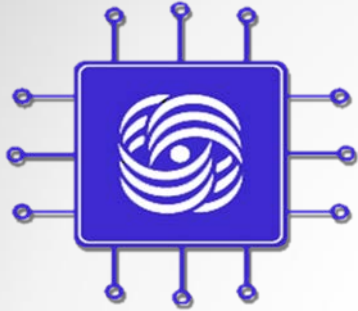




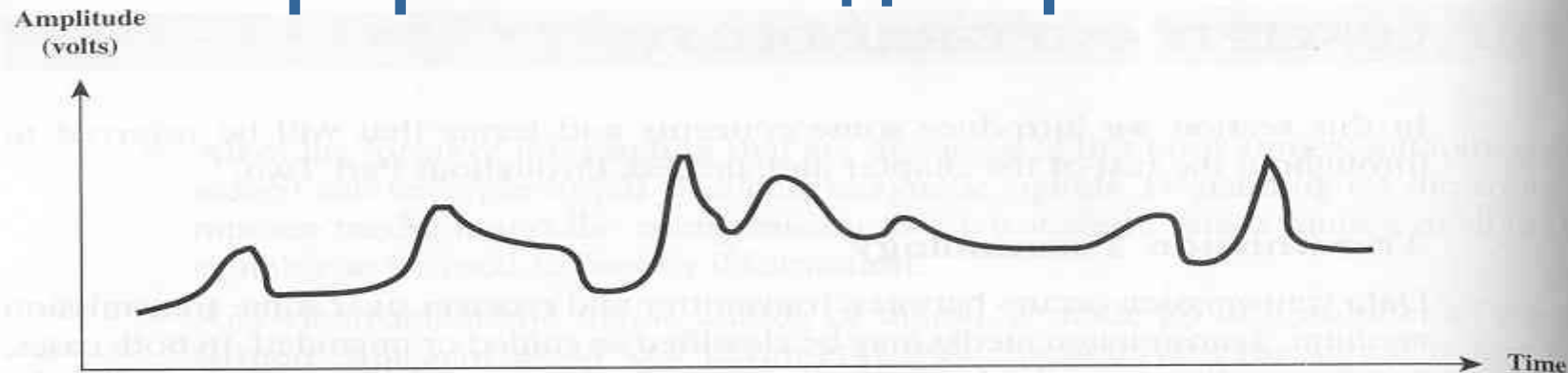
Физический уровень: Принципы функционирования физической среды передачи данных (том 1 стр.63 – 101)

Компьютерные сети
проф. Смеянский Р.Л.
Лаборатория Вычислительных комплексов
ф-т ВМК МГУ

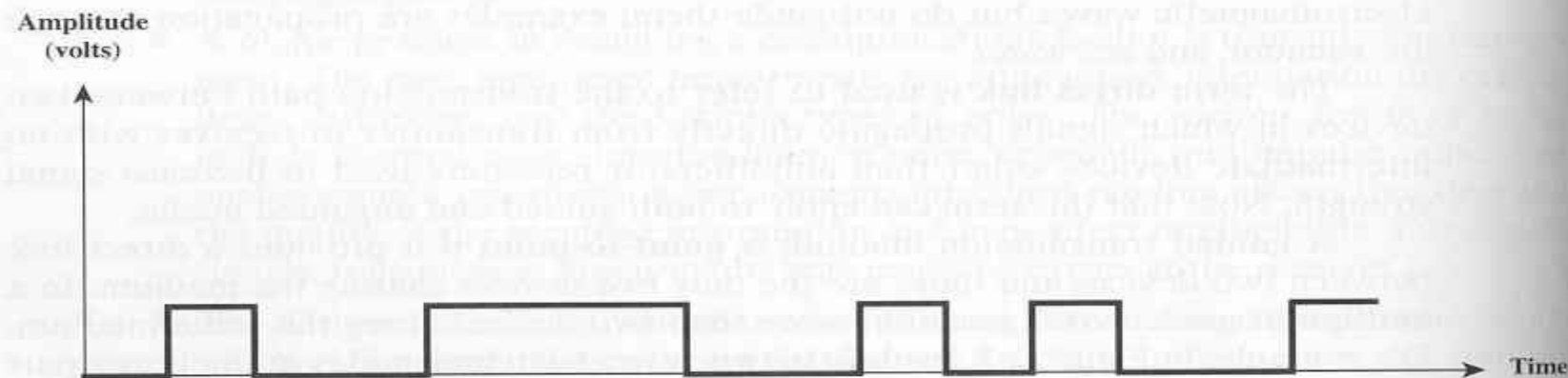
Основы передачи данных

- Все виды информации могут быть представлены в виде электромагнитных сигналов (ЭМС) аналоговых или цифровых
- Любой ЭМС имеет спектр сигналов разной частоты (ширина частотной полосы гармоник)
- Основная проблема - ухудшение сигнала при передаче (потеря энергии, искажение формы, шумы)
- Основные характеристики канала - полоса пропускания, скорость передачи для цифровых данных, уровень шума, уровень ошибок при передаче

