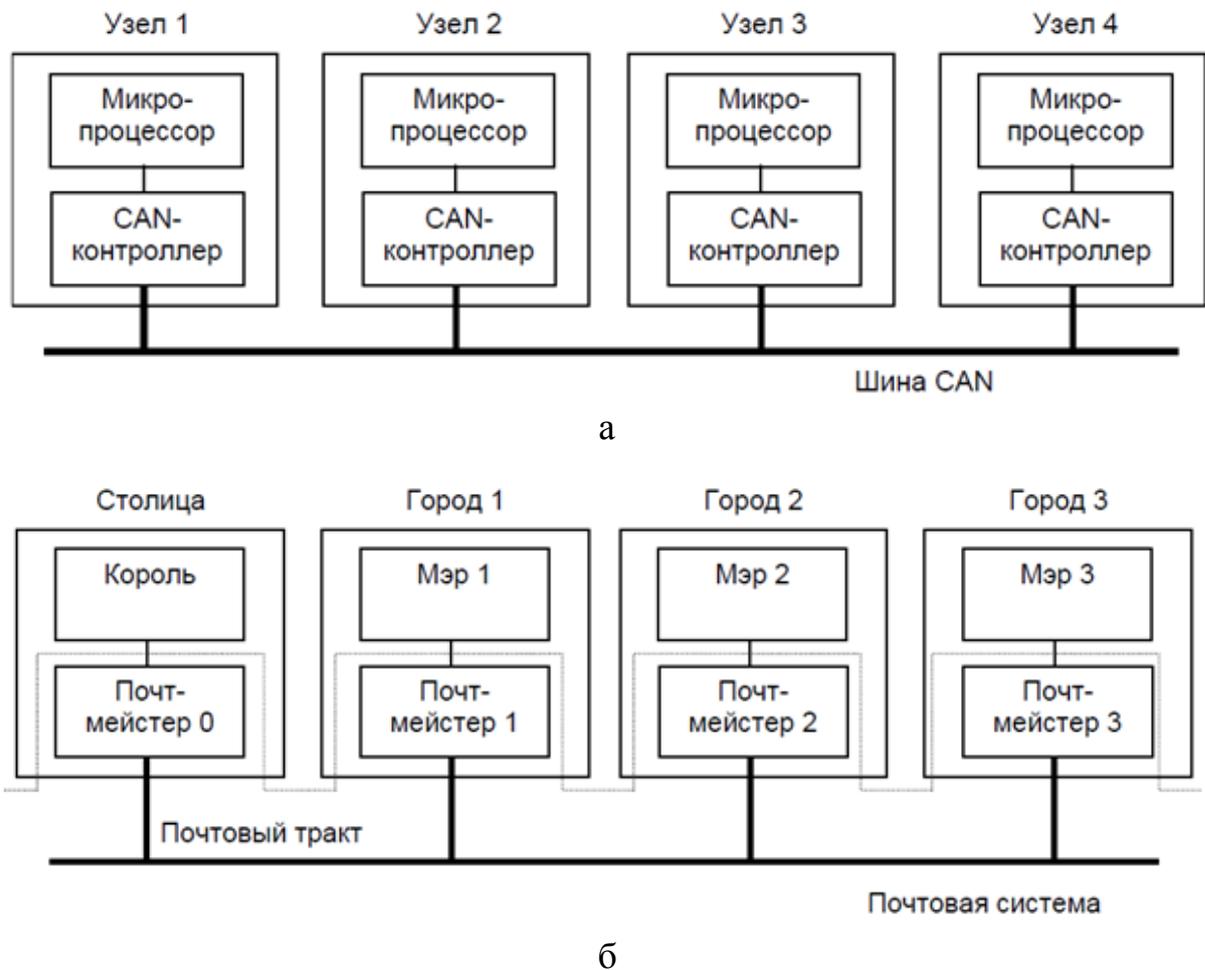


Рис. 14.15. Представление CAN-сети в терминах CAN Kingdom:
а – традиционн представление CAN-сети; б – в терминах CAN Kingdom

CAN-система на базе протокола *CAN Kingdom* обладает следующими особенностями:

- распределение CAN-идентификаторов находится под полным контролем разработчика;
- максимальное время прохождения любого сообщения в сети предсказуемо;
- во время начальной инициализации системы происходит обязательный этап настройки протокола, включая построение форматов данных, начиная с битового уровня, методов управления шиной, распределение идентификаторов и т.д.;

- в системе всегда должен присутствовать (как минимум до завершения настройки протокола) супервизор (король), производящий инициализацию системы, контроль подключенных узлов и т.д.; ни один узел не может принимать участие в сетевом обмене без разрешения короля;

- перед инициализацией сети каждый узел (город) должен иметь свой номер (*CAN Kingdom* не описывает конкретный способ установки номера узла, это может быть *DIP*-переключатель, энергонезависимая память или конфигурация соединителя), «знать» идентификатор сообщения инициализации (королевское письмо) и скорость передачи данных в сети;

- в сеть *CAN Kingdom* возможна интеграция любых *CAN*-модулей, в том числе разработанных для других протоколов, например, *DeviceNet* или *SDS*;

- не существует каких-либо рекомендуемых скоростей передачи данных, но за первые 200 мс после подачи питания узел обязан настроиться на прослушивание шины на скорости 125 Кбит/с. Допустимы отличающиеся от *ISO 11898* спецификации физического уровня.

Наличие одного центра-короля, который содержит всю информацию о системе, избавляет от использования профилей устройств, часто применяемых в других протоколах верхнего уровня *CAN*-сетей.

Правила идентификации модулей основаны на использовании международного протокола *EAN/UPC*, включающего код производителя и продукта. Среди других особенностей *CAN Kingdom* можно отметить гибкость режимов передачи и упаковки данных (включая использование поля арбитража для передачи данных), объединение узлов в группы, поддержка часов реального времени, различных режимов доступа к шине.

14.4.3. Протокол *DeviceNet*

DeviceNet (сеть устройств) – протокол, разработанный и опубликованный в 1994 году компанией *Allen-Bradley* корпорации *Rockwell* и впоследствии переданный в ведение специально организованной для его поддержки ассоциации *ODVA* (*Open DeviceNet Vendor Association Inc.* – открытая ассоциация продавцов *DeviceNet*-устройств). *DeviceNet* – недорогое, простое и эффективное решение для объединения разнообразных устройств промышленной автоматизации независимых производителей в единую систему: фото-, термодатчики, стартеры, считыватели штриховых кодов, элементы человеко-машинного

интерфейса клавиатуры, дисплейные панели, наряду с управляющими устройствами *PLC*, компьютерами и т.д. При разработке протокола помимо снижения стоимости также стояла задача упрощения и унификации диагностики подобных устройств. Первые устройства, удовлетворяющие спецификации *DeviceNet*, появились на рынке в начале 1995 года. *DeviceNet* также построен на двух нижних уровнях стандарта *CAN*, дополненных более детальными, чем в других протоколах верхнего уровня для *CAN*, спецификациями физической среды.

Сеть *DeviceNet* имеет шинную топологию с отводами. Физической средой передачи является 4-проводной кабель (*CAN_H*, *CAN_L*, *Vcc*, *Ground*), причем возможны две его разновидности: толстый (внешний диаметр – 12,2 мм) и тонкий (6,9 мм). Определены лишь три значения скорости передачи данных: 125, 250 и 500 Кбит/с. Максимальные длины центральной магистрали и отводов в зависимости от скорости передачи и типа кабеля приведены в табл. 14.10.

