

Глава 3

ФИЗИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ

В результате освоения главы 3 (с учетом выполнения лабораторной работы 1) студент должен:

знать

- основные типы сред передачи данных, их характеристики, область их применения;
- типы модуляции аналоговых сигналов;

уметь

- определять элементы структурированной кабельной системы организации, ограничения их применения;

- строить временные диаграммы информационных сигналов;

владеть

- способностью анализировать структурированную кабельную систему организации, определять ее узкие места;
- основными методами кодирования сигналов.

Глава посвящена подробному изучению физического уровня модели взаимодействия открытых систем и среды передачи данных. В ней рассматриваются основные элементы и принципы построения структурированной кабельной системы организации, приводятся основные типы модуляции сигналов и изучаются базовые механизмы кодирования и декодирования двоичных данных в физическом носителе. В основу главы легли материалы из источников [1; 2; 13].

3.1. Среда передачи

Напомним, что *физический уровень* модели взаимодействия открытых систем отвечает за передачу потока бит между логическими объектами канального уровня, используя физические соединения. На этом уровне определяется спецификация соединителей (но не сама среда передачи), методы кодирования и декодирования двоичных данных в физическом носителе, т.е. согласно принципам иерархической структуры модели OSI сам передаваемый поток не должен зависеть от типа среды передачи.

Среда передачи может быть *кабельной* или *беспроводной*. В первом случае это может быть коаксиальный кабель (толстый или тонкий), витая пара (неэкранированная или экранированная¹) или оптоволокно (одномодовое, многомодовое).

¹ Экран представляет собой или токопроводящую фольгу, которая блокирует высокочастотное электромагнитное излучение, или переплетенную медную проволоку, которая хорошо защищает от низкочастотных наводок.

Во втором случае в качестве среды передачи выступают беспроводные радиоканалы ДВ-, СВ-, КВ-, УКВ-частот (ретрансляторы не применяются), радиорелейная, спутниковая и сотовая связь.

Выбор среды определяется требуемой скоростью, расстоянием, надежностью, стоимостью.

Основные характеристики среды, оказывающие влияние на передачу сигнала:

- помехи (шумы) — любой посторонний сигнал, смешивающийся с основным сигналом приема/передачи и искажающий его;
- скорость передачи информации — количество передаваемых бит в единицу времени;
- ширина полосы пропускания — диапазон частот передатчика, в пределах которого обеспечивается передача сигнала без существенного искажения его формы (выражается в периодах в секунду, или герцах, Гц);
- пропускная способность канала — максимально возможная при определенных условиях скорость передачи данных по каналу связи;
- уровень ошибок — частота появления ошибок (под ошибкой понимается прием 1 вместо переданного 0, и наоборот).

В настоящее время среда передачи на основе медного кабеля достаточно широко используется в локальных сетях и в сетях доступа. Коаксиальные кабели применяются, главным образом, в кабельном телевидении. В локальных сетях в основном применяются витая пара и беспроводные технологии. В сетях наряду с медными кабелями широко используются волоконно-оптические кабели, основным достоинством которых является отсутствие перекрестных и электромагнитных помех от внешних источников, что позволяет передавать сигналы с большей скоростью и на большее расстояние по сравнению с медным кабелем.

3.1.1. Коаксиальный кабель

В современных компьютерных сетях коаксиальный кабель не используется в качестве среды передачи по причине высокой стоимости и возникающих при его эксплуатации проблем. Тем не менее в качестве исторической справки в данном разделе дано краткое представление о нем.

Коаксиальный кабель представляет собой электрический кабель, который состоит из двух цилиндрических проводников — внутреннего и внешнего. Внутренний медный проводник располагается в центре и изолирован пластиковым материалом. Поверх изоляционного материала располагается медная сетка или алюминиевая фольга, покрытая изолирующей внешней оболочкой. Такая конструкция позволяет успешно бороться с помехами. Однако монтаж коаксиального кабеля сравнительно сложен.

Сети, использующие толстый коаксиальный кабель, имеют определенные ограничения:

- расстояние между узлами сети должно быть кратно 2,5 м;
- в одном сегменте может быть не более 100 узлов;
- максимальная длина сегмента не должна превышать 500 м;
- сеть не должна иметь более пяти сегментов и четырех повторителей, причем только к трем сегментам могут подключаться оконечные устройства;
- скорость передачи ограничена 10 Мбит/с;

- повреждение кабеля или соединения в любом сегменте приводит к неработоспособности сети;

• низкая устойчивость к статическому напряжению и грозовым наводкам.

Сети, использующие тонкий коаксиальный кабель, также имеют определенные ограничения:

- 1) расстояние между устройствами не должно быть более 0,5 м;
- 2) к одному сегменту не должно быть подключено более 30 узлов;
- 3) максимальная длина сегмента ограничена 185 м;
- 4) максимально число оконечных устройств пользователей в локальной сети — 90;
- 5) для подключения сетевых адаптеров к кабелю используются специальные соединители — Т-коннекторы (T-Connector);
- 6) скорость передачи ограничена 10 Мбит/с;
- 7) повреждение кабеля или соединения в любом сегменте приводит к неработоспособности сети;
- 8) низкая устойчивость к статическому напряжению и грозовым наводкам.

3.1.2. Витая пара

В локальных сетях основной средой передачи является кабель на основе витой пары, представляющей собой одну или несколько изолированных пар проводников, скрученных между собой. Скручивание пар проводов обеспечивает уменьшение взаимных наводок во время передачи сигнала (подавление перекрестных помех).

Как было сказано ранее, витая пара может быть защищена экраном. Экран из плетеной медной проволоки обеспечивает защиту от низкочастотных наводок, а из токопроводящей фольги (пленки) — позволяет блокировать высокочастотное электромагнитное излучение.

Витая пара характеризуется *категорией* (*Category*) — частотным диапазоном (табл. 3.1), в котором применение типа кабеля эффективно и от которого зависит используемый вид линии связи. Категории определены в стандарте EIA/TIA 568A.

Таблица 3.1

Классификация витой пары по категориям

Категория	Полоса частот, МГц	Число пар	Тип сети	Скорость
1	0,1	1	Аналоговая телефонная сеть	—
2	1	2	ISDN, Token Ring, ARCNet	до 4 Мбит/с
3	16	2 или 4	Ethernet, Token Ring	10 Мбит/с (10BASE-T) или 100 Мбит/с (100BASE-T4)
4	20	4	Token Ring	16 Мбит/с по одной паре (10BASE-T, 100BASE-T4)

Окончание табл. 3.1

Категория	Полоса частот, МГц	Число пар	Тип сети	Скорость
5	100	4	Fast Ethernet	до 100 Мбит/с (100BASE-TX – используются 2 пары)
5e	125	4	Gigabit Ethernet	до 1 Гбит/с (1000BASE-TX – используются 4 пары)
6	200 (250)	4	Fast Ethernet, Gigabit Ethernet	до 10 Гбит/с
6a	500	4	Gigabit Ethernet	до 10 Гбит/с
7	600–700	4	—	до 10 Гбит/с
7a	1000–1200	4	—	40–100 Гбит/с

Другие характеристики витой пары, влияющие на качество передаваемого сигнала: затухание, величина перекрестных наводок, сопротивление, емкость.

Виды витой пары:

- неэкранированная (Unshielded Twisted Pair, UTP) – нет защитного экрана;
- фольгированная (Foiled Twisted Pair, FTP или F/UTP) – имеет общий экран из фольги;
- защищенная (Shielded Twisted Pair, STP) – имеет экран для каждой пары проводников и общий сеточный экран;
- фольгированная экранированная (Screened Foiled Twisted Pair, S/FTP или SSTP) – имеет экран для каждой пары проводников и общий внешний экран из медной оплетки;
- незащищенный кабель с экранированием (Unshielded Screened Twisted Pair, U/STP) – каждая пара имеет защиту из фольги, но нет общего экрана;
- экранированная с защитой (Screened Foiled Unshielded Twisted Pair, SF/UTP или SFTP) – имеется два внешних экрана (из медной сетки и фольги) с дренажным проводом между ними.

