

## 4. Основы передачи дискретных данных

Любая сетевая технология должна обеспечить надежную и быструю передачу дискретных данных по линиям связи. И хотя между технологиями имеются большие различия, они базируются на общих принципах передачи дискретных данных, которые рассматриваются в этой главе. Эти принципы находят свое воплощение в методах представления двоичных единиц и нулей с помощью импульсных или синусоидальных сигналов в линиях связи различной физической природы, методах обнаружения и коррекции ошибок, методах компрессии и методах коммутации.

### 4.1. Типы линий связи

Линия связи (рис. 4.1) состоит в общем случае из физической среды, по которой передаются электрические информационные сигналы, аппаратуры передачи данных и промежуточной аппаратуры. Синонимом термина линия связи (line) является термин канал связи (channel).

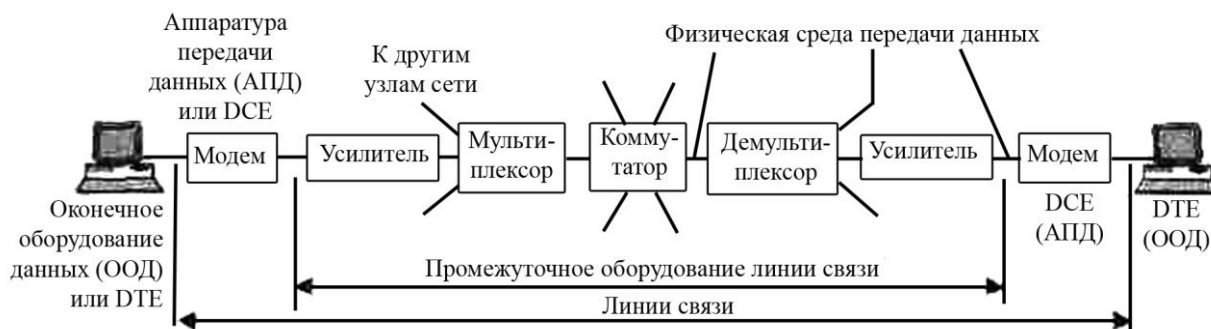


Рисунок 4.1. Состав линии связи

Физическая среда передачи данных (medium) может представлять собой кабель, то есть набор проводов, изоляционных и защитных оболочек и соединительных разъемов, а также земную атмосферу или космическое пространство, через которые распространяются электромагнитные волны.

В зависимости от среды передачи данных линии связи разделяются на следующие (рис. 4.2.):

- ◆ проводные (воздушные);
- ◆ кабельные (медные и волоконно-оптические);
- ◆ радиоканалы наземной и спутниковой связи.

#### ▶ Проводные (воздушные)



#### ▶ Кабельные (Медь)



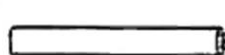
витая пара

или



коаксиал

#### ▶ Волоконно-оптические



Световоды

#### ▶ Радиоканалы наземной и спутниковой связи

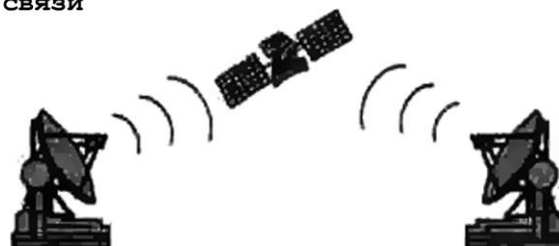


Рисунок 4.2. Типы линий связи

*Проводные (воздушные)* линии связи представляют собой провода без каких-либо изолирующих или экранирующих оплеток, проложенные между столбами и висющие в воздухе. По таким линиям связи традиционно передаются телефонные или телеграфные сигналы, но при отсутствии других возможностей эти линии используются и для передачи компьютерных данных. Скоростные качества и помехозащищенность этих линий оставляют желать много лучшего. Сегодня проводные линии связи быстро вытесняются кабельными.

*Кабельные* линии представляют собой достаточно сложную конструкцию. Кабель состоит из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции: электрической, электромагнитной, механической, а также, возможно, климатической. Кроме того, кабель может быть оснащен разъемами, позволяющими быстро выполнять присоединение к нему различного оборудования. В компьютерных сетях применяются три основных типа кабеля: кабели на основе скрученных пар

медных проводов, коаксиальные кабели с медной жилой, а также волоконно-оптические кабели.

Скрученная пара проводов называется витой парой (*twistedpair*). Витая пара существует в экранированном варианте (*Shielded Twistedpair*, *STP*), когда пара медных проводов обертывается в изоляционный экран, и неэкранированном (*Unshielded Twistedpair*, *UTP*), когда изоляционная обертка отсутствует. Скручивание проводов снижает влияние внешних помех на полезные сигналы, передаваемые по кабелю. Коаксиальный кабель (*coaxial*) имеет несимметричную конструкцию и состоит из внутренней медной жилы и оплетки, отделенной от жилы слоем изоляции. Существует несколько типов коаксиального кабеля, отличающихся характеристиками и областями применения — для локальных сетей, для глобальных сетей, для кабельного телевидения и т. п. Волоконно-оптический кабель (*optical fiber*) состоит из тонких (5-60 микрон) волокон, по которым распространяются световые сигналы. Это наиболее качественный тип кабеля — он обеспечивает передачу данных с очень высокой скоростью (до 10 Гбит/с и выше) и к тому же лучше других типов передающей среды обеспечивает защиту данных от внешних помех.

*Радиоканалы* наземной и спутниковой связи образуются с помощью передатчика и приемника радиоволн. Существует большое количество различных типов радиоканалов, отличающихся как используемым частотным диапазоном, так и дальностью канала. Диапазоны коротких, средних и длинных волн (КВ, СВ и ДВ), называемые также диапазонами амплитудной модуляции (*Amplitude Modulation*, *AM*) по типу используемого в них метода модуляции сигнала, обеспечивают дальнюю связь, но при невысокой скорости передачи данных. Более скоростными являются каналы, работающие на диапазонах ультракоротких волн (УКВ), для которых характерна частотная модуляция (*Frequency Modulation*, *FM*), а также диапазонах сверхвысоких частот (СВЧ или *microwaves*). В диапазоне СВЧ (свыше 4 ГГц) сигналы уже не отражаются ионосферой Земли и для устойчивой связи требуется наличие прямой видимости между передатчиком и приемником. Поэтому такие частоты используют либо спутниковые каналы, либо радиорелейные каналы, где это условие выполняется.

В компьютерных сетях сегодня применяются практически все описанные типы физических сред передачи данных, но наиболее перспективными являются волоконно-оптические. На них сегодня строятся как магистрали крупных территориальных сетей, так и высокоскоростные линии связи локальных сетей. Популярной средой является также витая пара, которая характеризуется отличным соотношением качества к стоимости, а также простотой монтажа. С помощью витой пары обычно подключают конечных абонентов сетей на расстояниях до 100 метров от концентратора. Спутниковые каналы и радиосвязь используются чаще всего в тех случаях, когда кабельные связи применить нельзя — например, при прохождении канала через малонаселенную местность или же для связи с мобильным пользователем сети, таким как шофер грузовика, врач, совершающий обход, и т. п.