Таблица 14.10

Ограничения на протяжённость сети *DeviceNet*

Скорость передачи, кбит/с	Длина магистрали, м		Длина отводов, м	
	Толстый кабель	Тонкий кабель	Одиночных	Суммарная
125	500	100	6	156
250	250	100	6	78
500	100	100	6	39

Важной особенностью сети *DeviceNet* является возможность питания модулей непосредственно от сетевого кабеля (24 В, до 8 А на толстом кабеле), а также допускается применение нескольких источников питания в любой точке шины. Всё это даёт возможность построения автономной сети, не зависящей от наличия или качества внешнего питания, а при необходимости позволит легко демонтировать и снова развернуть систему на новом месте. Сеть *DeviceNet* допускает «горячее» (без обесточивания сети) подключение и отключение узлов.

Стандарт *DeviceNet* содержит также подробное описание многочисленных типов переходников, разветвителей (одиночных и многопортовых), соединителей (*Mini*, *Micro*), сетевых отводов и т.п.

При описании организации типов данных, сетевого поведения узлов в *DeviceNet* используется объектно-ориентированная модель. Обязательные классы объектов включают в себя следующее:

- объект удостоверения (*Identity object*): содержит информацию об устройстве (код производителя, продукта, версия и т.п.);
- объект соединения (*Connection object*): логический порт ввода/вывода устройства;
- объект *DeviceNet*. Включает *MAC ID* (идентификатор устройства), скорость передачи, состояние устройства и т.п.;
- объект маршрутизатора сообщения (*Message router object*): перенаправляет явное сообщение получателю.

Сообщения в сети *DeviceNet* могут быть двух типов:

- сообщения ввода/вывода (*I/O messages*): предназначены для целей управления устройствами и передачи данных в реальном времени между узлами в ширококвещательном или в режиме «точка – точка», используют идентификаторы с высоким приоритетом, которые и определяют содержание сообщения;
- явные сообщения (*Explicit messages*) для многоцелевого обмена данными в режиме «точка – точка», обеспечивают типичный сервис запрос/ответ; используют идентификаторы с низким приоритетом и применяются обычно для конфигурирования устройств и целей диагностики; значение сообщения содержится в поле данных.

При необходимости передачи данных длиной более 8 байт применяется механизм фрагментации. В зависимости от потребностей обмена и возможностей модулей, сеть предлагает три способа организации взаимодействия устройств: «ведущий – ведомый» (*master – slave*), мультимастерный (*multi-master*) или равноправный (*peer-to-peer*). Пересылки данных могут инициироваться путём опроса, циклически или по изменению их значения. Максимальное число узлов в сети *DeviceNet* – 64.

В сеть могут быть подключены устройства двух типов: устройства, работающие как независимые менеджеры сообщений, способные устанавливать равноправные соединения с другими модулями (*peer-to-peer*), и ведомые устройства, требующие меньшей длины кода и производительности управляющего микроконтроллера, которые не могут произвольно выбирать путь соединения, и их объекты соединения конфигурируются при включении устройства.

Для обеспечения взаимодействия устройств разных производителей в рамках единой сети стандарт *DeviceNet*, подобно многим протоколам верхнего уровня, определяет ряд профилей устройств. Формированием библиотек профилей занимаются специальные группы (*Special Interest Groups*) ассоциации *ODVA*.

14.4.4. Сеть SDS (*Smart Distributed System*)

SDS (Smart Distributed System – «умная» распределённая система) – разработка компании *Honeywell Inc.* Наряду со стандартом *DeviceNet*, *SDS* представляет собой ещё одно недорогое и законченное решение для сетевого управления интеллектуальными датчиками и исполнительными механизмами от промышленного контроллера в системах промышленной автоматизации.

По степени завершённости от спецификаций физической среды до прикладного уровня, ориентировке на снижение стоимости, *SDS*-стандарт напоминает *DeviceNet*.

Шинная топология представляет собой линейную шину (магистраль) с короткими отводами. Определены два базовых типа кабельной разводки. При сборке магистрали сети применяется 4-проводной кабель с максимальной токовой нагрузкой 8 А и 5-контактный разъём *Mini*. Для подключения физических устройств к сети используется 4-проводной кабель на 3 А, и 4-контактный разъём *Micro* без отдельного контакта для экрана кабеля.

В сети *SDS* допускается и обычная проводная разводка с использованием открытых клеммных соединителей. Всеми типами кабельной разводки и соединителей так же, как и в сети *DeviceNet*, предусмотрено подведение питающего напряжения к узлам. Предельные значения длин магистрали и отводов сети *SDS* в зависимости от скоростей (их четыре) передачи приведены в табл. 14.11.

Таблица 14.11

Предельные значения длин магистрали и отводов сети *SDS*

Максимальная длина магистрали, м	Скорость передачи. Кбит/с	Максимальная длина отводов, м	Максимальное количество узлов
22,8	1000	0,3	32
91,4	500	0,9	64
182,8	250	1,8	64
457,2	125	3,6	64

Сообщения, циркулирующие в сети *SDS*, носят название *APDU* (*Application layer Protocol Data Unit* – блоки данных протокола прикладного уровня). *APDU*-сообщение представляет собой *CAN*-фрейм

стандартного формата (расширенный формат фрейма в *SDS*-сети не применяется), каждый элемент которого имеет своё собственное назначение. *APDU*-сообщение имеет две формы: укороченную (не используется при передаче данных и содержит в поле *DLC* нули) и длинную.

При необходимости передачи последовательностей данных более шести байтов используется фрагментированный формат (до 64 фрагментов по четыре байта) длиной формы *APDU*-сообщения.

Укороченная форма *APDU*-сообщения используется в следующих сервисах прикладного уровня:

- *Change of State (OFF, ON, OFF ACK, ON ACK)* – обнаружение изменения состояния логического устройства;
- *Write (ON State, OFF State, ON State ACK, OFF State ACK)* – управление состояниями логического устройства.

К сервисам, использующим длинную форму *APDU*, относятся:

- *Channel* – сервис, обеспечивающий как широковещательный канал соединения (*multicast*), так и равноправный (*peer-to-peer*);
- *Connection* – открытие/закрытие индивидуальных типов соединения;
- *Read* – чтение атрибутов объектов устройства;
- *Write* – изменение атрибутов объектов устройства;
- *Action* – команда объекту устройства выполнить действие;
- *Event* – сигнализация о событии объектом устройства.

Сеть *SDS* всегда требует наличия единственного мастера-менеджера сети как минимум на этапе включения для выполнения автонастройки скорости передачи модулей. В процессе работы сети допускается наличие нескольких мастеров на шине, но они должны функционировать в пределах своих адресных доменов, а при включении сети только один из них может брать на себя функцию сетевого менеджера для автонастройки скорости устройств.

14.5. Стандарт *PROFIBUS*

В 1987 году для немецкой промышленности был разработан и принят стандарт *DIN E 19245 PROFIBUS (PROcess Field BUS* - полевая шина для управления процессами). В 1996 году этот стандарт стал международной нормой *EN 50170*.

Говоря о *PROFIBUS*, необходимо иметь в виду, что под этим общим названием понимается совокупность трёх различных, но совместимых протоколов: *PROFIBUS-DP*, *PROFTBUS-FMS* и *PROFIBUS-PA*.

Архитектура протоколов *PROFIBUS* базируется на модели взаимодействия открытых систем, в ней реализованы уровни 1, 2 и 7.

PROFIBUS-DP (Distributed Periphery – распределённая периферия) описывает уровни 1 и 2 модели ВОС, а также пользовательский интерфейс. Уровни с 3 по 7 не используются. Благодаря такой архитектуре достигается быстрая передача данных. Утилита прямого доступа к данным (*Direct Data Link Mapper*) организует доступ к уровню 2. В основу пользовательского интерфейса положены необходимые пользовательские функции, а также системные и аппаратно-зависимые функции различных типов *PROFIBUS-DP*-приборов. Этот профиль протокола *PROFIBUS* оптимизирован для быстрого обмена данными специально для коммуникаций между системами автоматизации и децентрализованной периферией на полевом уровне.