3.1.3. Оптоволокно

Волоконно-оптический кабель состоит нескольких оптоволокон, окруженных общей защитной оболочкой. Оптоволокно представляет собой двухслойный цилиндр, состоящий из сердцевины (оптического световода) и оболочки, которые имеют разную оптическую плотность (показатель преломления): чем больше оптическая плотность материала, тем больше замедляется свет по сравнению со скоростью в вакууме. В сердцевине значение показателя преломления выше, чем в оболочке. Передача сигнала по световоду осуществляется благодаря свойствам внутреннего отражения,

которое обеспечивается как раз неравенством показателей преломления сердцевины и оболочки.

В качестве источника распространения света по оптическим кабелям выступает светодиод (или полупроводниковый лазер). Двухуровневое изменение интенсивности света (0–1) обеспечивает кодирование информации. Принимающий детектор на противоположном от источника конце кабеля преобразует световые сигналы в электрические.

Расстояние и скорость передачи данных ограничиваются как дисперсией, так и затуханием сигнала в волокне. Источники света генерируют спектр частот (длин волн), приводя к возникновению хроматической дисперсии из-за того, что волны света разной длины проходят через оптическое волокно с разной скоростью (нелинейность фазо-частотной характеристики оптоволокна).

Составляющие луча света входят в оптическое волокно под разными углами, отражаясь от границы раздела сердцевины и оболочки также под разными углами. При этом возникает интерференция и частичное взаимное подавление составляющих луча. Оставшиеся составляющие части луча света формируют так называемые *моды*.

Различают *одномодовое* (SingleMode, SM) и *многомодовое* (Multi-Mode, MM) оптоволокно, которые отличаются принципом распространения светового сигнала внутри волокна.

Диаметр сердечника многомодового волокна почти на два порядка больше, чем длина световой волны (обычно 50 или 62,5 мкм), т.е. свет распространяется в волокне по нескольким независимым путям (модам), причем разные моды имеют разную длину. Из-за этого появляется межмодовая дисперсия передаваемого импульсного сигнала, снижая тем самым скорость передачи данных. Передаваемые импульсы накладываются друг на друга, приводя к уменьшению расстояния, на которое можно передать данные. Для снижения влияния наличия нескольких мод на величину дисперсии при большом диаметре сердцевины производителями предлагается специальное многомодовое оптоволокно с градиентным показателем преломления.

Меньший диаметр сердцевины (8–10 мкм) в одномодовом волокне позволяет распространяться только одной моде луча света по сердцевине вдоль оси оптоволокна. В таком кабеле скорость передачи выше, чем в многомодовом оптоволокне, больше расстояние, на которое могут быть переданы данные, отсутствует межмодовая дисперсия.

Расстояние передачи сигналов в локальных сетях по одномодовому волокну, определенное стандартом Gigabit Ethernet, составляет до 5 км, а в стандарте 10Gigabit Ethernet достигает 40 км. В линейных трактах телекоммуникационных систем на длине волны 1550 нм реализована передача данных на расстояние до 100 км без усиления и регенерации сигналов.

Типы одномодовых волокон:

- ступенчатое с несмещенной дисперсией (Step Index Single Mode Fiber, SMF или SM) – рекомендация ITU-T G.652, используется в большинстве систем оптической связи;

- со смещенной дисперсией (Dispersion Shifted Single Mode Fiber, DSF или DS) – рекомендация ITU-T G.653;
- с ненулевой смещенной дисперсией (Non-Zero Dispersion Shifted Single Mode Fiber, NZDSF, NZDS или NZ) – рекомендация ITU-T G.655.

Для приема передаваемых по оптоволокну сигналов используют фотодиоды, которые работают на длинах волн 850, 1310 или 1550 нм, преобразуя принятые оптические импульсы в электрические.

Оптоволокно – традиционная физическая среда передачи данных по магистральным сетям. Способы его применения классифицируют по названию точки сопряжения с потребителем и объединяют название типа FTTx – оптоволокно до точки «х», например:

- до жилого дома (Fiber To The Home, FTTH);
- до здания (Fiber To The Building, FTTB);
- до распределительного шкафа группы зданий (Fiber To The Curb, FTTC);
- до некоторого выносного модуля (Fiber To The Remote, FTTR);
- до сетевого узла (Fiber to the Node, FTTN).

Сравнение некоторых характеристик одномодовых и многомодовых технологий приведено в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Сравнение одномодовых и многомодовых технологий

Параметры	Одномодовые	Многомодовые
Используемые длины волн	1,3 и 1,5 мкм	0,85 мкм, реже 1,3 мкм
Затухание	0,4–0,5 дБ/км	1,0–3,0 дБ/км
Тип передатчика	лазер, светодиод	светодиод
Толщина сердечника	8 мкм	50 или 62,5 мкм
Дальность передачи Fast Ethernet	около 20 км	до 2 км
Дальность передачи специально разработанных устройств Fast Ethernet	более 100 км	до 5 км
Возможная скорость передачи	10 Гбит и более	до 1 Гбит на ограниченной длине
Область применения	телефония	локальные сети

3.1.4. Структурированная кабельная система

В основе функционирования любой телекоммуникационной сети лежит ее кабельная система. Под кабельной системой понимается система из кабелей и связанных с ним компонент. Компонентом кабельной системы является пассивное коммутационное оборудование, необходимое для соединения кабеля (телекоммуникационные розетки, кросс-панели и т.д.).

От качества кабельной системы сети напрямую зависят ее надежность и расширяемость в целом. Для обеспечения эффективности эксплуатации кабельных коммуникаций сети применяют принципы организации структурированной кабельной системы.

Структурированная кабельная система (СКС) – это иерархическая кабельная система здания или группы зданий, разделенная на стандартизованные структурные подсистемы. Фактически СКС может состоять из множества кабелей, разъемов, кросс-панелей, розеток, модульных гнезд, монтажных шкафов, коробов и пр. СКС включает в себя разные типы кабеля: сетевые, телефонные, кабели систем видеонаблюдения, сигнализации и др. Все перечисленные элементы интегрируются в единую систему и эксплуатируются согласно определенным правилам. Состав кабельной системы зависит от инфраструктуры используемых организацией информационных технологий, которая определяет содержание конкретного проекта построения СКС в соответствии с пожеланиями конечного пользователя и не зависит от применяемого в дальнейшем активного оборудования.

Важный принцип организации СКС – избыточность. Число элементов пассивного оборудования, устанавливаемого при прокладке кабельной системы, обычно существенно превышает необходимые в данный момент потребности заказчика. Такой подход позволяет в дальнейшем масштабировать нагрузку и произвести реконфигурацию сети.

Структурированная кабельная система имеет четкую иерархическую структуру. В соответствии с международным стандартом ISO 11801 СКС имеет следующие основные подсистемы:

- *рабочего места* – набор соединительных кабелей и разъемов оборудования пользователя, а также передающие устройства для его подключения к сети через информационные розетки;
- *горизонтальную* – совокупность коммутационного оборудования и кабельной системы этажа здания, ведущей к информационным розеткам рабочих мест пользователей;
- *вертикальную* (или внутренняя магистраль здания) – совокупность коммутационного оборудования и межэтажной кабельной системы здания;
- *административная* – физическое соединение линий подсистем, подключенных к коммутационным панелям здания;
- *подсистема оборудования* – активное сетевое (коммутационное) оборудование и элементы его подключения к коммутационным панелям здания;
- *внешнюю* (или внешняя магистраль здания) – совокупность коммутационного оборудования и внешних магистральных кабелей между кроссовой внешних магистралей и кроссовыми зданий (т.е. с помощью этой подсистемы здания, расположенные рядом, связываются в единую сеть).

В горизонтальной и вертикальной подсистемах СКС используется топология *звезда*. В горизонтальной подсистеме предпочтительно использовать кабели из неэкранированной витой пары (UTP) категории 5 с розетками, разъемами и патч-панелями, удовлетворяющими той же категории. В вертикальных подсистемах рекомендуется использовать оптоволоконные кабели или экранированную витую пару (STP). Во внешней подсистеме между зданиями целесообразно использовать оптоволокно, так как оно обеспечивает наибольшую допустимую длину сегмента и пропускную способность.

Для соединения телекоммуникационного оборудования используется спецификация физического интерфейса *RJ¹* (*Registered Jack*) (FCC, Part 68, Subpart F, Section 68.502²). Стандартные варианты этого разъема называются RJ-11, RJ-14, RJ-25, RJ-45 и т.д. Разъемы RJ (рис. 3.1, 3.2) принадлежат к семейству модульных разъемов, за исключением RJ-21.