## 4.2. Аппаратура линий связи

*Аппаратура передачи данных* (АПД или *DCE — Data Circuit terminating Equipment*) непосредственно связывает компьютеры или локальные сети пользователя с линией связи и является, таким образом, пограничным оборудованием. Традиционно аппаратуру передачи данных включают в состав линии связи. Примерами *DCE* являются модемы, терминальные адаптеры сетей *ISDN*, оптические модемы, устройства подключения к цифровым каналам. Обычно *DCE* работает на физическом уровне, отвечая за передачу и прием сигнала нужной формы и мощности в физическую среду.

Аппаратура пользователя линии связи, вырабатывающая данные для передачи по линии связи и подключаемая непосредственно к аппаратуре передачи данных, обобщенно носит название *оконечное оборудование данных* (ООД или *DTE — Data Terminal Equipment*). Примером *DTE* могут служить компьютеры или маршрутизаторы локальных сетей. Эту аппаратуру не включают в состав линии связи.

Разделение оборудования на классы *DCE* и *DTE* в локальных сетях является достаточно условным. Например, адаптер локальной сети можно считать как принадлежностью компьютера, то есть *DTE*, так и составной частью канала связи, то есть *DCE*.

*Промежуточная аппаратура* обычно используется на линиях связи большой протяженности. Промежуточная аппаратура решает две основные задачи:

- улучшение качества сигнала;
- создание постоянного составного канала связи между двумя абонентами сети.

В локальных сетях промежуточная аппаратура может совсем не использоваться, если протяженность физической среды — кабелей или радиоэфира — позволяет одному сетевому адаптеру принимать сигналы непосредственно от другого сетевого адаптера, без промежуточного усиления. В противном случае применяются устройства типа повторителей и концентраторов.

В глобальных сетях необходимо обеспечить качественную передачу сигналов на расстояния в сотни и тысячи километров. Поэтому без усилителей сигналов, установленных через определенные расстояния, построить территориальную линию связи невозможно. В глобальной сети необходима также и промежуточная аппаратура другого рода — мультиплексоры, демultipлексоры и коммутаторы. Эта аппаратура решает вторую указанную задачу, то есть создает между двумя абонентами сети составной канал из некоммутируемых отрезков физической среды — кабелей с усилителями. Важно отметить, что приведенные на рис. 4.1 мультиплексоры, демultipлексоры и коммутаторы образуют составной канал на *долговременной* основе, например на месяц или год, причем абонент не может влиять на процесс коммутации этого канала — эти устройства управляются по отдельным входам, абоненту недоступным (на рисунке не показаны). Наличие промежуточной коммутационной аппаратуры избавляет создателей глобальной сети от необходимости прокладывать отдельную кабельную линию для каждой пары соединяемых узлов сети. Вместо этого между мультиплексорами и коммутаторами используется высокоскоростная физическая среда, например волоконно-оптический или коаксиальный кабель, по которому передаются одновременно данные от большого числа сравнительно низкоскоростных абонентских линий. А когда нужно образовать постоянное соединение между какими-либо двумя конечными узлами сети, находящимися, например, в разных городах, то мультиплексоры, коммутаторы и демultipлексоры настраиваются оператором канала соответствующим образом. Высокоскоростной канал обычно называют уплотненным каналом.

Промежуточная аппаратура канала связи прозрачна для пользователя, он ее не замечает и не учитывает в своей работе. Для него важны только качество полученного канала, влияющее на скорость передачи дискретных данных. В действительности же промежуточная аппаратура образует сложную сеть, которую называют *первичной сетью*, так как сама по себе она никаких высокоуровневых служб (например, файловой или передачи голоса) не поддерживает, а только служит основой для построения компьютерных, телефонных или иных сетей.

В зависимости от типа промежуточной аппаратуры все линии связи делятся на аналоговые и цифровые. В *аналоговых линиях* промежуточная аппаратура предназначена для усиления аналоговых сигналов, то есть сигналов, которые имеют непрерывный диапазон значений. Такие линии связи традиционно применялись в телефонных сетях для связи АТС между собой. Для создания высокоскоростных каналов, которые мультиплексируют несколько низкоскоростных аналоговых абонентских каналов, при аналоговом подходе обычно используется техника частотного мультиплексирования (Frequency Division Multiplexing, FDM).

В *цифровых линиях* связи передаваемые сигналы имеют конечное число состояний. Как правило, элементарный сигнал, то есть сигнал, передаваемый за один такт работы передающей аппаратуры, имеет 2 или 3 состояния, которые передаются в линиях связи импульсами прямоугольной формы. С помощью таких сигналов передаются как компьютерные данные, так и оцифрованные речь и изображение. В цифровых каналах связи используется промежуточная аппаратура, которая улучшает форму импульсов и обеспечивает их ресинхронизацию, то есть восстанавливает период их следования. Промежуточная аппаратура образования высокоскоростных цифровых каналов (мультиплексоры, демultipлексоры, коммутаторы) работает по принципу временного мультиплексирования каналов (Time Division Multiplexing, TDM), когда каждому низкоскоростному каналу выделяется определенная доля времени (тайм-слот или квант) высокоскоростного канала.

Аппаратура передачи дискретных компьютерных данных по аналоговым и цифровым линиям связи существенно отличается, так как в первом случае линия связи предназначена для передачи сигналов произвольной формы и не предъявляет никаких требований к способу представления единиц и нулей аппаратурой передачи данных, а во втором — все параметры передаваемых линий импульсов стандартизованы. Другими словами, на цифровых линиях связи протокол физического уровня определен, а на аналоговых линиях — нет.

### 4.3. Характеристики линий связи

#### Типы характеристик и способы их определения

К основным характеристикам линий связи относятся:

- амплитудно-частотная характеристика;
- полоса пропускания;
- затухание;
- помехоустойчивость;
- перекрестные наводки на ближнем конце линии;

- пропускная способность;
- достоверность передачи данных;
- 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. Например, пропускная способность цифровой линии всегда известна, так как на ней определен протокол физического уровня, который задает битовую скорость передачи данных — 64 Кбит/с, 2 Мбит/с и т. п.

Однако нельзя говорить о пропускной способности линии связи, до того как для нее определен протокол физического уровня. Именно в таких случаях, когда только предстоит определить, какой из множества существующих протоколов можно использовать на данной линии, очень важными являются остальные характеристики линии, такие как полоса пропускания, перекрестные наводки, помехоустойчивость и другие характеристики.

Для определения характеристик линии связи часто используют анализ ее 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 используются 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.

### Спектральный анализ сигналов на линиях связи

Из теории гармонического анализа известно, что любой периодический процесс можно представить в виде суммы синусоидальных колебаний различных частот и различных амплитуд (рис. 4.3). Каждая составляющая синусоида называется также гармоникой, а набор всех гармоник называют 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. 4.4).