В ***PROFIBUS-FMS*** применяются уровни 1, 2 и 7. Пользовательский уровень состоит из двух слоёв: *FMS (Fieldbus Message Specification* – спецификация шинных сообщений) и *LLI (Lower Layer Interface* – интерфейс с нижним уровнем).

FMS содержит пользовательский протокол и предоставляет в распоряжение коммуникационные службы. *LLI* реализует различные коммуникационные связи и создаёт для *FMS* аппаратно-независимый доступ к уровню 2.

PROFIBUS-FMS применяется для обмена данными между контроллерами и компьютерами. *FMS*-сервисы обеспечивают большую гибкость при передаче больших объёмов данных. Профили *PROFIBUS-DP* и *PROFIBUS-FMS* применяют одинаковую технику передачи и единый протокол доступа к шине и поэтому могут работать через общий кабель.

Профиль ***PROFIBUS-PA (Process Automation*** – автоматизация процессов) применяет расширенный *PROFIBUS-DP*-протокол передачи данных. Протокол *PROFIBUS-PA* обеспечивает надёжность передачи данных и питание полевых приборов через шину. Приборы *PROFIBUS-PA* могут подключаться в сеть *PROFIBUS-DP* с помощью специальных устройств *PROFIBUS-PA-Links*.

PROFIBUS-PA – специальная концепция, позволяющая подключать к общей шине датчики и исполнительные механизмы, находящиеся во взрывоопасной зоне.

Физический уровень для *DP/FMS* на базе *RS-485*. В качестве основного способа организации сети *PROFIBUS-DP/FMS* рассматривается объединение устройств с помощью экранированной витой пары. На физическом уровне *PROFIBUS* используется симметричная передача

данных по стандарту *EIA/TIA RS-485* (также обозначается *H2*). По концам шинного сегмента устанавливаются терминаторы (рис. 14.16). В табл. 14.12 приведена максимально допустимая длина провода (длина сегмента) системы *PROFIBUS*. Эта длина зависит от скорости передачи. Внутри сегмента может быть до 32 узлов.

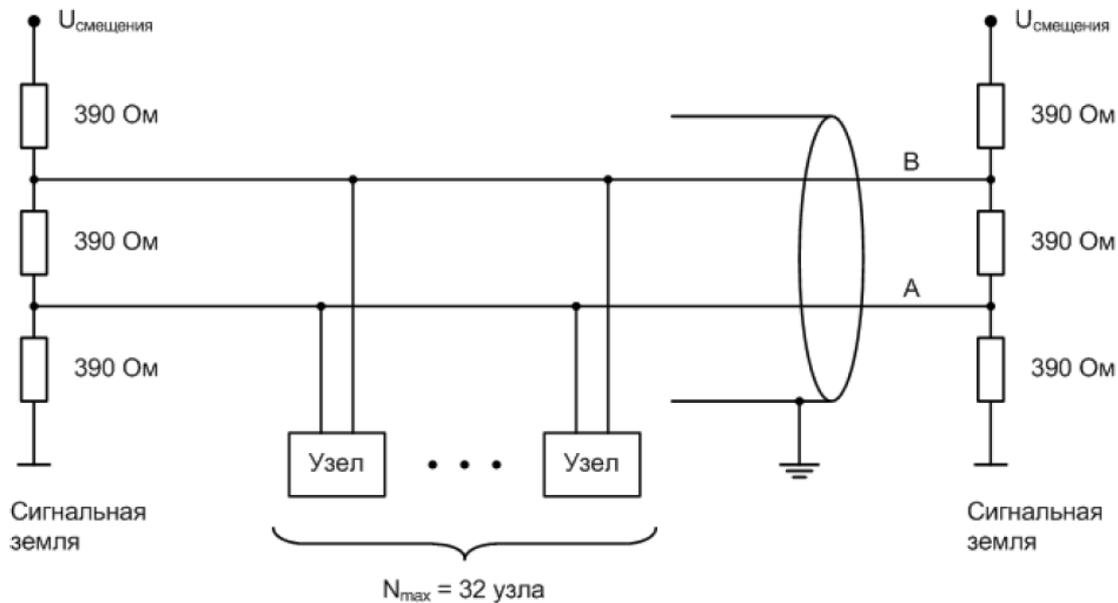


Рис. 14.16. Структура шинного сегмента RS-485

Таблица 14.12

Максимальная длина сегмента в зависимости от скорости

Скорость передачи, кбит/с	9,6–187,5	500	1500	1200
Длина сегмента, м	1000	400	200	100

Для подключения большего количества узлов нужно использовать несколько шинных сегментов, которые соединяются друг с другом через повторители (усилители мощности). Повторитель усиливает уровень передаваемого сигнала. Из-за временных задержек и искажений двоичный сигнал может, согласно *EN 50170*, проходить максимум три повторителя, которые работают как усилители мощности и включены последовательно. На практике, однако, повторитель-соединитель реализуется как восстановитель сигнала. Поэтому число повторителей, которые можно включить последовательно, зависит от их конструкции. Так, например,

можно последовательно включить до девяти повторителей фирмы *Siemens* типа *6ES7 972-0AA00-0XA0*, таким образом, длина сети может быть увеличена в 10 раз, по сравнению с табл. 14.12.

В качестве стандарта для подключения узлов к шине в нормах *PROFIBUS EN 50170* рекомендуется 9-штырьковый разъём *D-Sub*. На узлах сети устанавливается розеточная часть разъёма, на шинный кабель – вилка разъёма.

Шинные провода данных с обеих сторон замкнуты на согласованные нагрузки – пассивные терминаторы (см. рис. 14.16). Благодаря этим сопротивлениям устанавливается безопасный потенциал покоя на проводах шины, когда участники не обмениваются сообщениями (потенциал покоя между телеграммами). Шинные терминаторы встроены почти во все стандартные разъёмы *PROFIBUS* и могут быть активизированы с помощью переключателей.

Протокол реализует асинхронную, полудуплексную передачу данных с использованием *NRZ*-кодирования. Данные передаются побайтно, внутри 11-разрядного кадра (старт-бит, 8 битов данных, бит чётности, стоп-бит; старший бит передаётся первым).

Физический уровень для *DP/FMS* на базе световодов. Помимо использования передачи электрических сигналов, в стандарте *PROFIBUS* предусмотрено использование оптической передачи – передачи данных с помощью световодов. Световодная техника устойчива к электромагнитным помехам и обеспечивает гальваническую развязку между участниками сети. Благодаря простой технике подключения, а также специальным пластиковым световодам, эта техника пришла на полевой уровень. Длина линии связи может быть до 15 км при стеклянных световодах и до 80 м при пластиковых.