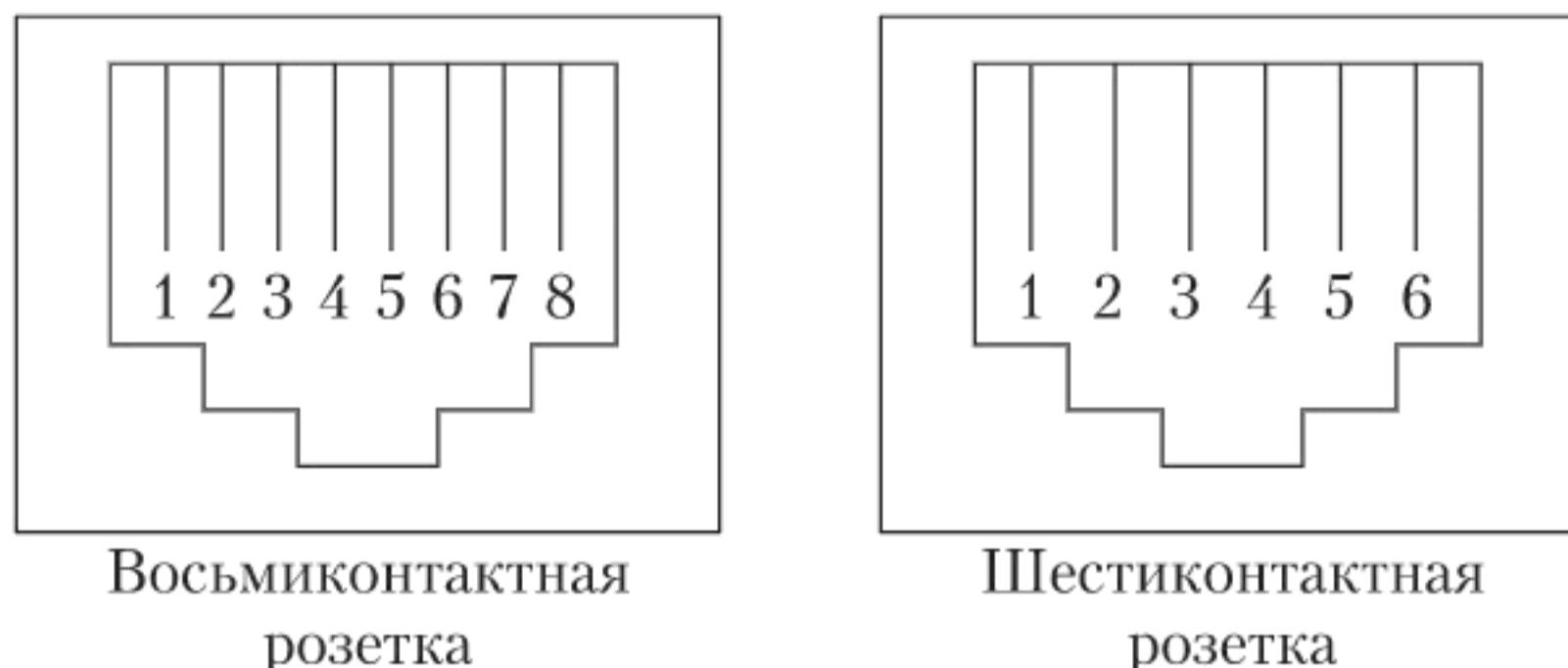


Рис. 3.1. Модульные розетки [1]

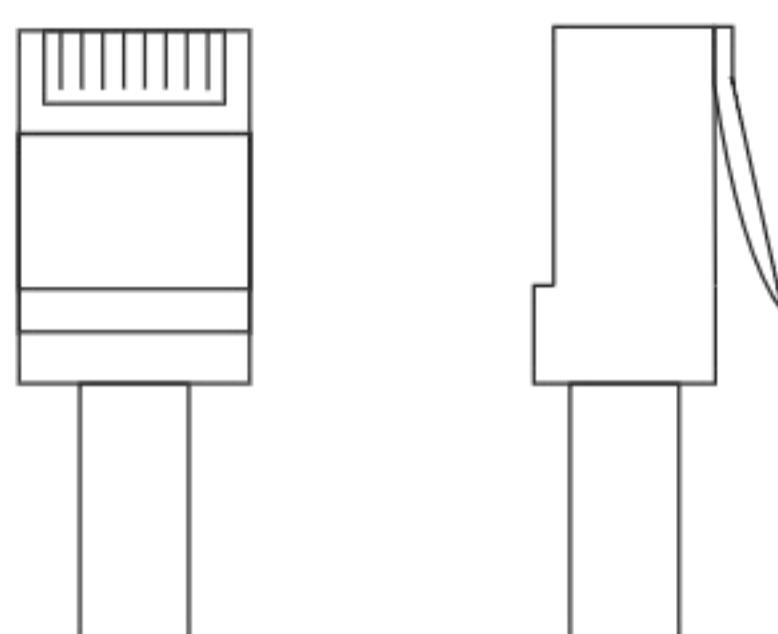


Рис. 3.2. Общий вид разъема RJ-45 [1]

Термин *RJ-45* ошибочно употребляется для обозначения разъема 8P8C, используемого в компьютерных сетях. На самом деле настоящий RJ-45 физически несовместим с 8P8C (8 контактов, 8 проводников), так как использует схему 8P2C (8 контактов, 2 проводника) с ключом. Ошибочное употребление термина RJ-45 вызвано, вероятно, тем, что настоящий RJ-45 не получил широкого применения, а также их внешним сходством.

Для соединения оборудования в компьютерных и телефонных сетях чаще всего применяются восьмиконтактные модульные разъемы RJ-45/8P8C (компьютерные), шестиконтактные RJ-12/6P6C (телефонные) и четырехконтактные RJ-11/6P4C (телефонные).

Четырехконтактный модульный разъем RJ-11 используется в телефонии для соединения телефонных аппаратов с телефонными трубками. Шестиконтактный модульный разъем RJ-12 – в основном для соединения телефонных аппаратов с розеткой. Разъемы RJ-11 и RJ-12 применяются

¹ С этими стандартами связана большая путаница. Шестиместный разъем, часто применяемый в телефонии, может быть использован как RJ-11, RJ-14 или даже RJ-25, которые по сути являются названиями стандартов, использующих этот физический разъем. RJ-11 предполагает двужильное соединение, в то время как RJ-14 – четырехжильное, а RJ-25 использует все шесть жил.

² FCC, Part 68, Subpart F, Section 68.502. URL: <https://www.fcc.gov/encyclopedia/part-68>.

с плоским 1-3-парным телефонным кабелем. При подключении шестиконтактного разъема RJ-12 к аналоговому телефонному аппарату используются только два центральных контакта.

Использование контактов модульных соединителей, а также цветовая маркировка проводов стандартизованы. Каждая пара представляется двумя проводами, обозначаемыми Tip и Ring (условно — прямой и обратный провода), для которых определены цвет изоляции и номер контакта разъема. Для обозначения пар кабеля используется цветовая маркировка (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Цветовая маркировка витой пары

№ пары	Цвет: основной/полоски
1	синий/бело-синий
2	оранжевый/бело-оранжевый
3	зеленый/бело-зеленый
4	коричневый/бело-коричневый

Для разводки четырехпарного кабеля UTP в разъемах RJ-45 стандартом EIA/TIA-568 приняты две основные схемы распределения пар проводов по контактам: EIA/TIA-T568A и EIA/TIA-T568B (рис. 3.3, табл. 3.4).