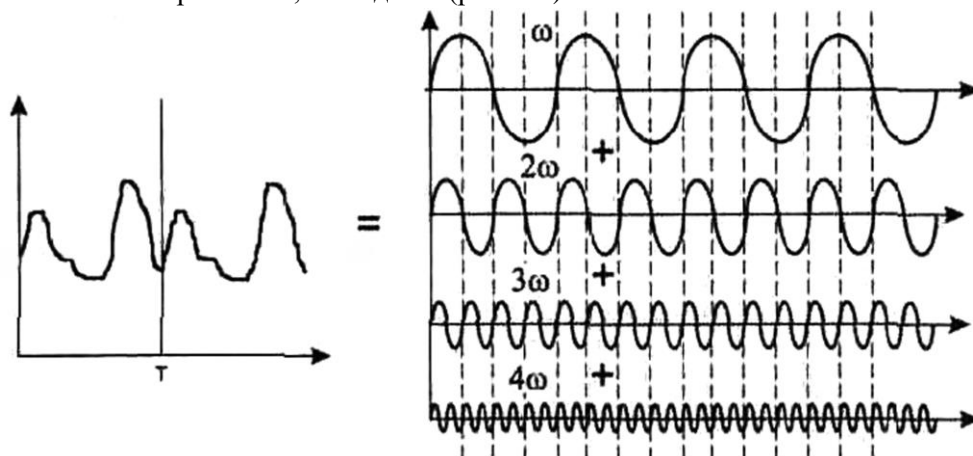


Рисунок 4.3. Представление периодического сигнала суммой синусоид



Рисунок 4.4. Спектральное разложение идеального импульса

Техника нахождения спектра любого исходного сигнала хорошо известна. Для некоторых сигналов, которые хорошо описываются аналитически (например, для последовательности прямоугольных импульсов одинаковой длительности и амплитуды), спектр легко вычисляется на основании формул Фурье. 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.

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 (рис. 4.5). Вследствие этого на приемном конце линии сигналы могут плохо распознаваться.

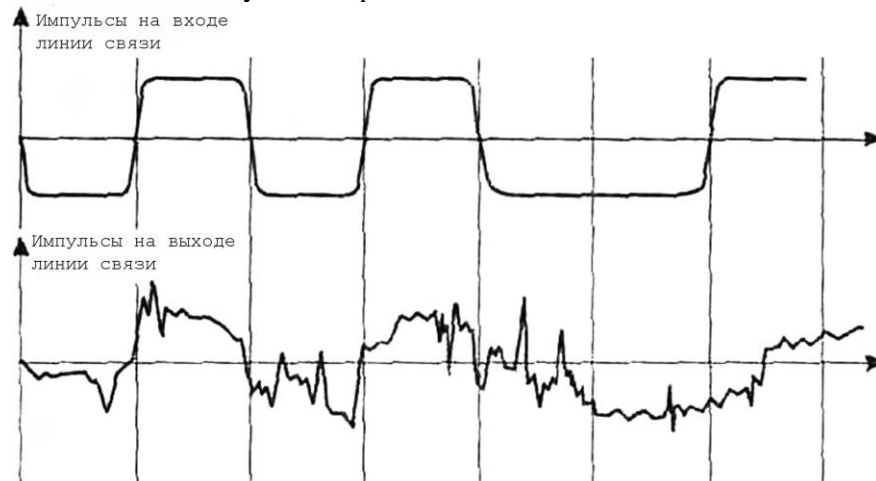


Рисунок 4.5. Искажение импульсов в линии связи

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. 4.6). В результате для синусоид различных частот линия будет обладать различным полным сопротивлением, а значит, и передаваться они будут по-разному. 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.

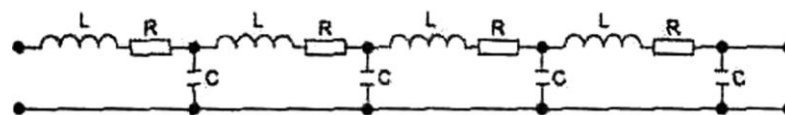


Рисунок 4.6. Представление линии связи

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. 4.5), по которой иногда трудно понять, какая дискретная информация была подана на вход линии.

### Амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание

Степень искажения синусоидальных сигналов линиями связи оценивается с помощью таких характеристик, как амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание на определенной частоте.

*Амплитудно-частотная характеристика* (рис. 4.7) показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии связи по сравнению с амплитудой на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала. Вместо амплитуды в этой характеристике часто используют также такой параметр сигнала, как его мощность.

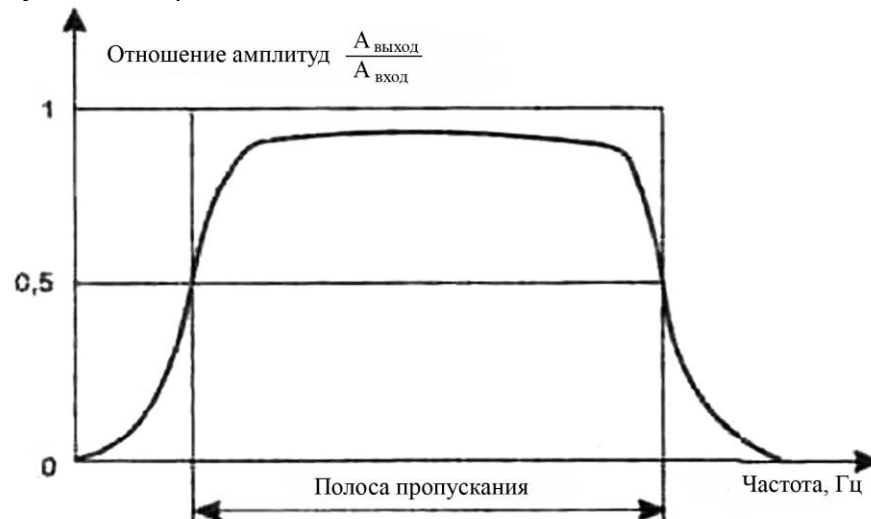


Рисунок 4.7. Амплитудно-частотная характеристика

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.

*Полоса пропускания (bandwidth)* — это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала ко входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5. То есть полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений. Знание полосы пропускания позволяет получить с некоторой степенью приближения тот же результат, что и знание амплитудно-частотной характеристики. Как мы увидим ниже, *ширина* полосы пропускания в наибольшей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи. Именно этот факт нашел отражение в английском эквиваленте рассматриваемого термина (width — ширина).

*Затухание (attenuation)* определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты. Таким образом, затухание представляет собой одну точку из амплитудно-частотной характеристики линии. Часто при эксплуатации линии заранее известна основная частота передаваемого сигнала, то есть та частота, гармоника которой имеет наибольшую амплитуду и мощность. Поэтому достаточно знать затухание на этой частоте, чтобы приблизительно оценить искажения передаваемых по линии сигналов. Более точные оценки возможны при знании затухания на нескольких частотах, соответствующих нескольким основным гармоникам передаваемого сигнала.

Затухание  $A$  обычно измеряется в децибелах (дБ, decibel — dB) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10 \lg P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}},$$

где  $P_{\text{вых}}$  — мощность сигнала на выходе линии,  $P_{\text{вх}}$  — мощность сигнала на входе линии.

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

Например, кабель на витой паре 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  $P$  вычисляется по следующей формуле:

$$P = 10 \lg P/1\text{мВт} [\text{дБм}],$$

где  $P$  — мощность сигнала в милливаттах, а дБм (dBm) — это единица измерения уровня мощности (децибел на 1 мВт).

Таким образом, амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание являются универсальными характеристиками, и их знание позволяет сделать вывод о том, как через линию связи будут передаваться сигналы любой формы.

Полоса пропускания зависит от типа линии и ее протяженности. На рис. 4.8 показаны полосы пропускания линий связи различных типов, а также наиболее часто используемые в технике связи частотные диапазоны.