Для подключения узлов к световоду применяются различные модули:

- модуль-преобразователь интерфейса (*OLM, Optical Link Module*) похож на повторитель *RS-485*. Имеет два функционально разделённых электрических канала и выходы для одного или двух оптических каналов. Модули соединяются с отдельными участниками или сегментами шины через интерфейс *RS-485* (рис. 14.17);

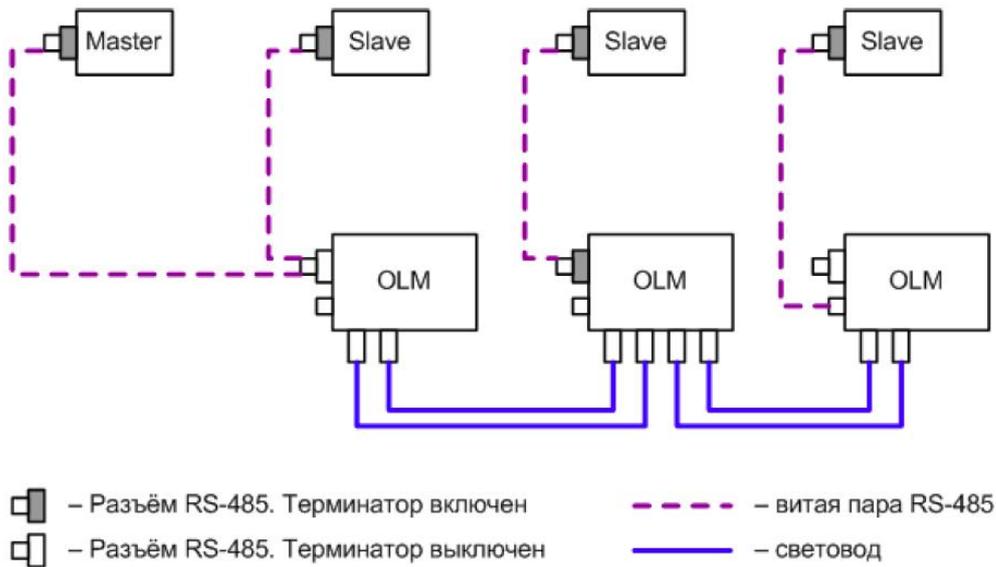


Рис. 14.17. Пример шинной конфигурации с *OLM*-техникой

• модуль подключения к световоду (*OLP*, *Optic Link Plug*). С помощью модулей *OLP* можно соединять друг с другом оптическим волокном пассивных участников сети – ведомых устройств (*Slave*). Модули *OLP* подключаются прямо на 9-штырьковый разъём узла. Питание *OLP*-модуля осуществляется через разъём узла. Как видно из рис. 14.18 для подключения активных участников шины – ведущих устройств (*Master*) – к *OLP*-кольцу всегда используется *OLM*.

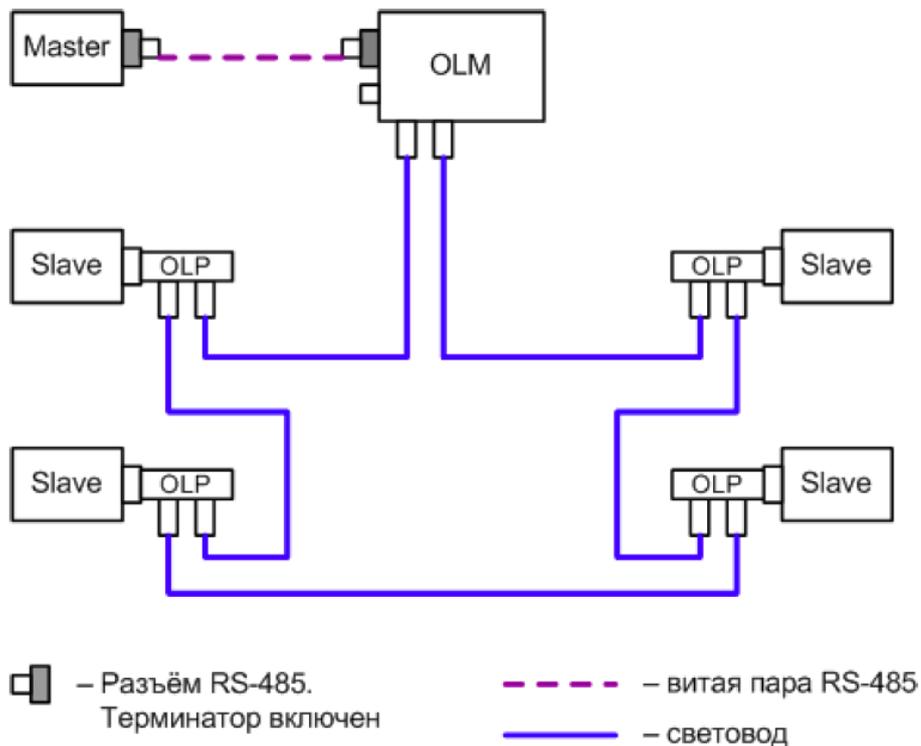


Рис. 14.18. Оптическое кольцо с *OLP*-техникой

- интегрированное *LWL*-подключение (*Licht Wellen Letter*, световолновод.). Прямое подключение участников *PROFIBUS* к световоду. Возможно у приборов со встроенным *LWL*-входом.

Физический уровень для PA. В *PROFIBUS-PA* используется стандарт передачи МЭК 1158-2, что позволяет использовать сеть *PROFIBUS-PA* во взрывоопасной зоне. Питание узлов сети осуществляется прямо через шину. Для передачи данных используется бит-синхронизированный с манчестерским кодированием протокол передачи (обозначается также как *H1*). При передаче данных с помощью манчестерского кода логический нуль передаётся как смена фронта с «0» на «1», а логическая единица – как смена фронта с «1» на «0». Данные передаются с помощью модуляции ± 9 мА тока шины.

Скорость передачи составляет 31,25 Кбит/с. В качестве среды передачи используются витой экранированный или неэкранированный проводы. Шина (рис. 14.19) состоит из сегментов, к которым подключены узлы, сегменты замкнуты на *RC*-цепочки. К сегменту шины *PA* может быть подключено максимум 32 участника. Максимальная длина сегмента сильно зависит от применяемого источника питания, типа провода и потребления тока подключенными участниками.

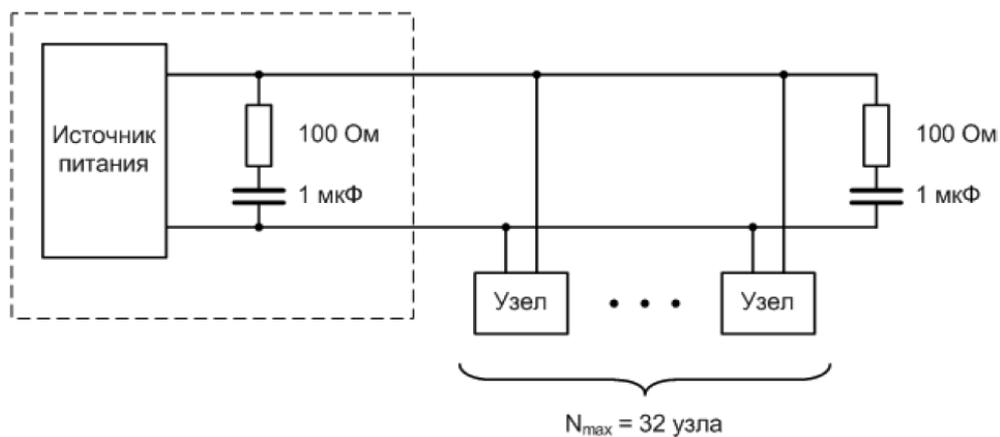


Рис. 14.19. Структура шинного сегмента PA

В качестве среды передачи для *PROFIBUS-PA* применяется 2-жильный кабель, технические данные которого не установлены/не нормированы. Использование рекомендуемого в *DIN 61158-2* типа кабеля (тип A) позволяет построить сеть с максимальной длиной 1900 м.

Уровень канала данных для PROFIBUS. Согласно модели ВОС, на 2 уровне реализуется управление доступом к шине, обеспечивается надёжность передачи данных, выполняется формирование сообщений.

Канальный уровень обозначается в *PROFIBUS* как *FDL*-уровень (*Fieldbus Data Link*). На канальном уровне *PROFIBUS* используется несколько типов сообщений. Форматы сообщений представлены на рис. 14.20. Названия полей сообщений и их назначение описаны в табл. 14.13.