Сигнал как функция времени – непрерывные vs дискретные



(a) Непрерывный



(b) Дискретный

Сигнал как функция частоты

Ряд Фурье

$$f(t, N) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^N a_n \sin\left(n \frac{2\pi}{\tau} t\right) + \sum_{n=1}^N b_n \cos\left(n \frac{2\pi}{\tau} t\right)$$

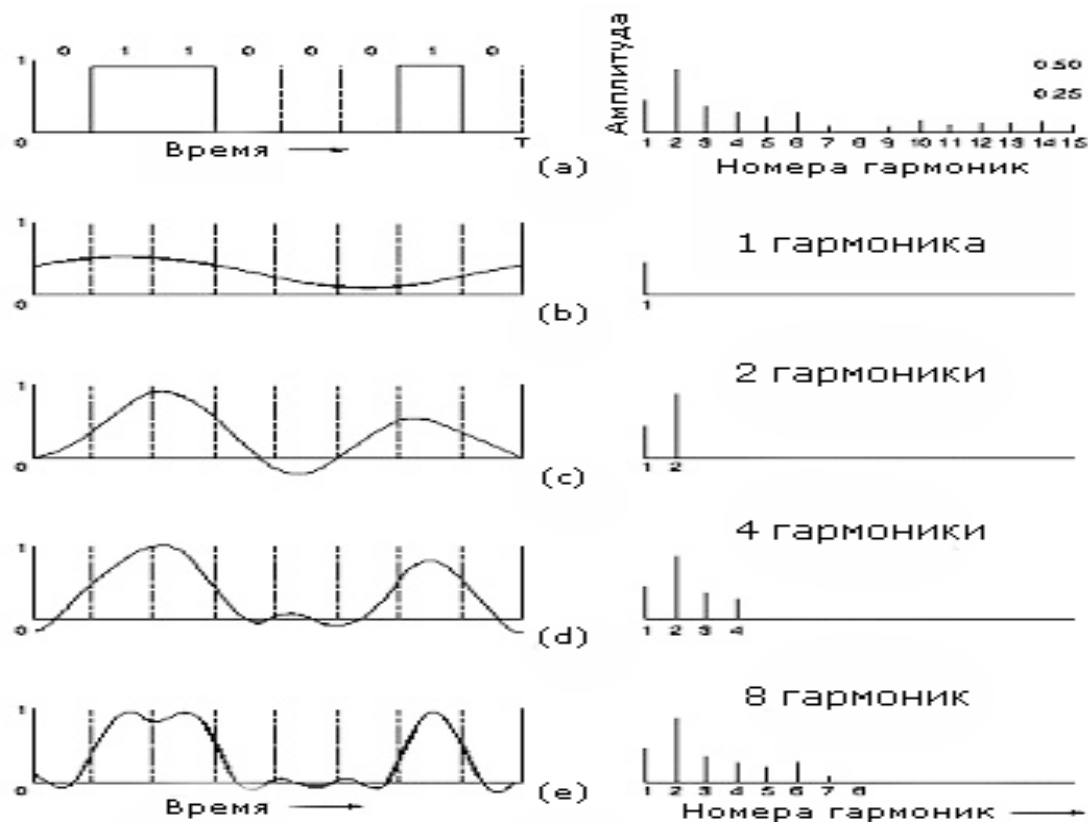
где $\frac{1}{\tau}$ - частота, a_n, b_n - амплитуды n -ой гармоники.

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx,$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx,$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx,$$

Сигнал как функция частоты





Сигналы, данные, передача

- Данные - описание фактов, явлений
- Сигналы - представление данных при передаче
- Передача - процесс взаимодействия передатчика и приемника, с целью передачи сигнала.