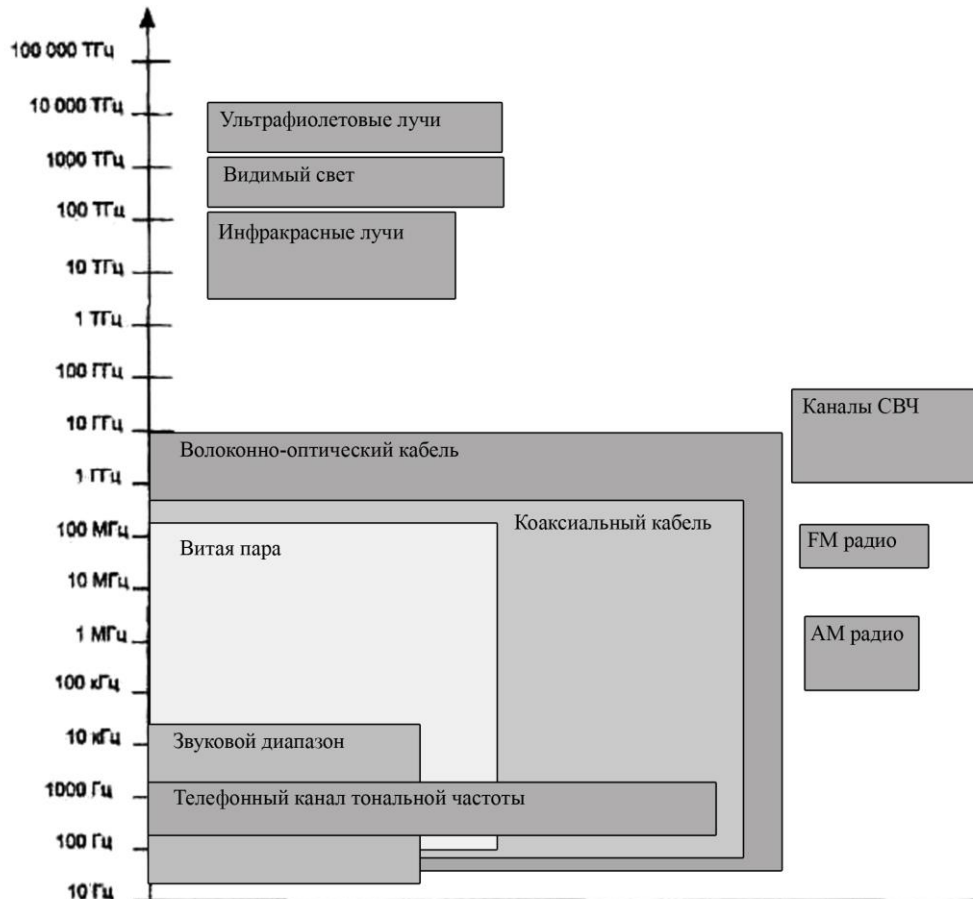


Рисунок 4.8. Полосы пропускания линий связи и популярные частотные диапазоны

### Пропускная способность линии

*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, таких как килобит в секунду (Кбит/с), мегабит в секунду (Мбит/с), гигабит в секунду (Гбит/с) и т. д. Это связано с тем, что данные в сетях передаются последовательно, то есть 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 спектра передаваемых сигналов. Если значимые гармоники сигнала (то есть 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 (рис. 4.9, а). 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 (рис. 4.9, б).

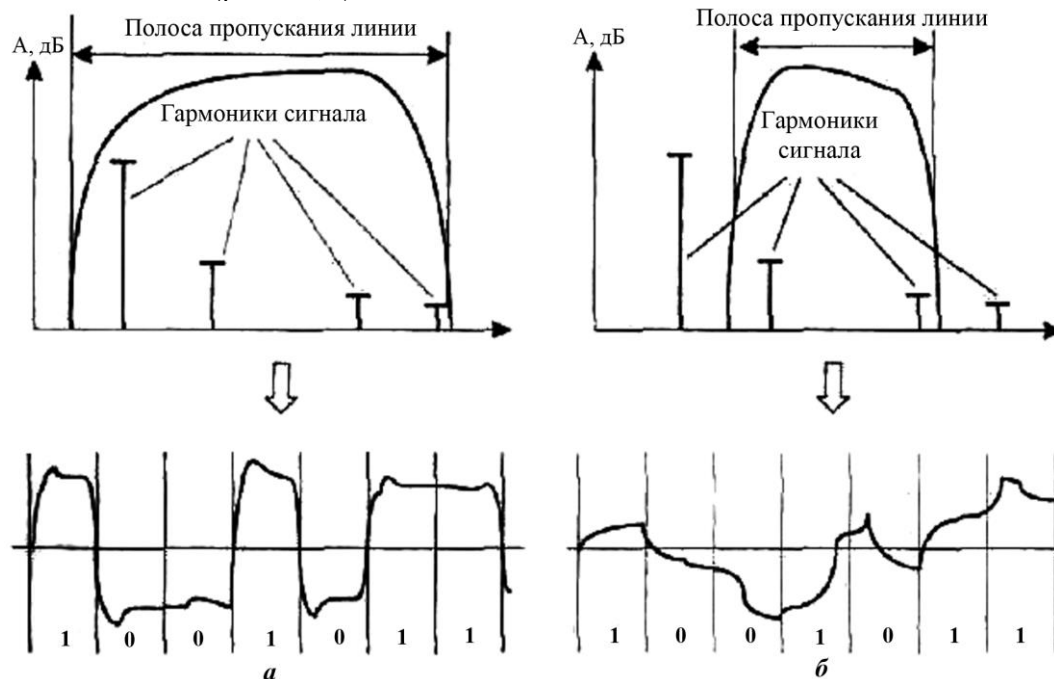


Рисунок 4.9. Соответствие между полосой пропускания и спектром сигнала

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 обладать одной пропускной способностью, а для другого — другой. Например, витая пара категории 3 может передавать данные с пропускной способностью 10 Мбит/с при способе кодирования стандарта физического уровня 10Base-T и 33 Мбит/с при способе кодирования стандарта 100Base-T4. В примере, приведенном на рис. 4.9, принят следующий способ кодирования — логическая 1 представлена на линии положительным потенциалом, а логический 0 — отрицательным.

Теория информации говорит, 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. Аналогично, не несут в себе информации импульсы на тактовой шине компьютера, так как их изменения также постоянны во времени. А вот импульсы на шине данных предсказать заранее нельзя, поэтому они переносят информацию между отдельными блоками или устройствами.

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 сигналом* или *несущей частотой*, если в качестве такого сигнала используется синусоида.

Если сигнал изменяется так, что можно различить только два его состояния, то любое его изменение 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 информационного параметра несущего периодического сигнала в секунду измеряется в *бодах* (*baud*). Период времени между соседними изменениями информационного сигнала называется тактом работы передатчика.

Пропускная способность линии в битах в секунду в общем случае не совпадает с числом бод. Она может быть как выше, так и ниже числа бод, и это соотношение зависит от способа кодирования.

Если сигнал имеет более двух различных состояний, то пропускная способность в битах в секунду будет выше, чем число бод. Например, если информационными параметрами являются фаза и амплитуда синусоиды, причем различаются 4 состояния фазы в 0, 90, 180 и 270 градусов и два 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 информационного 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.

#### Связь между пропускной способностью линии и ее полосой пропускания

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 увеличением частоты периодического несущего сигнала увеличивается и ширина спектра этого сигнала, то есть разность между максимальной и минимальной частотами того набора синусоид, которые в сумме дадут выбранную для физического кодирования последовательность сигналов. Линия 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, установил Клод Шеннон:

$$C = F \log_2 (1 + P_c/P_{ш}),$$

где  $C$  — максимальная пропускная способность линии в битах в секунду,  $F$  — ширина полосы пропускания линии в герцах,  $P_c$  — мощность сигнала,  $P_{ш}$  — мощность шума.