Таблица 14.13

Поля *PROFIBUS*-сообщений

Имя поля	Назначение
<i>SC (Single Character)</i> – Одиночный символ	Используется только для квитирования (<i>SC = E5h</i>)
<i>SD1–SD4 (Start Delimiter)</i> – Стартовый байт	Признак начала сообщения. Служит для отличия различных форматов сообщений (<i>SD1 = 10h, SD2 = 68h, SD3 = A2h, SD4 = DCh</i>)
<i>LE/LEr (LEngth)</i> – Байты длины	Указывают длину информационных полей сообщений с переменной длиной
<i>DA (Destination Address)</i> – Байт адреса приёмника	Содержит адрес приёмника сообщения
<i>SA (Source Address)</i> – Байт адреса источника	Содержит адрес источника сообщения
<i>FC (Frame Control)</i> – Байт управления сообщением	Определяет, какая служба канального уровня должна обрабатывать сообщение и приоритет сообщения
<i>Data Unit</i> – Поле данных	Содержит передаваемые данные
<i>FCS (Frame Check Sequence)</i> – Контрольный байт	Содержит контрольную сумму сообщения, которая образуется путём побайтного сложения без учёта бита переполнения
<i>ED (End Delimiter)</i> – Оконечный байт	Признак конца сообщения (<i>ED = 16h</i>)

За счёт использования битов чётности и контрольного байта, при передаче может быть распознано до трёх ошибочных битов в одном сообщении. Сообщение, в котором обнаружена ошибка, повторяется, по крайней мере, один раз. Имеется возможность повторять сообщения, проходящие по уровню канала данных, до восьми раз (шинный параметр «*Retry*»).

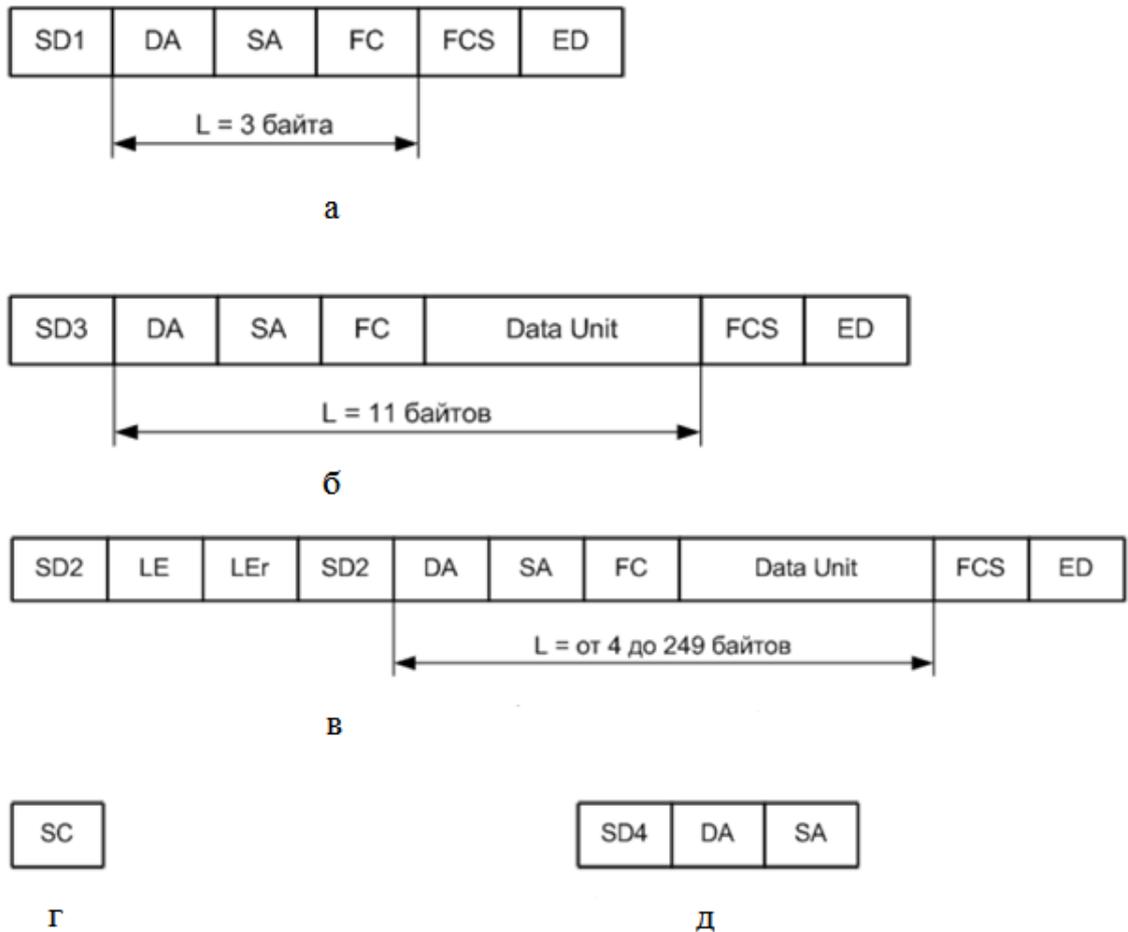


Рис. 14.20. Формат *PROFIBUS*-сообщений: а – с постоянной длиной информационного поля; б – с постоянной длиной информационного блока с данными; в – с переменной длиной информационного блока; г – короткое квитирование; д – сообщение маркер

На канальном уровне *PROFIBUS* реализуются передачи типа «точка – точка», а также широковещательные передачи (всем участникам сети – *Broadcast* или группе участников сети – *Multicast*). В случае широковещательной передачи приём данных не квитируется. Службы, реализованные на канальном уровне, приведены в табл. 14.14. В протоколах *DP* и *PA* применяется, соответственно, подмножество служб канального уровня. Так, например, *PROFIBUS-DP* использует только службы *SRD* и *SDN*.

Службы вызываются через точки доступа к службе (*SAP*, *Service Access Point*) канального уровня из вышестоящего уровня. В *PROFIBUS-FMS* эти точки доступа используются для адресации логических коммуникационных связей. В протоколах *DP* и *PA* применяемые точки доступа строго упорядочены. У всех активных и пассивных участников

можно использовать параллельно несколько точек доступа. Различаются точки доступа источника (*SSAP, Source Service Access Point*) и точки доступа приёмника (*DSAP, Destination Service Access Point*).

Таблица 14.14

Службы передачи *PROFIBUS*

Служба	Функции	DP	PA	FMS
<i>SDA</i>	Посылка данных с квитированием			✓
<i>SRD</i>	Данные посылаются и принимаются с квитированием	✓	✓	✓
<i>SDN</i>	Данные посылаются без квитирования	✓	✓	✓
<i>CSRD</i>	Циклическая посылка и приём с квитированием			✓

Прикладной уровень *FMS*. Прикладной уровень определён только для *PROFIBUS-FMS*. С помощью введения специальных профилей для *FMS*-устройств (в качестве надстройки к прикладному уровню) обеспечивается возможность единообразного взаимодействия с устройствами разных производителей. В профилях устройств, подключаемых к *PROFIBUS-FMS*, определён обязательный набор функций, требующийся для конкретного типа устройств, благодаря чему устройства различных производителей имеют одни и те же коммуникационные функции. Для *FMS* определены следующие профили:

- коммуникации между контроллерами (3.002). Этот коммуникационный профиль устанавливает, какие *FMS*-службы применяются для коммуникаций между *PLC*. В профиле определены службы, параметры и типы данных, которые должен поддерживать каждый ПЛК;
- профиль для автоматизации зданий (3.011). Это отраслевой профиль и основа для многих открытых стандартов в автоматизации зданий. Он описывает, как осуществляется обмен, управление, регулирование, обслуживание, обработка и архивирование сигналов (*Alarm*) в системах автоматизации зданий через *FMS*;
- коммутационные низковольтные приборы (3.032). Это отраслевой пользовательский *FMS*-профиль. Он определяет правила обмена данными с низковольтными коммутационными приборами через *FMS*.