Данные

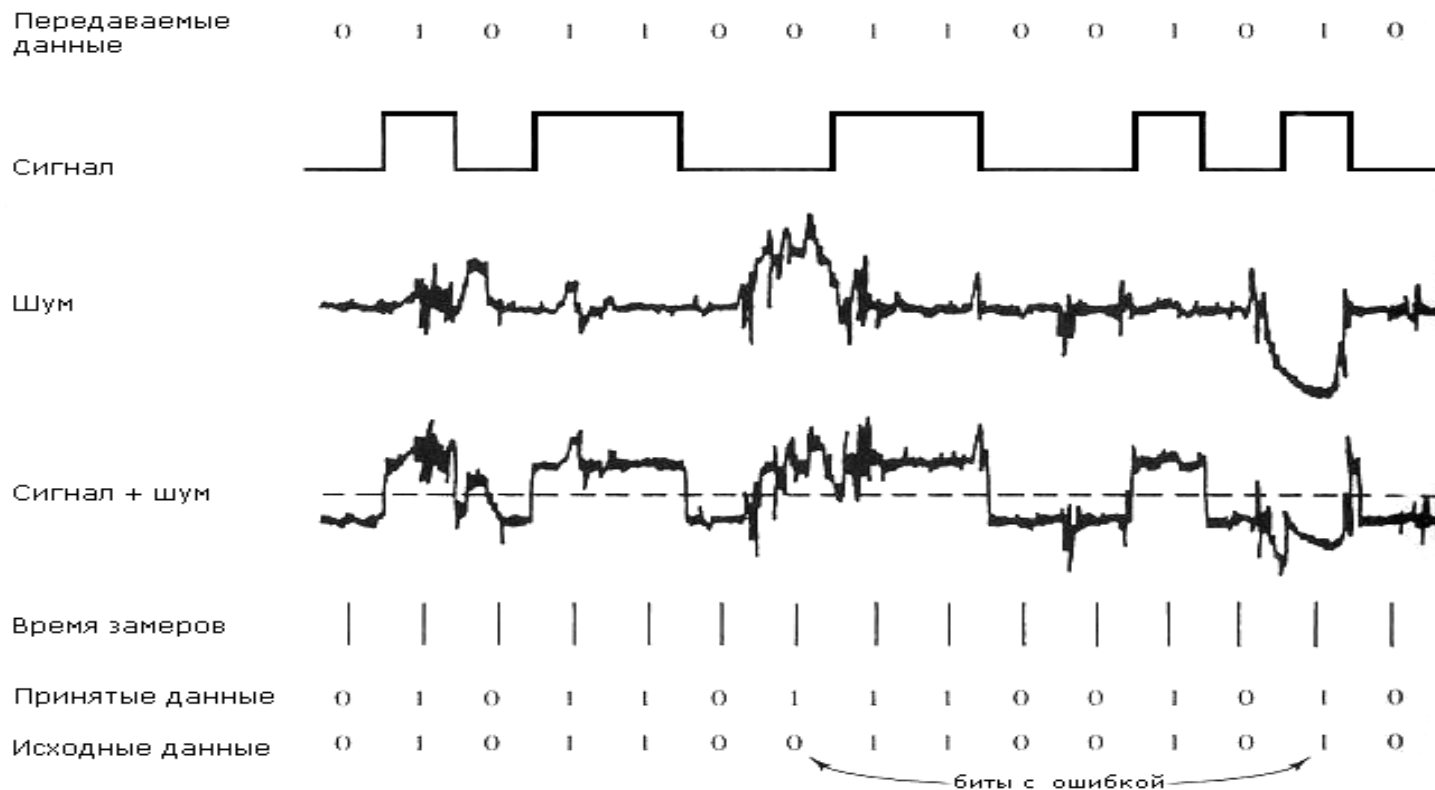
- Данные по происхождению могут иметь разную форму
 - аналоговые vs цифровые
- Данные аналоговые
 - о голос, видео
- Данные дискретные (цифровые)
 - о текст: буква, символ
 - о картинка: pixel

Сигналы

- Сигналы - аналоговые vs цифровые

Влияние шума на аналоговый сигнал на цифровой сигнал

Цифровой сигнал
Форма известна заранее



Аналоговая vs цифровая передача

- затухание и нарушение формы в цифровом случае не столь сильно как в аналоговом.
- при ретрансляции цифрового сигнала проще восстановить его изначальную форму, которая известна точно, в отличии от аналогового сигнала. При ретрансляции аналогового сигнала ошибка накапливается.