Из этого соотношения 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.

Близким по сути к формуле Шеннона является следующее соотношение, полученное Найквистом, которое также определяет максимально возможную пропускную способность линии связи, но без учета шума на линии:

$$C = 2F \log_2 M,$$

где  $M$  — количество различных состояний информационного параметра.

Если сигнал имеет 2 различных состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи (рис. 4.10, а). 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, например 2 бита при наличии четырех различных состояний сигнала (рис. 4.10, б).

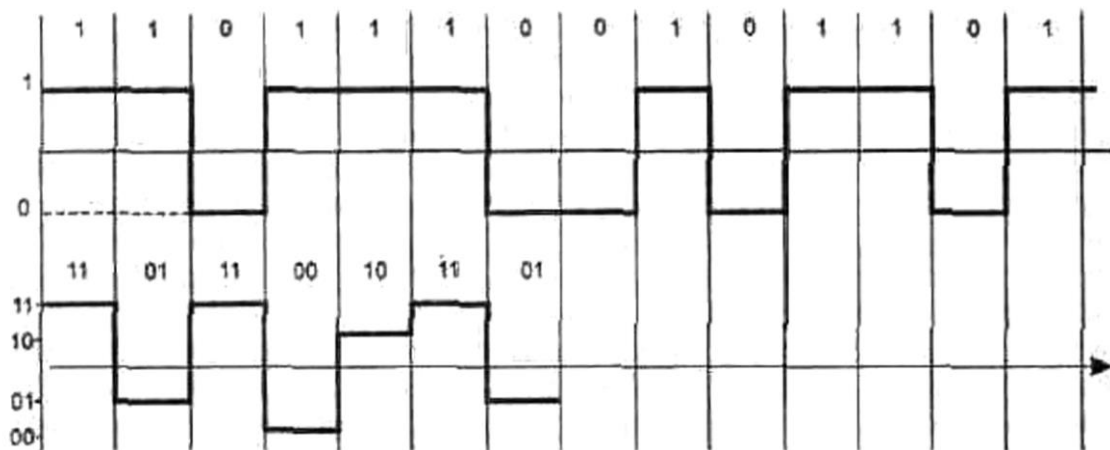


Рисунок 4.10. Повышение скорости передачи за счет дополнительных состояний сигнала

Хотя формула Найквиста явно не учитывает наличие шума, косвенно его влияние отражается в выборе количества состояний информационного сигнала. Для повышения пропускной способности канала хотелось бы увеличить это количество до значительных величин, но на практике мы не можем этого сделать из-за шума на линии. Например, для примера, приведенного на рис. 4.10, можно увеличить пропускную способность линии еще в два раза, используя для кодирования данных не 4, а 16 уровней. Однако если амплитуда шума часто превышает разницу между соседними 16-ю уровнями, то приемник не сможет устойчиво распознавать передаваемые данные. Поэтому количество 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.

Приведенные соотношения дают предельное значение пропускной способности линии, а степень приближения к этому пределу зависит от конкретных методов, физического кодирования, рассматриваемых ниже.

### Помехоустойчивость и достоверность

*Помехоустойчивость* линии определяет ее способность уменьшать уровень помех, создаваемых во внешней среде, 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 (Near End Cross Talk — NEXT)* 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  $-20 \lg U_{xa}/U_a$ , где  $U_a$  — амплитуда выходного сигнала,  $U_{xa}$  — амплитуда наведенного сигнала.

Чем меньше значение NEXT, тем лучше кабель. Так, для витой пары категории 5 показатель NEXT должен быть меньше -27 дБ на частоте 100 МГц.

Показатель NEXT обычно используется применительно к кабелю, состоящему из нескольких витых пар, так как в этом случае взаимные наводки одной пары на другую могут достигать значительных величин. Для одинарного коаксиального кабеля (то есть состоящего из одной экранированной жилы) этот показатель не имеет смысла, а для двойного коаксиального кабеля он также не применяется вследствие высокой степени защищенности каждой жилы. Оптические волокна также не создают сколь-нибудь заметных помех друг для друга.

В связи с тем, что в некоторых новых технологиях используется передача данных одновременно по нескольким витым парам, в последнее время стал применяться показатель *PowerSUM*, являющийся модификацией показателя NEXT. Этот показатель отражает суммарную мощность

перекрестных наводок от всех передающих пар в кабеле.

*Достоверность передачи данных* характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных. Иногда этот же показатель называют *интенсивностью битовых ошибок (Bit Error Rate, BER)*. Величина 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, в  $10^{-4}$  говорит о том, что в среднем из 10 000 бит искажается значение одного бита.

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.

#### 4.4. Стандарты кабелей

Кабель — это достаточно сложное изделие, состоящее из проводников, слоев экрана и изоляции. В некоторых случаях в состав кабеля входят разъемы, с помощью которых кабели присоединяются к оборудованию. Кроме этого, для обеспечения быстрой перекоммутации кабелей и оборудования используются различные электромеханические устройства, называемые кроссовыми секциями, кроссовыми коробками или шкафами.

В компьютерных сетях применяются кабели, удовлетворяющие определенным стандартам, что позволяет строить кабельную систему сети из кабелей и соединительных устройств разных производителей. Сегодня наиболее употребительными стандартами в мировой практике являются следующие:

- Американский стандарт EIA/TIA-568A, который был разработан совместными усилиями нескольких организаций: ANSI, EIA/TIA и лабораторией Underwriters Labs (UL). Стандарт EIA/TIA-568 разработан на основе предыдущей версии стандарта EIA/TIA-568 и дополнений к этому стандарту TSB-36 и TSB-40A).
- Международный стандарт ISO/IEC 11801.
- Европейский стандарт EN50173.

Эти стандарты близки между собой и по многим позициям предъявляют к кабелям идентичные требования. Однако есть и различия между этими стандартами, например, в международный стандарт 11801 и европейский EN50173 вошли некоторые типы кабелей, которые отсутствуют в стандарте EIA/TIA-568A.

До появления стандарта EIA/TIA большую роль играл американский стандарт *системы категорий кабелей* Underwriters Labs, разработанный совместно с компанией Anixter. Позже этот стандарт вошел в стандарт EIA/TIA-568.

Кроме этих открытых стандартов, многие компании в свое время разработали свои фирменные стандарты, из которых до сих пор имеет практическое значение только один — стандарт компании IBM.

При стандартизации кабелей принят протольно-независимый подход. Это означает, что в стандарте оговариваются электрические, оптические и механические характеристики, которым должен удовлетворять тот или иной тип кабеля или соединительного изделия — разъема, кроссовой коробки и т. п. Однако для какого протокола предназначен данный кабель, стандарт не оговаривает. Поэтому нельзя приобрести кабель для протокола Ethernet или FDDI, нужно просто знать, какие типы стандартных кабелей поддерживают протоколы Ethernet и FDDI.

В ранних версиях стандартов определялись только характеристики кабелей, без соединителей. В последних версиях стандартов появились требования к соединительным элементам (документы TSB-36 и TSB-40A, вошедшие затем в стандарт 568A), а также к *линиям (каналам)*, представляющим типовую сборку элементов кабельной системы, состоящую из шнура от рабочей станции до розетки, самой розетки, основного кабеля (длиной до 90 м для витой пары), точки перехода (например, еще одной розетки или жесткого кроссового соединения) и шнура до активного оборудования, например концентратора или коммутатора.