14.6. Пользовательский интерфейс *DP* и *DP*-профили

Для *PROFIBUS-DP* определён пользовательский интерфейс, который позиционируется как надстройка над моделью ВОО. Протокол *PROFIBUS-DP* определяет, как передаются данные по шине между участниками. При этом смысл передаваемых пользовательских данных протоколом не определяется (поскольку нет прикладного уровня!). В *PROFIBUS-DP* так же, как и в *PROFIBUS-FMS*, определён ряд профилей, благодаря чему приборы разных производителей могут обмениваться информацией. В настоящее время установлены следующие профили *PROFIBUS-DP*:

- профиль для управления роботами через *PROFIBUS-DP* (3.052). Профиль позволяет описать движение и программное управление роботом;
- профиль для подключения энкодера (преобразователя угол-кода) (3.062). Для энкодеров определены два аппаратных класса основных и дополнительных функций, как, например, масштабирование сигналов и расширенная диагностика;
- профиль для приводов с регулируемой скоростью – *PROFIDRIVE*-профиль (3.072). Профиль устанавливает, как приводы параметрируются и передают заданные и истинные значения, благодаря этому становится возможным обмен данными с приводами различных производителей;
- профиль для управления и наблюдения – *HMI (Human Machine Interface)* (3.082). Этот профиль используется при подключении к сети устройств для реализации человеко-машинного интерфейса (операторские панели, персональные компьютеры). Профиль устанавливает правила подключения этих устройств через *PROFIBUS-DP* к компонентам автоматизации.

Управление доступом к шине в *PROFIBUS*. К управлению доступом к шине *PROFIBUS* предъявляются два существенных требования. С одной стороны, для надёжных коммуникаций между равноправными ПЛК и/или ПК необходимо, чтобы каждый участник в течение определённого временного окна получал доступ к шине для решения своих коммуникационных задач.

С другой стороны, для обмена данными между ПЛК или ПК и простой децентрализованной периферией требуется быстрый обмен с возможно малыми издержками протокола. Это достигается благодаря использованию гибридного управления доступом к шине, состоящим из децентрализованного обмена маркером между активными участниками (*Master*-ами) и централизованного обмена *Master-Slave*, для обмена данными между активными и пассивными участниками шины *PROFIBUS*.

Активный участник, который владеет маркером, берёт на себя функции мастера на шине, чтобы проводить коммуникации с пассивными и активными участниками.

Обмен сообщениями по шине происходит при этом через адресацию участников. Каждому *PROFIBUS*-участнику назначается однозначный адрес. Адрес назначается из области от 0 до 126. При этом максимальное число участников, находящихся на шине, не превышает 127.

Использование гибридного управления доступом к среде передачи позволяет реализовать следующие конфигурации системы:

- «чистая» система *Multimaster* (обмен маркером);
- «чистая» система *Master-Slave*;
- комбинация обоих методов.

Метод доступа к *PROFIBUS* не зависит от используемой среды передачи.

Активные участники, подключенные к *PROFIBUS*, образуют упорядоченное по возрастанию их адресов логическое маркерное кольцо (*Token Ring*) (рис. 14.21), по которому циркулирует маркер (*token*). Маркер, а с ним и право на доступ к среде передачи передаются в специальном маркер-сообщении между активными участниками. Активный участник с наивысшим на шине адресом *HSA* (*Highest Station Address*) передаёт маркер активному участнику с наименьшим шинным адресом, чтобы замкнуть маркерное кольцо. Время прохождения маркера через всех активных участников называется временем обращения маркера и ограничивается с помощью параметра *TTR* (*Time Target Rotation*), который задаётся при конфигурации сети.

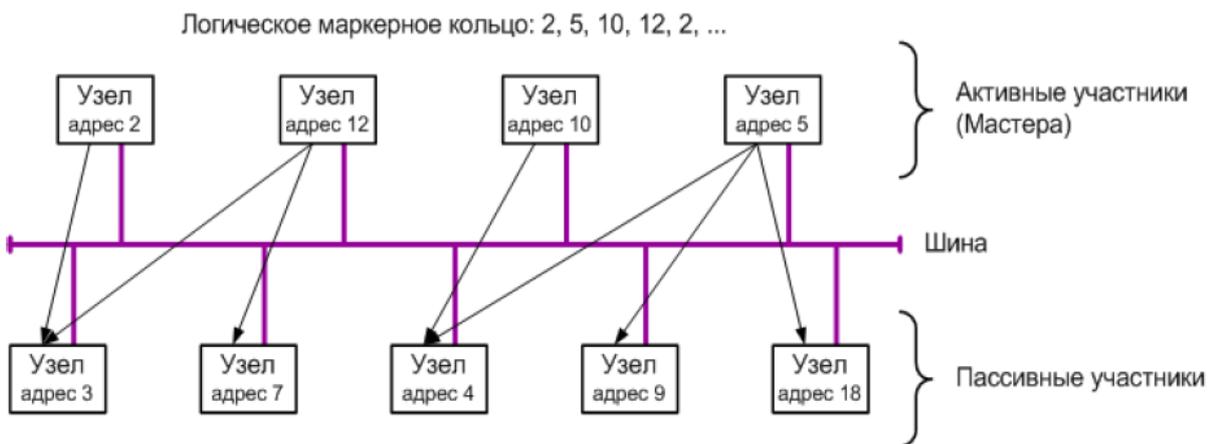


Рис. 14.21. Метод обмена маркером

Управление доступом к шине активных участников осуществляется как на этапе инициализации, так во время функционирования маркерного кольца. При этом устанавливаются адреса всех имеющихся на шине активных участников и заносятся в список активных станций (*LAS, List of Active Station*). Для управления маркером необходимо знать адреса предыдущей станции, от которой маркер присылается, и следующей станции, которой маркер предназначается. Кроме того, список *LAS* нужен для того, чтобы при текущей работе исключать из кольца вышедших из строя или дефектных активных участников и, соответственно, принимать вновь появившихся участников без помех текущему обмену данными по шине.

Если логическое маркерное кольцо состоит только из одного активного и нескольких пассивных участников, то это соответствует «чистой» системе *Master-Slave*. Метод *Master-Slave* позволяет мастеру (активному участнику), опрашивать назначенных ему *Slave* (пассивных участников).

14.7. Стандарт *Foundation Fieldbus*

Foundation Fieldbus (далее *FF*) – самый молодой и быстро растущий стандарт на промышленную сеть. Он вобрал в себя самые современные технологии построения управляющей сети масштаба предприятия. Представляет собой двухуровневый сетевой протокол, объединяющий в себе черты мощной информационной магистрали для объединения компьютеров верхнего уровня и управляющей сети, объединяющей контроллеры, управляющие компьютеры, датчики и исполнительные механизмы. Предоставляет полный сервис, от передачи файлов и больших объемов информации до замыкания контуров управления контроллеров, включая обеспечение загрузки в контроллеры управляющих программ и доступ к пассивному оборудованию.

Практически стандарт определяет два уровня сети. На нижнем уровне (*H1*) в качестве физической среды передачи данных за основу взят стандарт *IEC 61158-2*, который позволяет использовать сеть *FF* на взрывоопасных производствах с возможностью запитки датчиков непосредственно от канала связи.