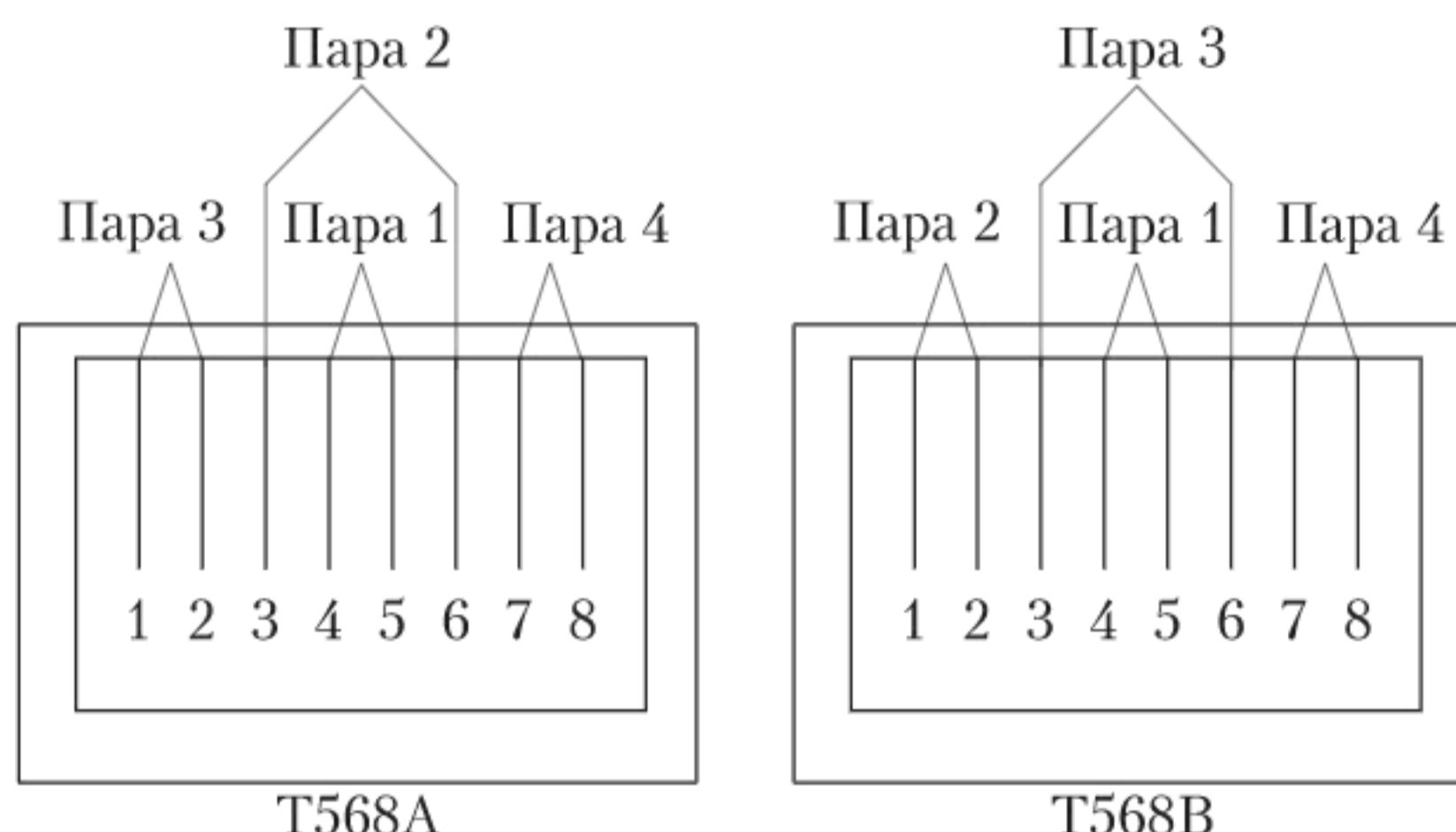


Рис. 3.3. Разводка контактов по схемам EIA/TIA-T568A и EIA/TIA-T568B [1]

Таблица 3.4

Разводка контактов по схемам EIA/TIA-T568A и EIA/TIA-T568B

EIA/TIA-T568A			EIA/TIA-T568B		
№	Цвет	Пара	№	Цвет	Пара
1	бело-зеленый	3 (Tip)	1	бело-оранжевый	2 (Tip)
2	зеленый	3 (Ring)	2	оранжевый	2 (Ring)
3	бело-оранжевый	2 (Tip)	3	бело-зеленый	3 (Tip)
4	синий	1 (Ring)	4	синий	1 (Ring)

EIA/TIA-T568A			EIA/TIA-T568B		
№	Цвет	Пара	№	Цвет	Пара
5	бело-синий	1 (Tip)	5	бело-синий	1 (Tip)
6	оранжевый	2 (Ring)	6	зеленый	3 (Ring)
7	бело-коричневый	4 (Tip)	7	бело-коричневый	4 (Tip)
8	коричневый	4 (Ring)	8	коричневый	4 (Ring)

Для соединения двух компьютеров (устройств) витой парой напрямую, без применения каких-либо дополнительных (промежуточных) устройств, служит «перекрестный» (кроссовый) кабель. Концы такого кабеля обжимаются по разным стандартам (один EIA/TIA-568A, другой EIA/TIA-568B) (рис. 3.4).

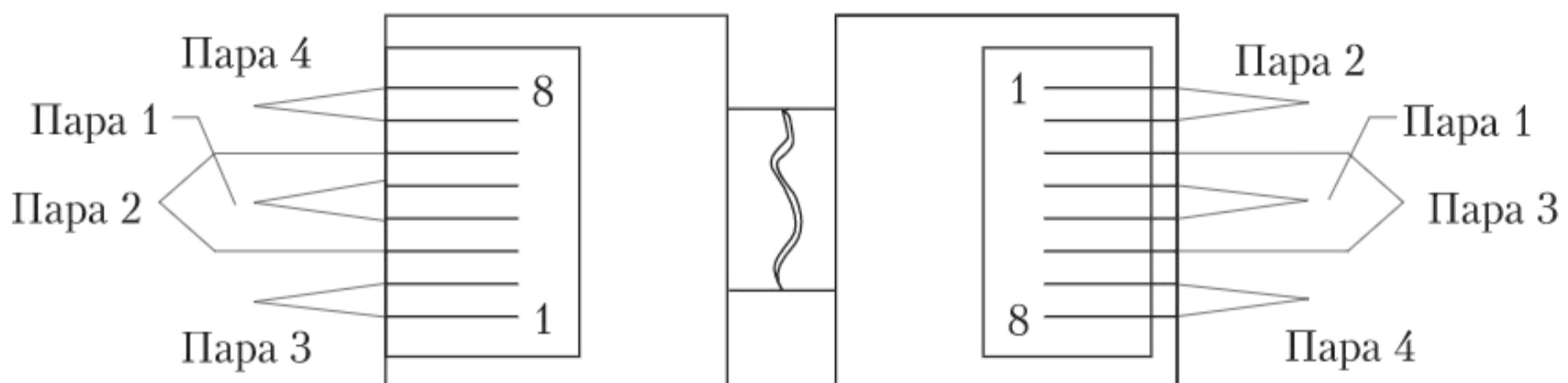


Рис. 3.4. Разводка кроссового кабеля [1]

Для подключения оптических кабелей применяются следующие разъемы:

- FC коннектор (рис. 3.5, а) — фиксируется накидной гайкой, используется для оконцовки одномодового оптоволоконного кабеля при подключении оптического оборудования к магистральным линиям;
- ST коннектор (рис. 3.5, б) — используется для оконцовки многомодового оптоволоконного кабеля при подключении оптического оборудования к магистральным линиям, имеет гайку типа байонет для фиксации на розетке;
- SC коннектор (рис. 3.5, в) — имеет прямоугольно-угловатую форму, фиксируется защелкой, используется для оконцовки как одномодового, так и многомодового оптоволоконного кабеля внутри помещения;
- MT-RJ коннектор — одним разъемом соединяются два волокна, в розетке фиксируется защелкой рычажного типа, используется для внутренней кросс-коммутации;
- LC коннектор — миниатюрный разъем с диаметром керамического наконечника 1,25 мм и механизмом фиксации типа RJ-45, используется для коммутации многомодовых соединений внутри помещения.

Преимущества структурированной кабельной системы:

- длительный срок эксплуатации без модернизации (10–15 лет);
- надежность;
- возможность наращивания мощности и легкость расширения сети без изменения существующей сети;

- универсальная среда передачи (единая кабельная система для передачи данных, голоса и видеосигнала).