Мы остановимся только на основных требованиях к самим кабелям, не рассматривая характеристик соединительных элементов и собранных линий.

В стандартах кабелей оговаривается достаточно много характеристик, из которых наиболее важные перечислены ниже (первые две из них уже были достаточно детально рассмотрены).

- *Затухание (Attenuation)*. Затухание измеряется в децибелах на метр для определенной частоты или диапазона частот сигнала.

- *Перекрестные наводки на ближнем конце (Near End Cross Talk, NEXT)*. Измеряются в децибелах для определенной частоты сигнала.
- *Импеданс (волновое сопротивление)* — это полное (активное и реактивное) сопротивление в электрической цепи. Импеданс измеряется в Омах и является относительно постоянной величиной для кабельных систем (например, для коаксиальных кабелей, используемых в стандартах Ethernet, импеданс кабеля должен составлять 50 Ом). Для неэкранированной витой пары наиболее часто используемые значения импеданса — 100 и 120 Ом. В области высоких частот (100-200 МГц) импеданс зависит от частоты.
- *Активное сопротивление* — это сопротивление постоянному току в электрической цепи. В отличие от импеданса активное сопротивление не зависит от частоты и возрастает с увеличением длины кабеля.
- *Емкость* — это свойство металлических проводников накапливать энергию. Два электрических проводника в кабеле, разделенные диэлектриком, представляют собой конденсатор, способный накапливать заряд. Емкость является нежелательной величиной, поэтому следует стремиться к тому, чтобы она была как можно меньше (иногда применяют термин «паразитная емкость»). Высокое значение емкости в кабеле приводит к искажению сигнала и ограничивает полосу пропускания линии.
- *Уровень внешнего электромагнитного излучения или электрический шум*. Электрический шум — это нежелательное переменное напряжение в проводнике. Электрический шум бывает двух типов: фоновый и импульсный. Электрический шум можно также разделить на низко-, средне- и высокочастотный. Источниками фонового электрического шума в диапазоне до 150 кГц являются линии электропередачи, телефоны и лампы дневного света; в диапазоне от 150 кГц до 20 МГц — компьютеры, принтеры, ксероксы; в диапазоне от 20 МГц до 1 ГГц — телевизионные и радиопередатчики, микроволновые печи. Основными источниками импульсного электрического шума являются моторы, переключатели и сварочные агрегаты. Электрический шум измеряется в милливольтках.
- *Диаметр или площадь сечения проводника*. Для медных проводников достаточно употребительной является американская система AWG (American Wire Gauge), которая вводит некоторые условные типы проводников, например 22 AWG, 24 AWG, 26 AWG. Чем больше номер типа проводника, тем меньше его диаметр. В вычислительных сетях наиболее употребительными являются типы проводников, приведенные выше в качестве примеров. В европейских и международных стандартах диаметр проводника указывается в миллиметрах.

Естественно, приведенный перечень характеристик далеко не полон, причем в нем представлены только электромагнитные характеристики и его нужно дополнить механическими и конструктивными характеристиками, определяющими тип изоляции, конструкцию разъема и т. п. Помимо универсальных характеристик, таких, например, как затухание, которые применимы для всех типов кабелей, существуют характеристики, которые применимы только к определенному типу кабеля. Например, параметр *шаг скрутки проводов* используется только для характеристики витой пары, а параметр *NEXT* применим только к многопарным кабелям на основе витой пары.

Основное внимание в современных стандартах уделяется кабелям **на** основе витой пары и волоконно-оптическим кабелям.

#### Кабели на основе неэкранированной витой пары

Медный неэкранированный кабель UTP в зависимости от электрических и механических характеристик разделяется на 5 категорий (Category 1 — Category 5). Кабели категорий 1 и 2 были определены в стандарте EIA/TIA-568, но в стандарт 568A уже не вошли, как устаревшие.

Кабели *категории 1* применяются там, где требования к скорости передачи минимальны. Обычно это кабель для цифровой и аналоговой передачи голоса и низкоскоростной (до 20 Кбит/с) передачи данных. До 1983 года это был основной тип кабеля для телефонной разводки.

Кабели *категории 2* были впервые применены фирмой IBM при построении собственной кабельной системы. Главное требование к кабелям этой категории — способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц.

Кабели *категории 3* были стандартизованы в 1991 году, когда был разработан *Стандарт телекоммуникационных кабельных систем для коммерческих зданий* (EIA-568), на основе которого затем был создан действующий стандарт EIA-568A. Стандарт EIA-568 определил электрические характеристики кабелей категории 3 для частот в диапазоне до 16 МГц, поддерживающих, таким образом, высокоскоростные сетевые приложения. Кабель категории 3 предназначен как для передачи данных, так и для передачи голоса. Шаг скрутки проводов равен примерно 3 витка на 1 фут (30,5 см).

Кабели категории 3 сейчас составляют основу многих кабельных систем зданий, в которых они используются для передачи и голоса, и данных.

Кабели *категории 4* представляют собой несколько улучшенный вариант кабелей категории 3. Кабели категории 4 обязаны выдерживать тесты на частоте передачи сигнала 20 МГц и обеспечивать повышенную помехоустойчивость и низкие потери сигнала. Кабели категории 4 хорошо подходят для применения в системах с увеличенными расстояниями (до 135 метров) и в сетях Token Ring с пропускной способностью 16 Мбит/с. На практике используются редко.

Кабели *категории 5* были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов. Поэтому их характеристики определяются в диапазоне до 100 МГц. Большинство новых высокоскоростных стандартов ориентируются на использование витой пары 5 категории. На этом кабеле работают протоколы со скоростью передачи данных 100 Мбит/с — FDDI (с физическим стандартом TP-PMD), Fast Ethernet, IOVG-AnyLAN, а также более скоростные протоколы — ATM на скорости 155 Мбит/с, и Gigabit Ethernet на скорости 1000 Мбит/с (вариант Gigabit Ethernet на витой паре категории 5 стал стандартом в июне 1999 г.). Кабель категории 5 пришел на замену кабелю категории 3, и сегодня все новые кабельные системы крупных зданий строятся именно на этом типе кабеля (в сочетании с волоконно-оптическим).

Наиболее важные электромагнитные характеристики кабеля категории 5 имеют следующие значения:

- полное волновое сопротивление в диапазоне частот до 100 МГц равно 100 Ом (стандарт ISO 11801 допускает также кабель с волновым сопротивлением 120 Ом);
- величина перекрестных наводок NEXT в зависимости от частоты сигнала должна принимать значения не менее 74 дБ на частоте 150 кГц и не менее 32 дБ на частоте 100 МГц;
- затухание имеет предельные значения от 0,8 дБ (на частоте 64 кГц) до 22 дБ (на частоте 100 МГц);
- активное сопротивление не должно превышать 9,4 Ом на 100 м;
- емкость кабеля не должна превышать 5,6 нф на 100 м.

Все кабели UTP независимо от их категории выпускаются в 4-парном исполнении. Каждая из четырех пар кабеля имеет определенный цвет и шаг скрутки. Обычно две пары предназначены для передачи данных, а две — для передачи голоса.

Для соединения кабелей с оборудованием используются вилки и розетки RJ-45, представляющие 8-контактные разъемы, похожие на обычные телефонные разъемы. RJ-11.