Аналоговая vs цифровая передача

- цифровая передача надежнее: форма сигнала известна.
- по цифровой сети можно передавать и данные и голос и музыку одновременно и с большей скоростью.
- цифровая передача дешевле, так как не надо восстанавливать форму сигнала.
- цифровую сеть проще эксплуатировать.



Взаимосвязь пропускной способности канала и его полосы пропускания

- Разные среды искажают форму сигнала и гасят его энергию в зависимости от частоты сигнала по-разному.
- Полоса пропускания канала - спектр частот, которые канал пропускает без существенного понижения мощности сигнала.
- Скорость передачи зависит от способа кодирования данных на физическом уровне и **сигнальной скорости** - скорости изменения значения сигнала. Эта скорость изменений сигнала в секунду измеряется в **бод**. (Ж.М.Бодо)

Взаимосвязь пропускной способности канала и его полосы пропускания

- Пропускная способность канала - максимальная скорость, с которой канал способен передавать данные.
- Взаимосвязь пропускной способности канала и ширины его полосы пропускания определяет Теорема Найквиста - Котельникова (1924г.)

$$R_{\text{max data rate}} = 2D \log_2 L ,$$

где D - ширина полосы пропускания канала(максимальная частота сигнала в спектре), L - количество уровней сигнала.

Теорема Котельникова

Взаимосвязь пропускной способности канала и его полосы пропускания

- шум в канале измеряется как соотношение мощности полезного сигнала к мощности шума: S/N (измеряется в децибелах $1\text{dB} = 10 \log_{10}(S/N)$).
- для случая канала с шумом есть Теорема Шеннона

$$R_{\max} = D \log_2 (1+S/N) \text{ bps},$$

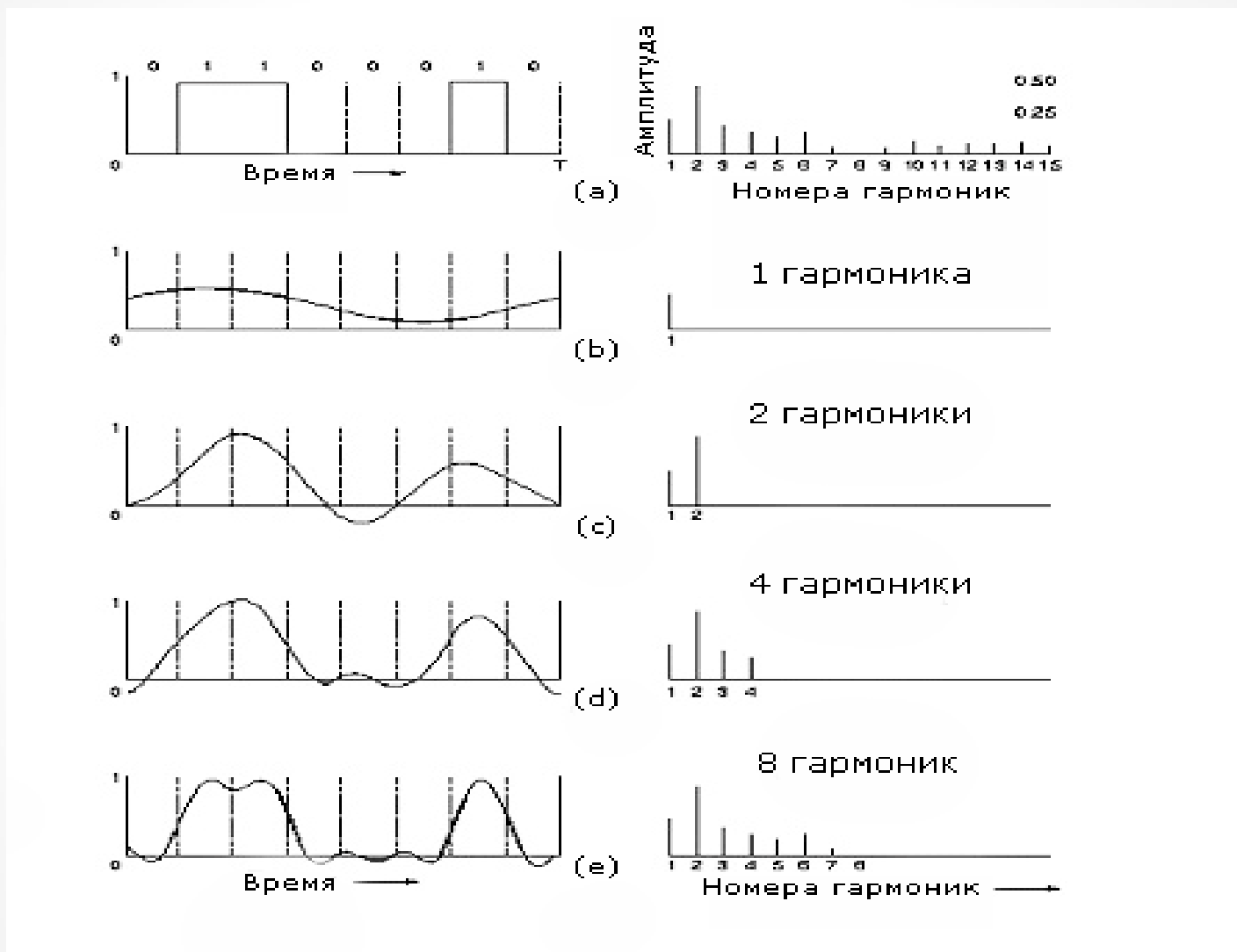
где S/N - соотношение сигнал-шум в канале;
здесь уже неважно количество уровней в сигнале.