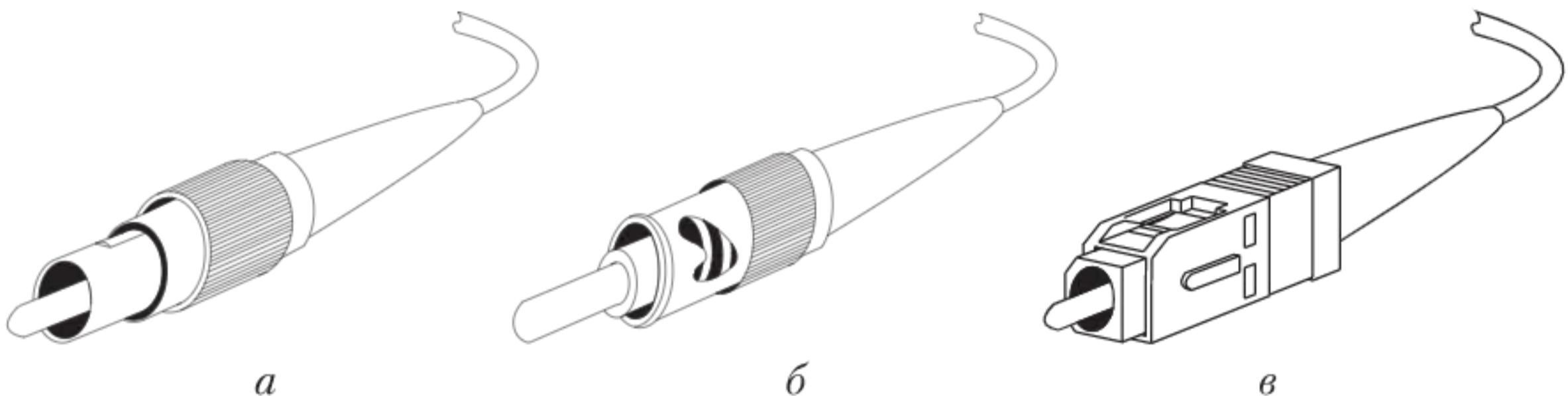


Рис. 3.5. Оптические разъемы:

а – оптический разъем FC; б – оптический разъем ST; в – оптический разъем SC

Таким образом, *структурированная кабельная система* является современным сетевым решением, обеспечивающимздание надежными и многофункциональными коммуникациями на довольно длительный срок.

3.2. Активное сетевое оборудование

Активное оборудование предназначено для выполнения всех необходимых действий, связанных с передачей данных. Активные устройства формируют, преобразуют, коммутируют, а также принимают сигнал с использованием внешнего (не передающегося в составе сигнала) источника энергии. Активные устройства можно, с некоторой долей условности, разделить на рабочие станции, повторители, концентраторы, коммутаторы, мосты и маршрутизаторы.

Повторитель (Repeater) представляет собой устройство для физического соединения двух или более сегментов кабеля локальной сети с целью увеличения общей длины сети.

В сетях на витой паре и оптоволокне повторитель является самым дешевым вариантом связующего устройства и чаще называется концентратором.

Концентратор (Hub) представляет собой многопортовый повторитель с автосегментацией. Каждый порт имеет собственный трансивер — приемник, передатчик и детектор коллизий. Получив сигнал от одной из подключенных к нему станций, концентратор транслирует его на все свои активные порты. Если на каком-либо из портов обнаружена неисправность, то этот порт автоматически отключается (сегментируется), а после ее устранения снова становится активным.

Повторитель работает на уровне физических сигналов — закодированных битовых цепочек, анализ кадров не выполняется.

Сетевой коммутатор (Switch) — устройство, предназначенное для соединения нескольких узлов компьютерной сети в пределах одного сегмента. Коммутатор хранит в памяти таблицу МАС-адресов, в которой указывается соответствие МАС-адреса узла порту коммутатора. Коммутатор передает данные непосредственно получателю.

Мост (Bridge) делит разделяемую среду передачи сети на логические сегменты, передавая информацию из одного сегмента в другой только в том случае, если адрес узла назначения принадлежит другой подсети. Таким образом, трафик одной подсети изолируется от трафика другой подсети, что увеличивает пропускную способность сети в целом и уменьшает возможность несанкционированного доступа в подсеть.

Маршрутизатор (Router) осуществляет связь разных типов сетей и обеспечивает доступ к глобальной сети, управляет трафиком на основе протокола сетевого уровня. Подобно повторителям, маршрутизаторы восстанавливают уровень и форму передаваемого сигнала. Так же, как и мосты, они не передают адресату коллизии или поврежденные кадры и из-за буферизации имеют задержку при передаче. Но в отличие от повторителей, мостов и коммутаторов, маршрутизаторы переформировывают передаваемые кадры Ethernet, а также могут поддерживать такие нетиповые функции, как подсчет трафика, авторизация пользователей, ведение статистики и т.п.

Шлюз (Gateway) соединяет отдельные сегменты сети с разными типами системного и прикладного программного обеспечения.

Коммутаторы 3-го уровня (маршрутизирующие коммутаторы или коммутирующие маршрутизаторы) строятся на распределенной архитектуре — каждый порт имеет собственный специализированный процессор, отвечающий за анализ кадров и пакетов для определения их точки назначения, и общий управляющий процессор. Кадры, приходящие в порт и адресуемые (MAC-адресами) узлам той же подсети, но подключенным к другим портам, коммутируются (IP-заголовок не используется и не модифицируется). Кадры, приходящие на MAC-адрес порта, маршрутизируются — порт назначения определяется по IP-адресу назначения. Отличие от комбинации отдельного коммутатора с обычным маршрутизатором заключается в масштабировании пропускной способности каждой подсети: чем больше портов в нее входит, тем выше пропускная способность. Кроме того, и при коммутации может использоваться информация 3-го уровня (например, для фильтрации или приоритизации). Коммутаторы 3-го уровня в основном предназначены для организации связи подсетей в локальных сетях, и интерфейсов глобальных сетей они могут и не иметь.

Оптический медиаконвертер представляет собой устройство преобразования передаваемого сигнала из оптического (распространяемого по оптоволокну) в электрический (распространяемый по витой паре) и обратно. Медиаконвертеры используются в технологиях Fast Ethernet и Gigabit Ethernet, позволяют передавать данные со скоростью 10/100 и 1000 Мбит/с на расстояние от 2 до 120 км.

3.3. Модуляция сигналов

Модуляция — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения).

Несущая — высокочастотное колебание, выполняющее роль переносчика информации, заложенной в управляющем (модулирующем) сигнале.

В качестве несущего колебания наиболее часто используют *гармоническое колебание*. В зависимости от того, какой из параметров несущего колебания — амплитуда, частота или начальная фаза несущего колебания — изменяется по закону передаваемого сообщения, различают виды модуляции, соответственно, *амплитудная, частотная или фазовая*.

Сигнал, получаемый в процессе модуляции, называют *модулированным колебанием*, или радиосигналом.

Модуляция аналогового сигнала требуется в случае передачи низкочастотного (например, голосового) сигнала через канал высокочастотной области спектра — амплитуда высокочастотного несущего сигнала изменяется (модулируется) в соответствии с изменением низкочастотного сигнала.

Методы преобразования передаваемого сигнала делятся на временные и частотные. Эквивалентность таких частотно-временных изменений обеспечивается однозначно через преобразование Фурье.

Преобразование Фурье — операция, сопоставляющая функции вещественной переменной другую функцию вещественной переменной, которая описывает коэффициенты («амплитуды») при разложении исходной функции на элементарные составляющие — гармонические колебания с разными частотами.

Для функции $f(x) \in R$ преобразование Фурье имеет вид

$$\hat{f}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-ix\omega} dx.$$

Обратное преобразование Фурье функции $\hat{f}(\omega)$

$$F^{-1}(\hat{f}(\omega)) = f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{f}(\omega) e^{ix\omega} dx,$$

где $\hat{f}(\omega)$ — *спектральная плотность* или просто *спектр сигнала*.

Спектр некоторого периодического сигнала представляет собой дискретное множество гармонических колебаний, в сумме дающее исходный сигнал. Разложение некоторого сигнала на составляющие называется *спектральным*. График зависимости параметров сигнала от частоты называется *спектральной диаграммой*. *Спектр сигнала* — совокупность простых составляющих сигнала с определенными амплитудами, частотами и начальными фазами.

Изменение формы сигнала приводит к изменению его спектра (и наоборот).

Теорема Котельникова (теорема Найквиста — Шеннона, или теорема отсчетов) гласит, что если аналоговый сигнал $x(t)$ имеет конечный (ограниченный по ширине) спектр, то он может быть однозначно восстановлен без потерь по своим отсчетам, взятым с частотой, строго большей удвоенной верхней частоты f_c : $f > 2f_c$.