Особое место занимают кабели *категорий 6 и 7*, которые промышленность начала выпускать сравнительно недавно. Для кабеля категории 6 характеристики определяются до частоты 200 МГц, а для кабелей категории 7 — до 600 МГц. Кабели категории 7 обязательно экранируются, причем как каждая пара, так и весь кабель в целом. Кабель категории 6 может быть как экранированным, так и неэкранированным. Основное назначение этих кабелей — поддержка высокоскоростных протоколов на отрезках кабеля большей длины, чем кабель UTP категории 5. Некоторые специалисты сомневаются в необходимости применения кабелей категории 7, так как стоимость кабельной системы при их использовании получается соизмеримой по стоимости сети с использованием волоконно-оптических кабелей, а характеристики кабелей на основе оптических волокон выше.

### Кабели на основе экранированной витой пары

Экранированная витая пара STP хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а также меньше излучает электромагнитных колебаний вовне, что защищает, в свою очередь, пользователей сетей от вредного для здоровья излучения. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку, так как требует выполнения качественного заземления. Экранированный кабель применяется только для передачи данных, а голос по нему не передают.

Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся не на категории, а на типы: Type I, Type 2, ..., Type 9.

Основным типом экранированного кабеля является кабель Type 1 стандарта IBM. Он состоит из 2-х пар скрученных проводов, экранированных проводящей оплеткой, которая заземляется. Электрические параметры кабеля Type 1 примерно соответствуют параметрам кабеля UTP категории 5. Однако волновое сопротивление кабеля Type 1 равно 150 Ом (UTP категории 5 имеет волновое сопротивление 100 Ом), поэтому простое «улучшение» кабельной проводки сети путем замены неэкранированной пары UTP на STP Type 1 невозможно. Трансиверы, рассчитанные на работу с кабелем, имеющим волновое сопротивление 100 Ом, будут плохо работать на волновое сопротивление 150 Ом. Поэтому при использовании STP Type 1 необходимы соответствующие

трансиверы. Такие трансиверы имеются в сетевых адаптерах Token Ring, так как эти сети разрабатывались для работы на экранированной витой паре. Некоторые другие стандарты также поддерживают кабель STP Type I — например, 100VG-AnyLAN, а также Fast Ethernet (хотя основным типом кабеля для Fast Ethernet является UTP категории 5). В случае если технология может использовать UTP и STP, нужно убедиться, на какой тип кабеля рассчитаны приобретаемые трансиверы. Сегодня кабель STP Type 1 включен в стандарты EIA/TIA-568A, ISO 11801 и EN50173, то есть приобрел международный статус.

Экранированные витые пары используются также в кабеле IBM Type 2, который представляет кабель Type 1 с добавленными 2 парами неэкранированного провода для передачи голоса.

Для присоединения экранированных кабелей к оборудованию используются разъемы конструкции IBM.

Не все типы кабелей стандарта IBM относятся к экранированным кабелям — некоторые определяют характеристики неэкранированного телефонного кабеля (Type 3) и оптоволоконного кабеля (Type 5).

### Коаксиальные кабели

Существует большое количество типов коаксиальных кабелей, используемых в сетях различного типа — телефонных, телевизионных и компьютерных. Ниже приводятся основные типы и характеристики этих кабелей.

- RG-8 и RG-11 — «толстый» коаксиальный кабель, разработанный для сетей Ethernet 10Base-5. Имеет волновое сопротивление 50 Ом и внешний диаметр 0,5 дюйма (около 12 мм). Этот кабель имеет достаточно толстый внутренний проводник диаметром 2,17 мм, который обеспечивает хорошие механические и электрические характеристики (затухание на частоте 10 МГц — не хуже 18 дБ/км). Зато этот кабель сложно монтировать — он плохо гнется.
- RG-58/U, RG-58 A/U и RG-58 C/U — разновидности «тонкого» коаксиального кабеля для сетей Ethernet 10Base-2. Кабель RG-58/U имеет сплошной внутренний проводник, а кабель RG-58 A/U — многожильный. Кабель RG-58 C/U проходит «военную приемку». Все эти разновидности кабеля имеют волновое сопротивление 50 Ом, но обладают худшими механическими и электрическими характеристиками по сравнению с «толстым» коаксиальным кабелем. Тонкий внутренний проводник 0,89 мм не так прочен, зато обладает гораздо большей гибкостью, удобной при монтаже. Затухание в этом типе кабеля выше, чем в «толстом» коаксиальном кабеле, что приводит к необходимости уменьшать длину кабеля для получения одинакового затухания в сегменте. Для соединения кабелей с оборудованием используется разъем типа BNC.
- RG-59 — телевизионный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом. Широко применяется в кабельном телевидении.
- RG-62 — кабель с волновым сопротивлением 93 Ома, использовался в сетях ArcNet, оборудование которых сегодня практически не выпускается. Коаксиальные кабели с волновым сопротивлением 50 Ом (то есть «тонкий» и «толстый») описаны в стандарте EIA/TIA-568. Новый стандарт EIA/TIA-568A коаксиальные кабели не описывает, как морально устаревшие.

### Волоконно-оптические кабели

Волоконно-оптические кабели состоят из центрального проводника света (сердцевины) — стеклянного волокна, окруженного другим слоем стекла — оболочкой, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за ее пределы, отражаясь от покрывающего слоя оболочки. В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника различают:

- многомодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления (рис. 4.11,а);
- многомодовое волокно с плавным изменением показателя преломления (рис. 4.11,б);
- одномодовое волокно (рис. 4.11, в)

Понятие «мода» описывает режим распространения световых лучей во внутреннем сердечнике кабеля. В *одномодовом кабеле (Single Mode Fiber, SMF)* используется центральный проводник очень малого диаметра, соизмеримого с длиной волны света — от 5 до 10 мкм. При этом практически все лучи света распространяются вдоль оптической оси световода, не отражаясь от внешнего проводника. Полоса пропускания одномодового кабеля очень широкая — до сотен гигагерц на километр. Изготовление тонких качественных волокон для одномодового кабеля представляет сложный технологический процесс, что делает одномодовый кабель достаточно дорогим. Кроме того, в волокно такого маленького диаметра достаточно сложно направить пучок света, не потеряв при этом значительную часть его энергии.