Это - теоретический предел, который редко достигается на практике.

Сигналы с ограниченной полосой пропускания

- Пример канала с шумом:
 - $H = 3\text{ КГц}$, шум = 30дВ следовательно
 $V_{\max} = 30\,000 \text{ бит/с}$
- Пример влияния ширины полосы пропускания на битовую скорость передачи
 - b - сигнальная скорость, надо передать 8 бит,
 - H - ширина полосы,
 - Мах число гармоник = $H (8/b) = (3000 * 8)/b$
 - при $b=9600$ не более 2 гармоник.

Влияние ширины полосы пропускания на качество сигнала





Представление данных на физическом уровне



Сигналы и Данные

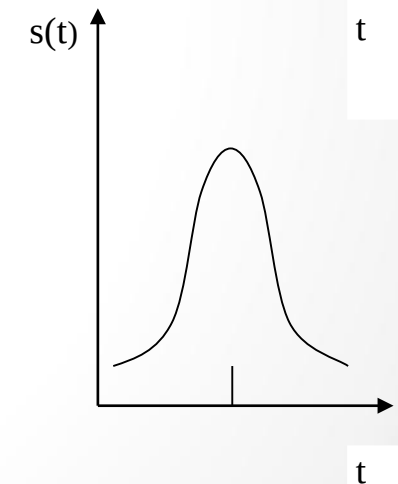
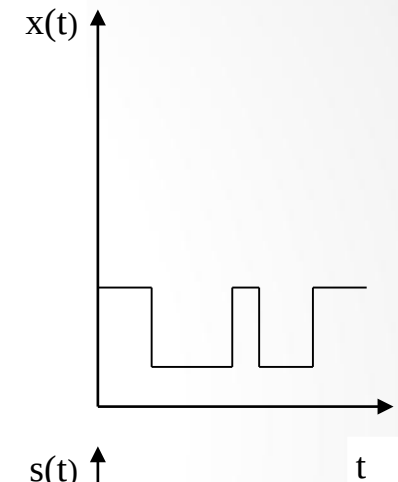
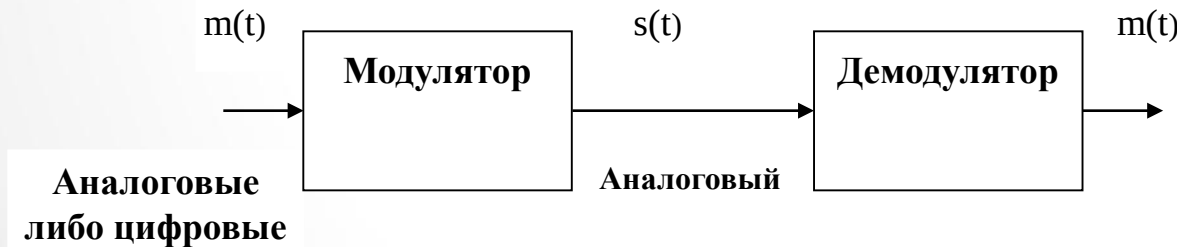
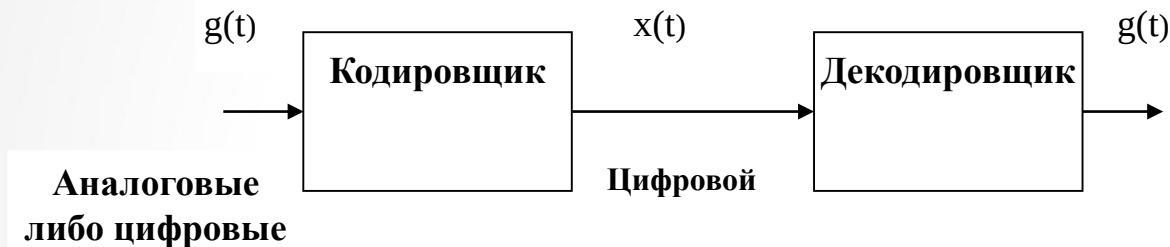
о аналог.данные - аналог.сигнал
(соответствие спектров частот)