Для преобразования цифровых данных в аналоговый сигнал используются следующие основные технологии модуляции (или кодирования):

- амплитудная (Amplitude-Shift Keying, ASK);
- частотная (Frequency-Shift Keying, FSK);
- фазовая (Phase-Shift Keying, PSK).

3.3.1. Амплитудная модуляция

В этом типе модуляции представлению нуля или единицы соответствует наличие или отсутствие несущей частоты при постоянной амплитуде. Результирующий сигнал при этом имеет вид

$$s(t) = \begin{cases} A\cos(2\pi f_c t), & \text{кодирует двоичную 1,} \\ 0, & \text{кодирует двоичный 0,} \end{cases}$$

где $A\cos(2\pi f_c t)$ — несущий сигнал; A — амплитуда; f_c — несущая частота; t — время.

3.3.2. Частотная модуляция

Частотная модуляция бывает:

- бинарной (Binary FSK, BFSK),
- многочастотной (Multiple FSK, MFSK).

В первом случае два двоичных числа модулируются сигналами двух различных частот, расположенных около несущей. Результирующий сигнал при этом имеет вид

$$s(t) = \begin{cases} A\cos(2\pi f_1 t), \\ A\cos(2\pi f_2 t), \end{cases}$$

где f_1 и f_2 — частоты, смещенные от несущей частоты f_c на величины, равные по модулю, но противоположные по знаку.

Во втором случае за один раз пересыпается более одного бита за счет использования нескольких частот для модуляции сигнала. Сигнал при этом имеет вид

$$\begin{aligned} s_i &= A\cos(2\pi f_i t), \quad 1 \ll i \ll M, \\ f_i &= f_c + (2i - 1 - M)f_d, \quad M = 2^L, \end{aligned}$$

где $A\cos(2\pi f_i t)$ — несущий сигнал; f_d — разностная частота; M — число различных сигнальных посылок; L — количество бит, переданных за один раз.

Бинарная частотная модуляция менее восприимчива к ошибкам, чем амплитудная модуляция. Многочастотная модуляция эффективнее бинарной, но и более подвержена ошибкам.

3.3.3. Фазовая модуляция

При фазовой модуляции для представления данных выполняется смещение несущего сигнала.

Фазовая модуляция бывает:

- двухуровневой (Binary PSK, BPSK);
- дифференциальной (Differential PSK, DPSK);
- квадратурной (Quadrature Phase-Shift Keying, QPSK);
- многоуровневой (Multiple FSK, MFSK).

В первом случае для представления двух двоичных цифр используются две фазы. Для одного периода передачи бита результирующий сигнал имеет вид:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{Acos}(2\pi f_c t), \text{ кодирует двоичную 1,} \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) & \text{-Acos}(2\pi f_c t), \text{ кодирует двоичный 0.} \end{cases}$$

Во втором случае для представления двоичного нуля используется сигнал, фаза которого совпадает с фазой предыдущего сигнала, а для представления двоичной единицы — сигнал с фазой, противоположной фазе предыдущего. Такая схема называется *дифференциальной*, поскольку сдвиг фаз выполняется относительно предыдущего переданного бита, а не относительно какого-то эталонного сигнала.

В третьем случае за раз передается более одного бита, при этом вместо сдвига фазы на π , как в двухуровневой модуляции, используются сдвиги фаз, кратные $\pi/2$:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}), & \text{кодирует двоичную 11,} \\ A \cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}), & \text{кодирует двоичную 10,} \\ A \cos(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}), & \text{кодирует двоичную 00,} \\ A \cos(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4}), & \text{кодирует двоичную 01.} \end{cases}$$

Схема работы многоуровневой фазовой модуляции схожа со схемой работы квадратурной фазовой модуляции, но в каждый момент времени передается по три бита, используется восемь различных углов сдвига фаз, для каждого угла используется несколько амплитуд.

3.3.4. Квадратурная амплитудная модуляция

Схема работы квадратурной амплитудной модуляции (QAM) использует принципы функционирования амплитудной и фазовой модуляций. Два различных сигнала передаются одновременно на одной несущей частоте, но при этом задействованы две ее амплитудно-модулированные копии, сдвинутые относительно друг друга на 90° (т.е. находящиеся в квадратуре). Амплитуды копий несущей меняются дискретно, что приводит к образованию сигнала с дискретным изменением одновременно и амплитуды, и фазы. Приемник полученные сигналы демодулирует и объединяет с целью восстановления исходного двоичного сигнала.

Исходя из таких соображений фазовую модуляцию можно рассматривать как частный случай квадратурной амплитудной модуляции.

В случае двухуровневой амплитудной модуляции (2QAM) каждый из двух потоков может находиться в одном из двух состояний, а объединенный поток — в одном из четырех. В случае четырехуровневой модуляции (т.е. четырех различных уровней амплитуды, 4QAM) объединенный поток будет находиться уже в одном из 16 состояний. Чем больше число состояний, тем выше скорость передачи данных, возможная при определенной ширине полосы пропускания. Но чем больше число состояний, тем выше потенциальная частота возникновения ошибок из-за помех или поглощения.

3.3.5. Технология расширенного спектра

Основная идея метода состоит в том, чтобы распределить информационный сигнал по широкой полосе радиодиапазона, что в итоге позволит значительно усложнить подавление или перехват сигнала.

Расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS). Передача ведется с постоянной сменой несущей в пределах широкого диапазона частот. В результате мощность сигнала распределяется по всему диапазону, а прослушивание какой-то определенной частоты дает только небольшой шум. Последовательность несущих частот псевдослучайна и известна только передатчику и приемнику. Попытка подавления сигнала в каком-то узком диапазоне почти не ухудшает сигнал, так как подавляется только небольшая часть информации.

На каждой несущей частоте для передачи дискретной информации применяются стандартные методы модуляции — частотная или фазовая. Для синхронизации приемника и передатчика в течение некоторого времени передаются синхронизирующие последовательности бит. Несущая частота меняется в соответствии с номерами частотных подканалов, вырабатываемых алгоритмом псевдослучайных чисел. Если частота смены подканалов ниже, чем скорость передачи данных в канале, то такой режим называют *медленным расширением спектра*, в противном случае — *быстрым расширением спектра*. Метод быстрого расширения спектра более устойчив к помехам, так как помехи, подавляющие сигнал в определенном подканале, не приводят к потере бита, поскольку его значение повторяется несколько раз в различных частотных подканалах. Метод медленного расширения спектра менее устойчив к помехам, но его проще реализовать.

Прямое последовательное расширение спектра (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS). В методе прямого последовательного расширения спектра, в отличие от метода расширения спектра скачкообразной перестройкой частоты, весь частотный диапазон занимается не за счет постоянных переключений с частоты на частоту, а за счет того, что каждый бит информации заменяется последовательностью из N бит, что дает увеличение тактовой скорости передачи сигналов в N раз и соответствующее расширение в N раз спектра сигнала.

Передача двоичной единицы заменяется передачей расширяющей последовательности. Двоичный нуль кодируется инверсным значением расширяющей последовательности. Количество бит в расширяющей последовательности определяет коэффициент расширения исходного кода. Для кодирования битов результирующего кода может использоваться любой вид модуляции. Чем больше коэффициент расширения, тем шире спектр результирующего сигнала и выше степень подавления помех. Но при этом растет занимаемый каналом диапазон спектра.

Помехи искажают только определенные частоты спектра сигнала, поэтому приемник с большой степенью вероятности может правильно распознавать передаваемую информацию.

Метод прямого последовательного расширения спектра в меньшей степени защищен от помех, чем метод быстрого расширения спектра, так как мощные помехи влияют на часть спектра, а значит, и на результат распознавания единиц или нулей.

3.4. Кодирование сигнала

Одной из основных задач физического уровня модели OSI является преобразование данных в электромагнитные сигналы, и наоборот. Переход от электромагнитных импульсов к последовательности бит называют *кодированием сигнала*.

Рассмотрим наиболее распространенные методы кодирования.

3.4.1. Код NRZ и NRZI

Код *NRZ* (*Non Return to Zero*) — простейший двухуровневый код. Логической единице соответствует верхний уровень, логическому нулю — нижний, переходы электрического сигнала происходят на границе битов (рис. 3.6). Код NRZ отличается простотой и обеспечивает высокую скорость передачи, но не имеет синхронизации.