Скорость передачи информации на уровне *H1* составляет 31,5 Кбит/с.

На верхнем уровне (бывший *H2*) в настоящее время, как правило, используется *FF HSE (High Speed Ethernet)*, основанный, как видно из названия, на сети *Ethernet* со скоростью 100 Мбит/с.

Особенностью стандарта *FF* является то, что в нем определен дополнительный пользовательский уровень (*User Layer*), позволяющий, применяя predetermined функциональные блоки, строить промышленные сети с распределенным интеллектом.

При выборе промышленной сети для построения конкретной системы управления следует сузить выбор до нескольких приемлемых вариантов, после чего сравнить характеристики устройств и изучить сведения о поставщиках, например, по следующим критериям:

- информативность – насколько доступны спецификации протоколов и стандарты, на которые опираются эти протоколы;
- открытость – прежде всего, отсутствие лицензионной платы за использование протокола;
- перспективность – насколько тот или иной протокол представляет собой растущий организм и как он приспособливается под нужды потребителей.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляют к промышленной сети?
2. На каких уровнях типовой структуры АСУТП применяются промышленные сети?
3. Какие характеристики промышленной сети позволяют судить о соответствии сети требованиям задач реального времени?
4. К какому уровню следует отнести протоколы *HART* и *ASI*, *Modbus Plus*, *PROFIBUS FMS*, *CAN* и *PROFIBUS DP*?
5. Сколько ведущих и ведомых устройств может быть в сети на базе *HART*-протокола, *AS*-интерфейса, *Modbus*, в сегменте сети *Modbus Plus*, *PROFIBUS DP*?
6. Каков максимальный объем данных передаваемых в сообщении протокола *HART*, *ASI*, *Modbus*, *CAN*, *PROFIBUS*,
7. Какие протоколы реализуют централизованное, децентрализованное, гибридное управления доступом к среде передачи?
8. Какие протоколы поддерживают широковещательные передачи?
9. Физический интерфейс какого протокола основан на методе передачи данных с помощью частотной модуляции?
10. Какой протокол изначально был ориентирован на объединение в сеть дискретных датчиков и исполнительных устройств?
11. Для какого протокола не определён специальный физический интерфейс?

12. Какой протокол использует поле арбитража для определения приоритета передаваемого сообщения?
13. В каком протоколе в состав маркерного кадра входит глобальная база данных для передачи широковещательных сообщений?
14. Какие классы команд описываются *HART*-протоколом?
15. Каким образом можно подключить к сети на базе *AS*-интерфейса дискретный датчик или исполнительный механизм?
16. Какую структуру памяти имеет любое устройство, подключенное к сети с точки зрения *Modbus*-протокола?
17. Как реализуется маршрутизация сообщений в протоколе *Modbus Plus*?
18. В какой последовательности осуществляется обход логического кольца маркером в сети *Modbus Plus*, *PROFIBUS*?
19. В чём состоит отличие форматов сообщений в сетях *Modbus* и *Modbus/TCP*?
20. Какое состояние среды передачи в протоколе *CAN* является доминирующим? Для чего вообще в *CAN*-протоколе определены доминирующий и рецессивный уровни?
21. Какие типы сообщений определены в *CAN*-протоколе?
22. Перечислите стандарты протоколов уровня приложений на базе *CAN*.
23. Что может использоваться в качестве среды передачи для протокола *PROFIBUS-DP/FMS*?
24. Дайте краткую характеристику промышленной сети *Foundation Fieldbus*.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башлы П.Н. Современные сетевые технологии: Учеб. пособие / П.Н. Башлы. – М.: – Горячая линия – Телеком, 2006. – 334 с: ил.
2. Бройдо В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: Учебник для вузов / В.Л. Бройдо. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 703 с.
3. Олифер В.Г. Сетевые операционные системы: Учеб. пособие / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – М.: Питер, 2006. – 539 с.
4. Смоленцев Н.И. Информационные сети и телекоммуникации: конспект лекций / Н.И. Смоленцев. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2011. – 93 с.
5. Данилушкин И.А. Аппаратные средства и программное обеспечение систем промышленной автоматизации: Учеб. пособие / И.А. Данилушкин. – Самар. гос. техн. ун-т., 2005. – 168 с.
6. Строганов М.П. Информационные сети и телекоммуникации: учебное пособие / М.П. Строганов. – М.: Изд-во Высшая школа, 2008.
7. Пескова С.А. Сети и телекоммуникации: Учеб. пособие / С.А. Пескова. – М.: Академия, 2007. – 352 с.
8. Гусев С. Краткий экскурс в историю промышленных сетей // Современные технологии автоматизации / С. Гусев. – 2000. – № 4. – С. 78–84.
9. Денисенко В., Халявко А. Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации. Современные технологии автоматизации / В. Денисенко, А. Халявко. – 2001. – №1. – С. 68–75. – (http://www.cta.m/pdf/2001-1/notebook1_2001_01.pdf)
10. Брокеров А.Ж., Петров К.В. Программируемые логические контроллеры. МЭК системы программирования и CoDeSys // Автоматизация и производство / А.Ж. Брокеров, К.В. Петров. – 2006. – № 1.
11. Шелестов И. Надёжность автоматики: проблемы и решения (часть 1) // Автоматизация и производство / И. Шелестов. – 2007. – №1. – С. 30–31.
12. http://www.owen.rudocuments/aip/files/aip0107s3_0-31.pelf/
13. Половинкии В. *HART*-протокол // Современные технологии автоматизации / В. Половинкии. – 2002. – №1, С. 6–14.
14. *AS-Interface* – <http://www.as-interface.net/>
15. *Modbus Protocol* – <http://www.niodicon.conytechpubs/toc7.html/>
16. Щербаков Л. Протоколы прикладного уровня *CAN*-сетей в современные технологии автоматизации / Л. Щербаков. – 1999. – №3. – С. 6–15
17. *SIEMENS*. Сети. *SIMATIC NET*. *PROFIBUS-DP*. Руководство. – <http://www.automation-drivesTU/as/>
18. *Cisco Systems* – <http://www.cisco.com/>
19. АСУТП – <http://www.asutp.ru/>
20. *Honeywell* – <http://honeywell.com/>

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.	4
Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ.	5
1.1. Терминология и функции сетей.	5
1.2. Классификация информационно-вычислительных сетей.	10
1.3. Организации, разрабатывающие стандарты информационных сетей и телекоммуникаций.	17
1.4. Из истории известных информационных сетей.	18
Глава 2. ЭТАЛОННАЯ МОДЕЛЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ <i>OSI/ISO</i>	22
2.1. Иерархия уровней модели <i>OSI/ISO</i>	23
2.2. Функции уровней эталонной модели <i>OSI/ISO</i>	28
2.3. Стек протоколов и сетевая модель <i>TCP/IP</i>	33
2.4. Сравнение моделей <i>OSI/ISO</i> и <i>TCP/IP</i>	34
Глава 3. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ.	38
3.1. Основные понятия телекоммуникаций.	38
3.2. Элементы теории информации.	40
3.3. Количество информации и ее измерение.	40
3.4. Энтропия бинарных сообщений.	43
3.5. Основные элементы и понятия теории сигнала.	45
3.6. Спектральный (гармонический) анализ сигналов.	47
3.7. Разложение периодических функций в ряд Фурье.	47
3.8. Запись ряда Фурье в тригонометрической форме.	48
3.9. Спектральный анализ непериодических сигналов.	51
3.10. Математические модели сигналов.	55
Глава 4. ФИЗИЧЕСКАЯ СРЕДА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ.	57
4.1. Из истории телекоммуникаций.	58
4.2. Линии связи.	60
4.3. Кабельные линии.	63
4.4. Витая пара проводов.	64
4.5. Коаксиальный кабель.	68
4.6. Каналы связи, использующие в качестве физической среды передачи информации существующую сеть электропитания.	72