о цифр.данные - аналог.сигнал (модем)

о аналог.данные - цифр.сигнал
(оцифровка)

о цифр.данные - цифр.сигнал (количество
уровней сигнала)

Схемы аналоговой и цифровой передачи

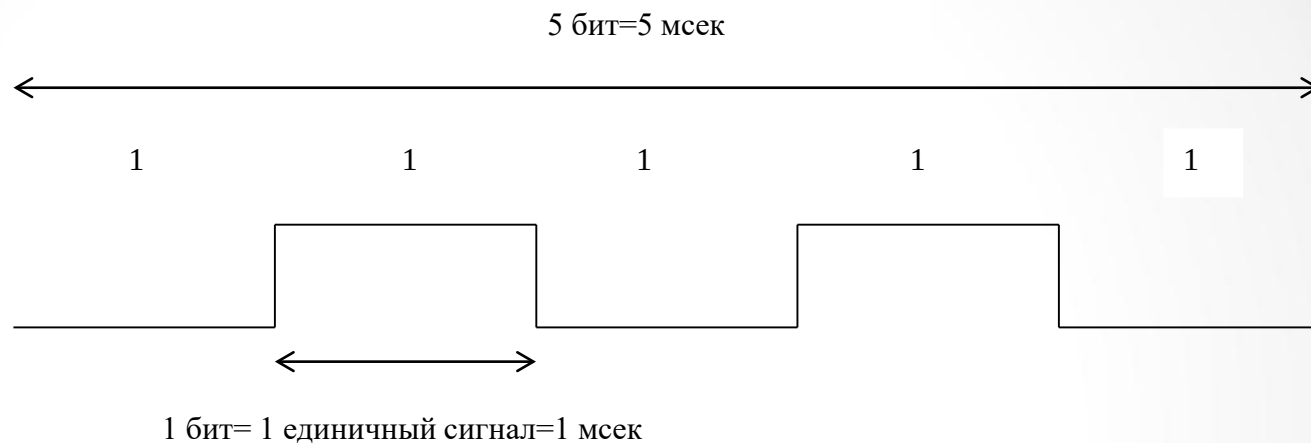




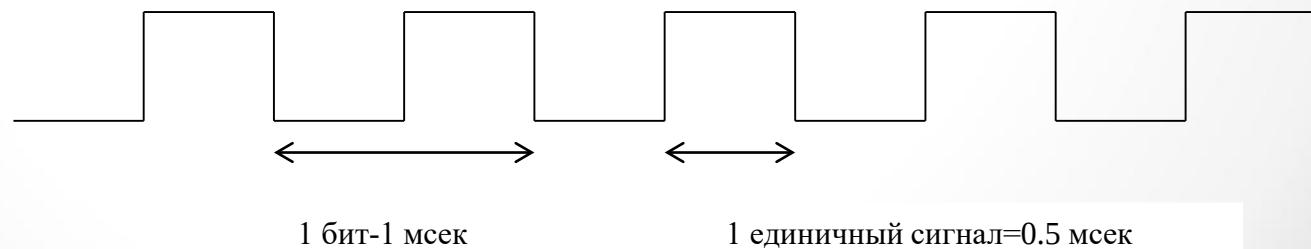
Цифровые данные – Цифровые СИГНАЛЫ

Битовый интервал

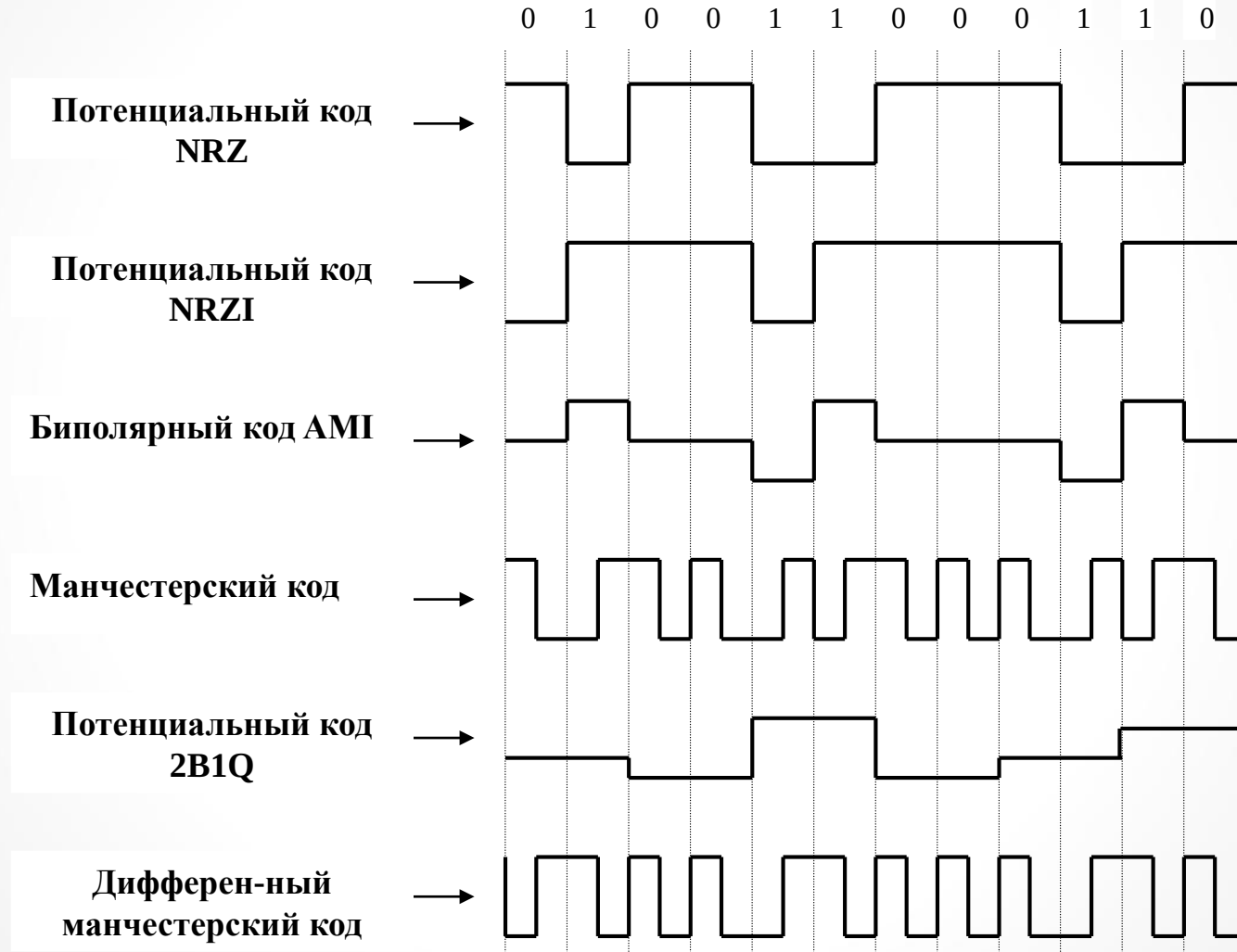
NRZ I



Манчестер



Примеры кодов



Способы кодировки данных

Потенциальный код NRZ

0 - высокий потенциал

1 - низкий потенциал

Биполярный код NRZI

0 - нет перепада уровня сигнала в начале битного интервала

1 - перепад уровня сигнала в начале интервала

Биполярный код AMI

0 - отсутствие сигнала

1 - положительный или отрицательный потенциал, обратный по отношению к потенциалу в предыдущий период