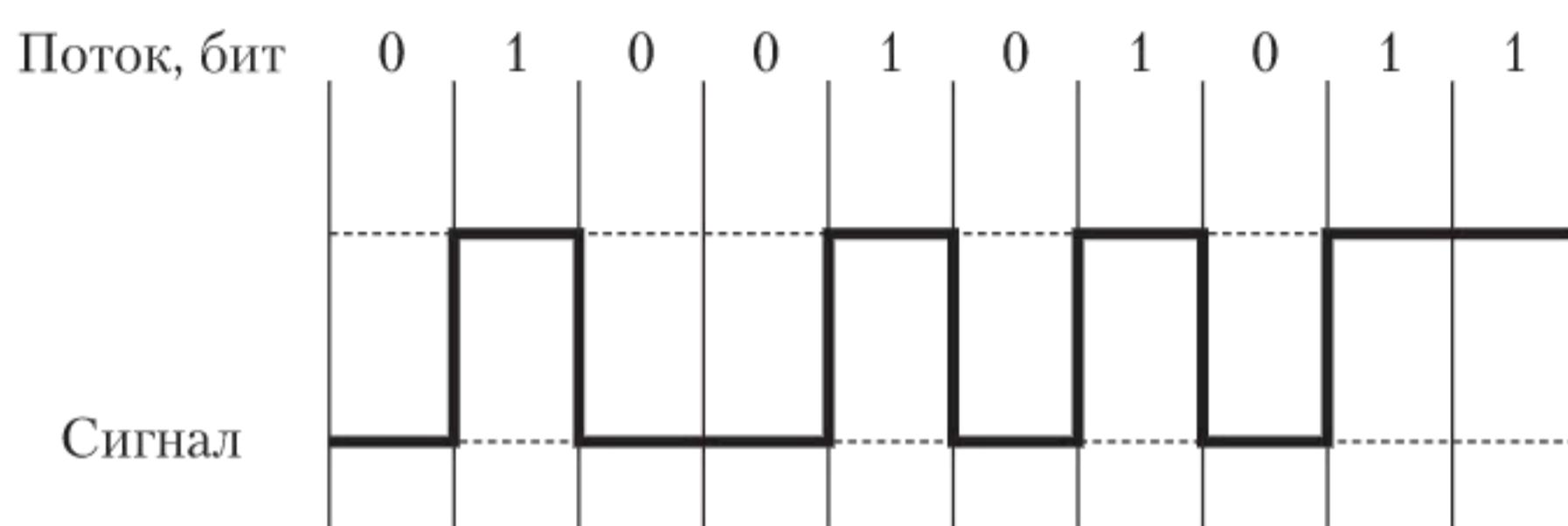


Рис. 3.6. Код NRZ

Код *NRZI* (*Non Return to Zero Invert to ones*) представляет собой модификацию кода NRZ. В этом двухуровневом коде принимается во внимание значение предыдущего бита. Уровень сигнала меняется, если текущий бит — единица, и повторяет предыдущий, если текущий бит имеет значение 0 (рис. 3.7). NRZI используется в основном для работы с оптоволоконной средой, в сетях 100BASE-FX.

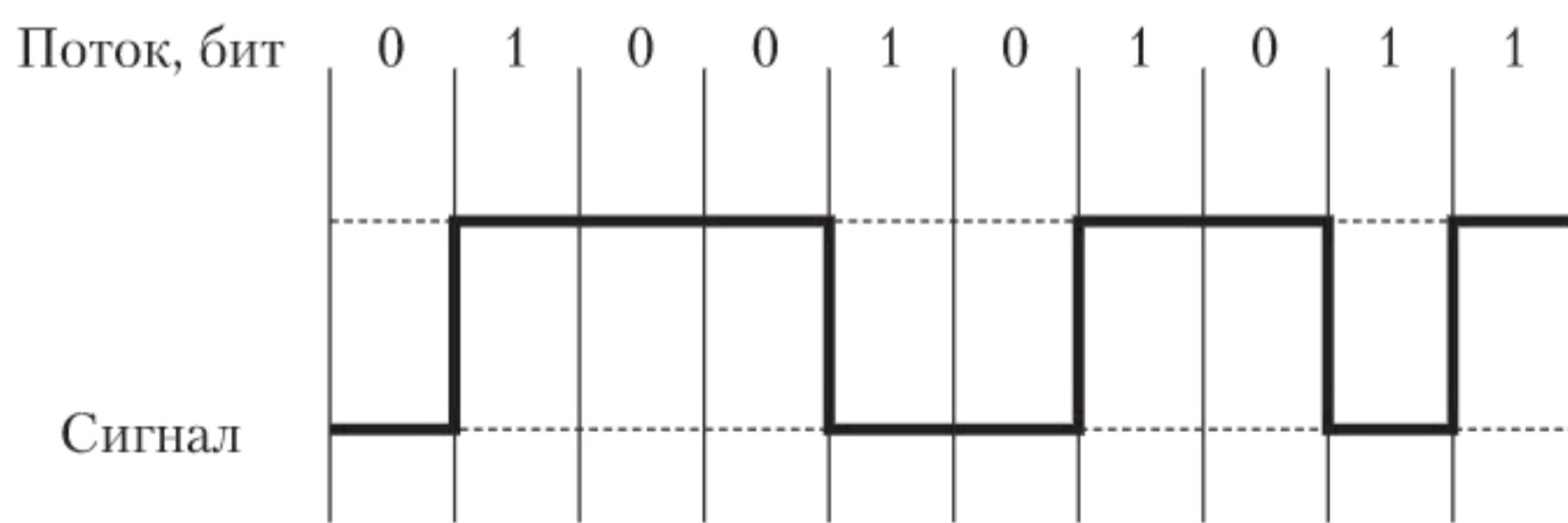


Рис. 3.7. Код NRZI

3.4.2. Код RZ

Код *RZ* (*Return to Zero*) обеспечивает возвращение к нулю после передачи каждого бита информации. RZ — трехуровневый код. В центре бита всегда есть переход. Логической единице соответствует отрицательный импульс, логическому нулю — положительный (рис. 3.8). RZ — самосин-

хронизирующийся код, однако он не дает выигрыша в скорости. Код RZ нашел применение в оптоволоконных сетях.

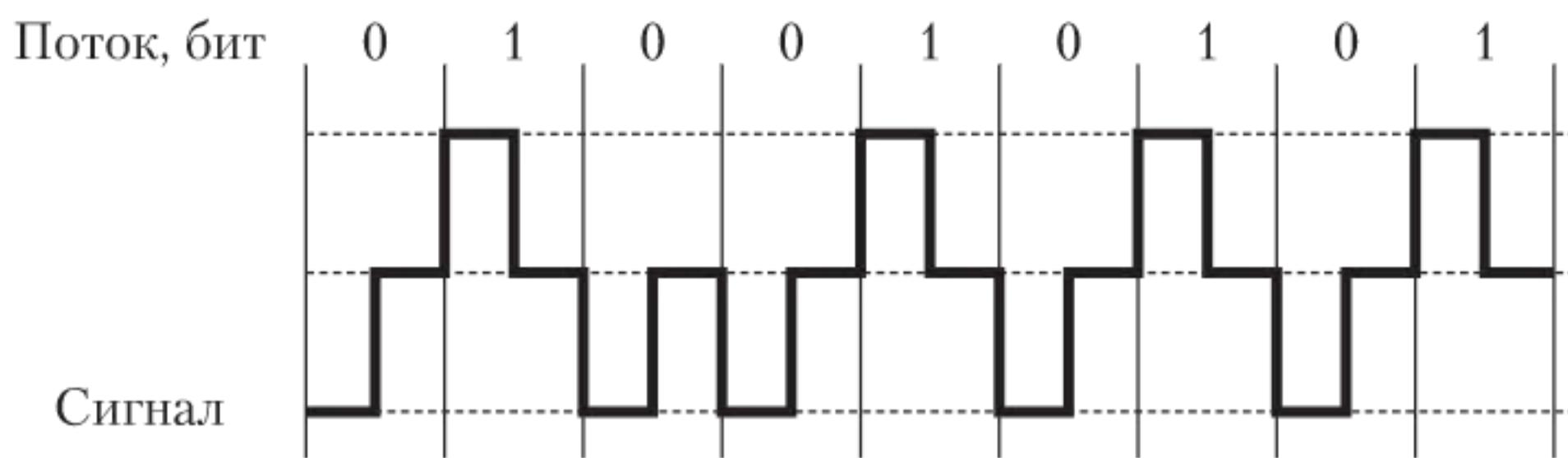


Рис. 3.8. Код RZ

3.4.3. Манчестерский код

Двухуровневый Манчестерский код широко используется в локальных сетях. Логической единице соответствует переход вниз в центре бита, логическому нулю — переход вверх (рис. 3.9). Манчестерский код является самосинхронизирующимся и обладает хорошей помехозащищенностью.