4.7. Оптические каналы.	73
4.8. Структурированные кабельные системы.	76
4.9. Типы кроссовых панелей.	79
4.10. Ввод каналов.	83
Глава 5. МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ.	90
5.1. Методы передачи данных на физическом уровне.	90
5.2. Основные рекомендации МККТТ.	93
5.2.1. Протоколы МККТТ V.24, X.21, X.21 бис, X.20.	93
5.2.2. Установление и разъединение соединения.	93
5.2.3. Преобразование сигналов.	93
5.2.4. Реализация интерфейса.	94
5.3. Стандартные архитектуры локальных вычислительных сетей.	95
5.3.1. Архитектура <i>Ethernet</i> – <i>IEEE</i> 802.3.	96
5.3.2. Протокол <i>Fast Ethernet</i>	99
5.3.3. Протокол <i>100VG-AnyLan</i>	101
5.3.4. Протокол <i>Gigabit Ethernet</i>	102
5.4. Протокол <i>Token Ring</i>	104
5.5. Протокол <i>FDDI</i>	109
5.6. Протоколы <i>SLIP</i> и <i>PPP</i>	113
5.7. Архитектура <i>Arcnet</i>	115
5.8. Компоненты глобальных вычислительных сетей.	118
Глава 6. ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ.	121
6.1. Способы передачи информации по физической среде.	121
6.2. Основные характеристики линий связи.	125
6.2.1. Амплитудно-частотная характеристика.	126
6.2.2. Затухание.	131
6.2.3. Полоса пропускания.	133
6.2.4. Помехоустойчивость.	135
6.2.5. Пропускная способность.	136
6.2.6. Достоверность передачи данных.	140
6.3. Амплитудная модуляция.	141
6.4. Амплитудная модуляция с использованием цифровых сигналов.	144
6.5. Частотная модуляция.	145
6.6. Фазовая модуляция.	146
6.7. Квадратурно-амплитудная модуляция.	147

6.8. Треллис-кодирование.	147
6.9. Амплитудно-фазовая модуляция с несколькими несущими.	148
6.10. Спектр модулированного сигнала.	149
6.11. Цифровое кодирование.	150
6.11.1 Требования к способам кодирования.	150
6.11.2. Потенциальное кодирование без возвращения к нулю.	152
6.11.3. Биполярное кодирование с альтернативной инверсией.	154
6.11.4. Биполярный импульсный код.	155
6.11.5. Манчестерские коды.	156
6.11.6. Потенциальный код $2B1Q$	156
6.12. Дискретная модуляция аналоговых сигналов.	157
6.13. Импульсно-кодовая модуляция.	157
6.14. Теорема Найквиста – Котельникова.	158
6.15. Передача аналоговой информации через цифровые сети.	159
6.16. Логическое кодирование информации.	162
Глава 7. РЕКОМЕНДАЦИИ И СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ КОДИРОВАНИЯ И СЖАТИЯ ИНФОРМАЦИИ.	164
7.1. Кодирование и сжатие информации.	164
7.2. Основные используемые коды.	165
7.3. Асинхронное и синхронное кодирование.	166
7.4. Коэффициент сжатия.	167
7.5. Алгоритмы сжатия.	167
7.6. Методы защиты от ошибок и сжатия данных.	170
7.7. Корректирующие коды.	171
7.8. Сжатие данных.	173
Глава 8. КАНАЛООБРАЗУЮЩАЯ АППАРАТУРА, РЕЖИМЫ ПЕРЕНОСА ИНФОРМАЦИИ, КОММУТАЦИЯ КАНАЛОВ.	177
8.1. Основы теории многоканальной передачи сообщений.	178
8.2. Частотное разделение сигналов.	180
8.3. Временное разделение каналов.	183
Глава 9. РЕЖИМЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ.	186
9.1. Режимы передачи данных.	186
9.2. Методы передачи данных канального уровня.	189
9.3. Асинхронные протоколы.	189

Глава 10. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И СТАНДАРТНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ.	192
10.1. Стандарты электрических интерфейсов применяемых в промышленных сетях.	192
10.2. Интерфейс <i>RS-232C (EIA-232-D)</i>	194
10.3. Интерфейсы <i>RS-422A</i> и <i>RS-485 (EIA/TIA-422A</i> и <i>EIA/TIA-485)</i> . . .	200
10.4. Интерфейс «токовая петля»	205
Глава 11. ОБОРУДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ.	207
11.1. Сетевые адаптеры.	207
11.2. Концентраторы.	212
11.3. Сегментация сети.	214
11.4. Мосты.	215
11.5. Коммутаторы.	216
11.6. Маршрутизаторы.	224
11.7. Сравнение сетевых устройств.	229
11.8. Интегрированные цифровые сети <i>ISDN</i>	230
11.9. Цифровые абонентские линии <i>xDSL</i>	233
Глава 12. БЕСПРОВОДНЫЕ КАНАЛЫ СВЯЗИ.	236
12.1. Инфракрасные и лазерные беспроводные каналы.	237
12.2. Беспроводные радиоканалы.	238
12.3. Спутниковые каналы обмена данными.	242
12.4. Стандартные радиосети.	244
12.5. Радиосети <i>Wireless PAN</i>	246
12.6. Радиосети <i>Wireless LAN</i>	246
12.7. Цифровые системы мобильной связи стандарта <i>GSM</i>	248
12.8. Система беспроводной связи <i>GPRS</i>	257
12.9. Беспроводные решения для автоматизации технологических процессов.	261
12.10. «Умная пыль»	266
12.11. Персональная спутниковая радиотелефонная связь.	267
12.12. Спутниковые навигационные системы.	276
Глава 13. СЕТЕВЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА.	280
13.1. Общая характеристика сетевых программных средств.	280

13.2. Структура сетевой операционной системы с архитектурой «клиент – сервер»	281
13.3. Функционал вычислительных сетей.	286
13.4. Понятие сетевой службы и сетевого сервиса.	291
13.5. Способы согласования протоколов вычислительных сетей.	293
13.6. Обобщенная структура вычислительной сети.	301
Глава 14. СОВРЕМЕННЫЕ СТАНДАРТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ.	303
14.1. Области применения промышленных сетей.	305
14.2. Протоколы уровня датчиков.	306
14.2.1. <i>HART</i> -протокол.	306
14.2.2. <i>AS-interface</i>	315
14.3. Протоколы системного уровня.	321
14.3.1. Протокол <i>Modbus</i>	321
14.3.2. Протокол <i>Modbus Plus</i>	328
14.4. Сети системного и сенсорного уровней.	332
14.4.1. <i>CAN</i> -сети.	332
14.4.2. Протокол <i>CAN Kingdom</i>	337
14.4.3. Протокол <i>DeviceNet</i>	340
14.4.4. Сеть <i>SDS (Smart Distributed System)</i>	343
14.5. Стандарт <i>PROFIBUS</i>	344
14.6. Пользовательский интерфейс <i>DP</i> и <i>DP</i> -профили.	353
14.7. Стандарт <i>Foundation Fieldbus</i>	355
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.	358

Учебное издание

Гильфанов Камиль Хабибович

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**

Учебное пособие

Кафедра автоматизации
технологических процессов и производств

Редактор издательского отдела *М.С. Беркутова*
Компьютерная верстка *Ю.Ф. Мухаметшина*

Подписано в печать 12.12.14.

Формат 60×84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 21,15. Уч.-изд. л. 23,48. Тираж 500 экз. Заказ № 05/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, Казань, Красносельская, 51