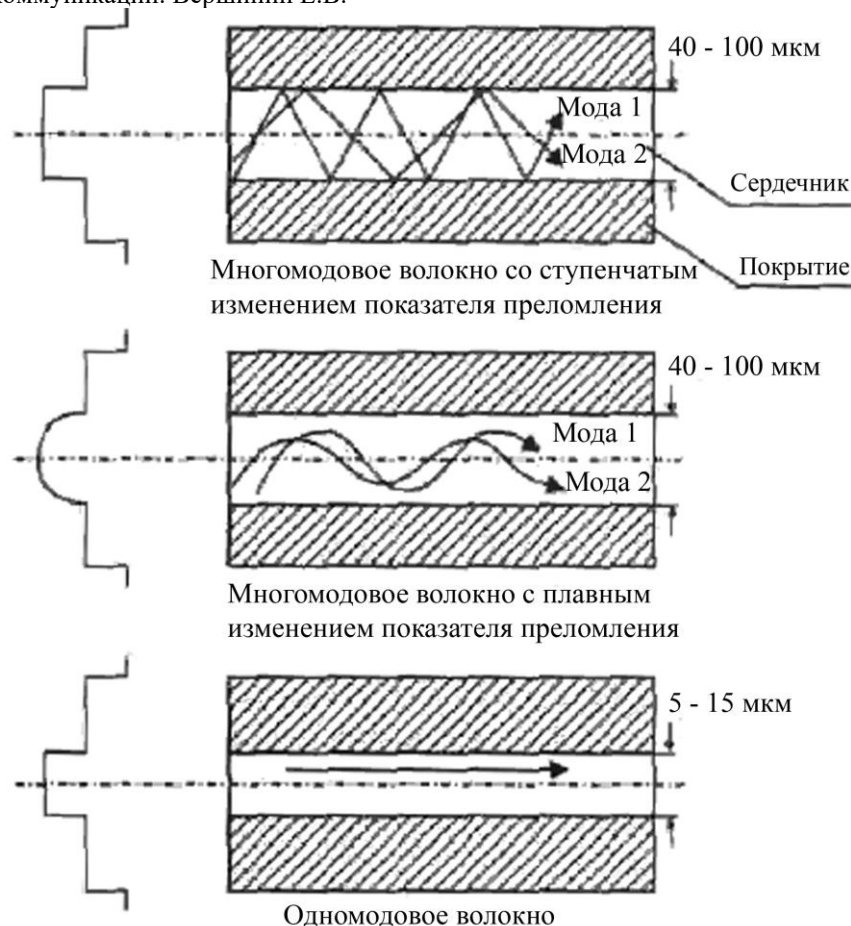


Рисунок 4.11. Типы оптического кабеля

В *многомодовых кабелях (Multi Mode Fiber, MMF)* используются более широкие внутренние сердечники, которые легче изготовить технологически. В стандартах определены два наиболее употребительных многомодовых кабеля: 62,5/125 мкм и 50/125 мкм, где 62,5 мкм или 50 мкм — это диаметр центрального проводника, а 125 мкм — диаметр внешнего проводника.

В многомодовых кабелях во внутреннем проводнике одновременно существует несколько световых лучей, отражающихся от внешнего проводника под разными углами. Угол отражения луча называется модой луча. В многомодовых кабелях с плавным изменением коэффициента преломления режим распространения каждой моды имеет более сложный характер.

Многомодовые кабели имеют более узкую полосу пропускания — от 500 до 800 МГц/км. Сужение полосы происходит из-за потерь световой энергии при отражениях, а также из-за интерференции лучей разных мод.

В качестве источников излучения света в волоконно-оптических кабелях применяются:

- светодиоды;
- полупроводниковые лазеры.

Для одномодовых кабелей применяются только полупроводниковые лазеры, так как при таком малом диаметре оптического волокна световой поток, создаваемый светодиодом, невозможно без больших потерь направить в волокно. Для многомодовых кабелей используются более дешевые светодиодные излучатели.

Для передачи информации применяется свет с длиной волны 1550 нм (1,55 мкм), 1300 нм (1,3 мкм) и 850 нм (0,85 мкм). Светодиоды могут излучать свет с длиной волны 850 нм и 1300 нм. Излучатели с длиной волны 850 нм существенно дешевле, чем излучатели с длиной волны 1300 нм, но полоса пропускания кабеля для волн 850 нм уже, например 200 МГц/км вместо 500 МГц/км.

Лазерные излучатели работают на длинах волн 1300 и 1550 нм. Быстродействие современных лазеров позволяет модулировать световой поток с частотами 10 ГГц и выше. Лазерные излучатели создают когерентный поток света, за счет чего потери в оптических волокнах становятся меньше, чем при использовании некогерентного потока светодиодов.

Использование только нескольких длин волн для передачи информации в оптических волокнах связано с особенностью их амплитудно-частотной характеристики. Именно для этих дискретных длин волн наблюдаются ярко выраженные максимумы передачи мощности сигнала, а для других

Волоконно-оптические кабели присоединяют к оборудованию разъемами MIC, ST и SC.

Волоконно-оптические кабели обладают отличными характеристиками всех типов: электромагнитными, механическими (хорошо гнутся, а в соответствующей изоляции обладают хорошей механической прочностью). Однако у них есть один серьезный недостаток — сложность соединения волокон с разъемами и между собой при необходимости наращивания длины кабеля.

Сама стоимость волоконно-оптических кабелей ненамного превышает стоимость кабелей на витой паре, однако проведение монтажных работ с оптоволоконным кабелем обходится намного дороже из-за трудоемкости операций и высокой стоимости применяемого монтажного оборудования. Так, присоединение оптического волокна к разъему требует проведения высокоточной обрезки волокна в плоскости строго перпендикулярной оси волокна, а также выполнения соединения путем сложной операции склеивания, а не обжатия, как это делается для витой пары. Выполнение же некачественных соединений сразу резко сужает полосу пропускания волоконно-оптических кабелей и линий.

## Выводы

- При построении сетей применяются линии связи, использующие различную физическую среду: телефонные и телеграфные провода, подвешенные в воздухе, медные коаксиальные кабели, медные витые пары, волоконно-оптические кабели, радиоволны.
- Линии связи могут использовать, кроме кабеля, промежуточную аппаратуру, прозрачную для пользователей. Промежуточная аппаратура выполняет две основные функции: усиливает сигналы и обеспечивает постоянную коммутацию между парой пользователей линии.
- В зависимости от типа промежуточной аппаратуры линии связи делятся на аналоговые и цифровые.
- Для характеристики способности линии передавать сигналы произвольной формы без значительных искажений применяется ряд показателей, использующих в качестве тестового сигнала синусоиды различной частоты. К этим показателям относятся: амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание сигнала на определенной частоте.
- В компьютерных сетях применяются кабели, удовлетворяющие определенным стандартам. Современные стандарты определяют характеристики не отдельного кабеля, а полного набора элементов, необходимого для создания кабельного соединения, например шнура от рабочей станции до розетки, самой розетки, основного кабеля, жесткого кроссового соединения и шнура до концентратора. Сегодня наиболее употребительными стандартами являются: американский стандарт EIA/TIA-568A, международный стандарт ISO/IEC 11801, европейский стандарт EN50173, а также фирменный стандарт компании IBM.
- Стандарты определены для четырех типов кабеля: на основе неэкранированной витой пары, на основе экранированной витой пары, коаксиального и волоконно-оптического кабелей.
- Кабель на основе неэкранированной витой пары в зависимости от электрических и механических характеристик разделяется на 5 категорий. Кабели *категории 1* применяются там, где требования к скорости передачи минимальны. Главная особенность кабелей *категории 2* — способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц. Кабели *категории 3* широко распространены и предназначены как для передачи данных, так и для передачи голоса. Кабели *категории 4* представляют собой несколько улучшенный вариант кабелей категории 3 и на практике используются редко. Кабели *категории 5* были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов FDDI, Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, ATM и Gigabit Ethernet.
- Кабель на основе экранированной витой пары хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а пользователей сетей — от вредного для здоровья излучения. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку. Экранированный кабель применяется только для передачи данных. Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся на типы: Type I, Type 2,..., Type 9, из которых основным является кабель Type 1.
- Коаксиальные кабели существуют в большом количестве вариантов: «толстый» коаксиальный кабель, различные разновидности «тонкого» коаксиального кабеля, которые обладают худшими механическими и электрическими характеристиками по сравнению с «толстым» коаксиальным кабелем, зато за счет своей гибкости более удобны при монтаже, сюда же относится телевизионный кабель.
- Волоконно-оптические кабели обладают отличными электромагнитными и механическими характеристиками, недостаток их состоит в сложности и высокой стоимости монтажных работ.