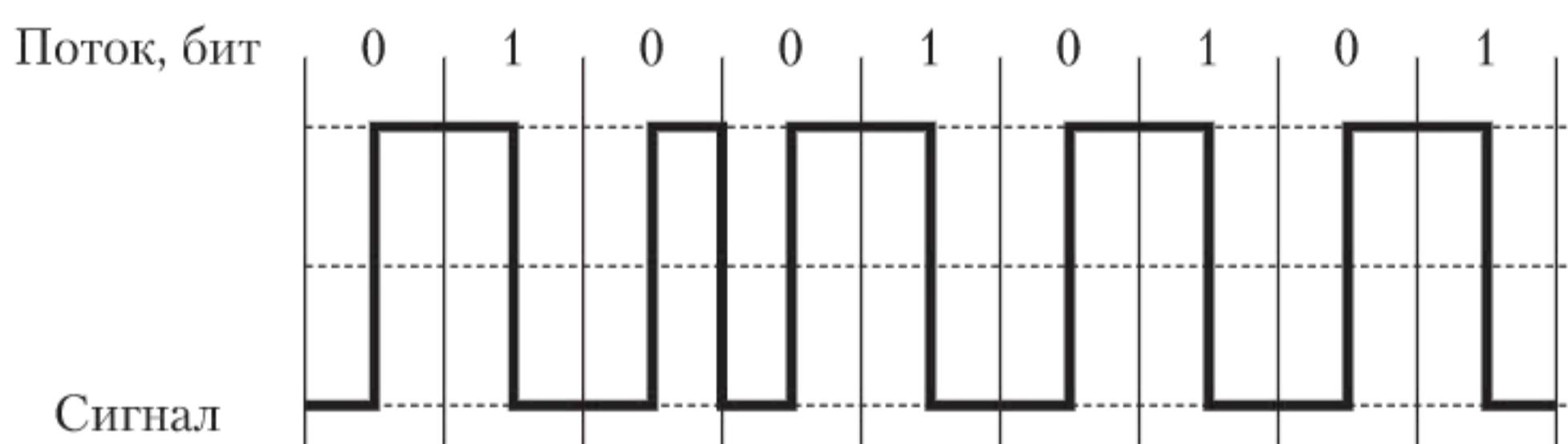


Рис. 3.9. Манчестерский код

3.4.4. Код MLT-3

Код *MLT-3* (*Multi Level Transmission-3*) — трехуровневый код. Как и в NRZI, логической единице соответствует смена уровня сигнала, а при передаче нуля сигнал не меняется (рис. 3.10). Изменение уровня сигнала происходит последовательно с учетом предыдущего перехода. Основной недостаток кода MLT-3 — отсутствие синхронизации. MLT-3 применяется в сетях 100BASE-T на основе витой пары.

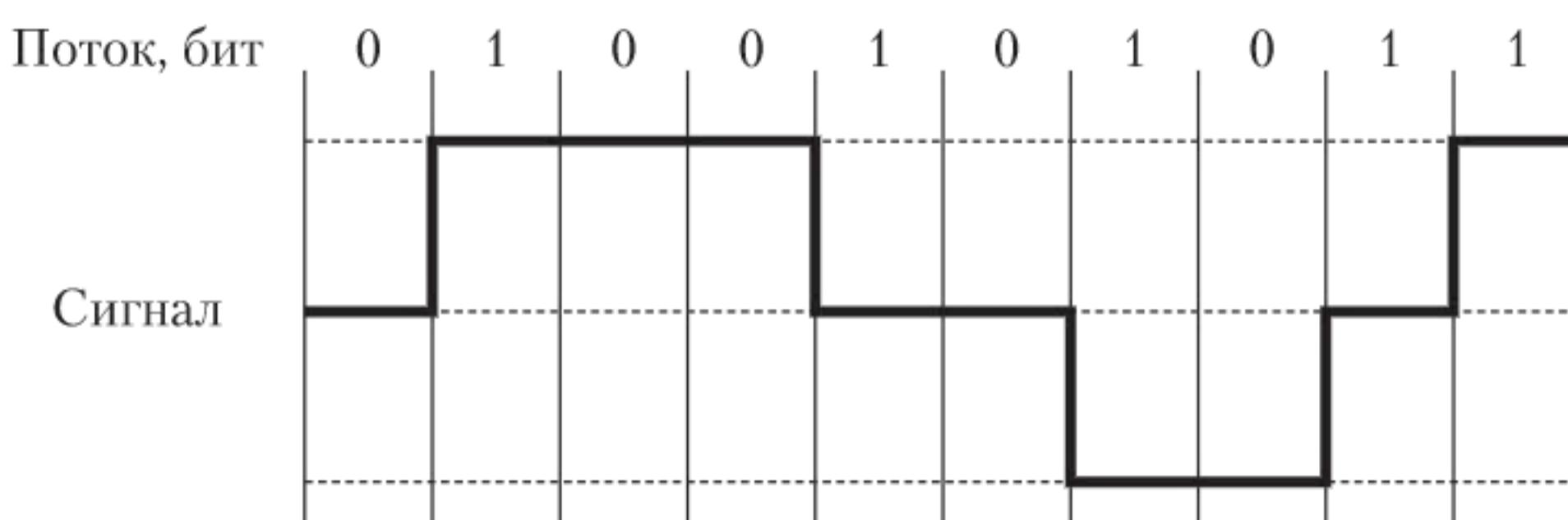


Рис. 3.10. Код MLT-3

Резюме

1. Физический уровень модели взаимодействия открытых систем отвечает за передачу потока бит между логическими объектами канального уровня, используя физические соединения. На этом уровне определяются спецификация соединителей (но не сама среда передачи), методы кодирования и декодирования двоичных данных в физическом носителе.
2. Выбор среды передачи определяется требуемой скоростью, расстоянием, надежностью, стоимостью.
3. В основе функционирования любой телекоммуникационной сети лежит ее кабельная система – система из кабелей и связанных с ним компонент (пассивное коммутационное оборудование, необходимое для соединения). От качества кабельной системы сети напрямую зависят ее надежность и расширяемость в целом.
4. Активные устройства (концентраторы, коммутаторы, маршрутизаторы, шлюзы и т.п.) формируют, преобразуют, коммутируют, а также принимают сигнал с использованием внешнего (не передающегося в составе сигнала) источника энергии.
5. Модуляция – процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения). Несущая – высокочастотное колебание, выполняющее роль переносчика информации, заложенной в управляющем (модулирующем) сигнале.
6. В качестве несущего колебания наиболее часто используют гармоническое колебание. В зависимости от того, какой из параметров несущего колебания – амплитуда, частота или начальная фаза несущего колебания – изменяется по закону передаваемого сообщения, различают виды модуляции, соответственно, амплитудная, частотная или фазовая.
7. Переход от электромагнитных импульсов к последовательности бит называют кодированием сигнала.

Контрольные вопросы

1. Каковы функции и услуги физического уровня модели ISO/OSI?
2. Что входит в классификацию среды передачи данных и каковы ее основные характеристики?
3. Какое описание имеет схема организации СКС?
4. Каковы основные технологии модуляции (кодирования) сигнала?
5. Что входит в принципы работы основных методов кодирования?

Задания для самостоятельной работы

1. Объясните, почему частота дискретизации аудиозаписи на CD составляет 44,1 кГц.
2. Укажите ширину полосы пропускания для Ethernet 10BASE-T.
3. Приведите временные диаграммы информационных сигналов с использованием различных кодов (NRZ, NRZI, AMI, Манчестерский код).
4. Постройте разводку сети для здания факультета.
5. Приведите схему разводки кабельной системы для малой организации.