Манчестерский код

0 - переход с высокого на низкий потенциал в середине интервала

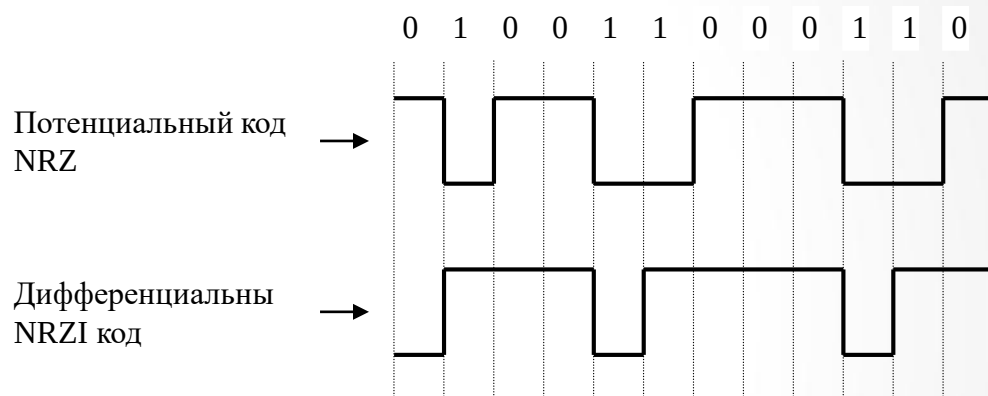
1 - переход с низкого на высокий потенциал в середине интервала

Потенциальный код 2B1Q

Использует 4 уровня сигналов, значение уровня определяет значение пары битов данных

Потенциальный NRZ код

- NRZ - Non Return to Zero - без возврата к нулю на битовом интервале
- Основной недостаток - отсутствие синхронизации.
- Дифференциальный NRZ-I код

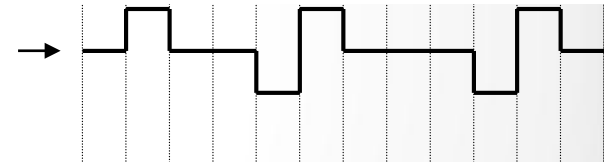


Биполярный код АМІ

- Bipolar Alternate Mark Inversion - АМІ
- Три уровня сигнала. Потенциал каждой последующей единицы противоположен потенциалу предыдущей.
- При длительной последовательности 1 рассинхронизация не происходит
- Правило чередования уровней позволяет обнаруживать единичные ошибки.
- С применением техники скремблирования биполярные импульсные коды обладают лучшими характеристиками, чем NRZ коды.
- Эффективность этого кода ниже, чем NRZ: каждый единичный сигнал может нести $\log_2 3 = 1.58$ бит информации, а используется только один бит.
- Передатчик и приемник для биполярного метода сложнее, чем для NRZ кодов.

0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0

Биполярный
код АМІ

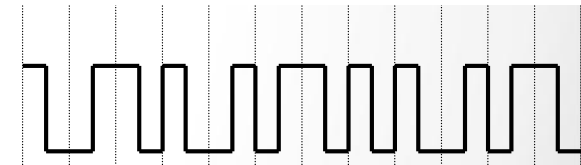


Биполярные импульсные коды

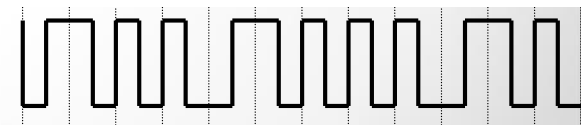
- В Манчестерском коде данные кодируются фронтами в середине битового интервала: фронт перехода от низкого потенциала к высокому соответствует 1, а фронт перехода от высокого потенциала к низкому - 0.
- В дифференциальном Манчестерском коде в середине битового интервала обязательно происходит изменение уровня: при передаче 0 в начале битового интервала, происходит перепад уровней, при 1 - такой перепад отсутствует.
- У всех биполярных импульсных кодов сигнальная скорость в два раза выше, чем у потенциальных кодов. Они требуют более широкой полосы пропускания, чем потенциальные коды.
- У них есть несколько существенных преимуществ:
 - самосинхронизация
 - отсутствие постоянной составляющей
 - обнаружение единичных ошибок.

0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0

Манчестерский код



Дифферен-ный
манчестерский
код

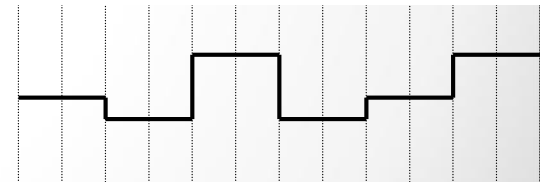


Потенциальный код 2B1Q

- Каждые два последовательных бита (2B) передаются за один битовый интервал сигнала, который может иметь четыре состояния (1Q).
- У этого метода сигнальная скорость в два раза ниже, чем NRZ и AMI кодов, а спектр сигнала в два раза уже.
- Этот метод требует сложного передатчика и приемника, которые должны различать не два уровня, а четыре.

0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0

Потенциальный
код 2B1Q →

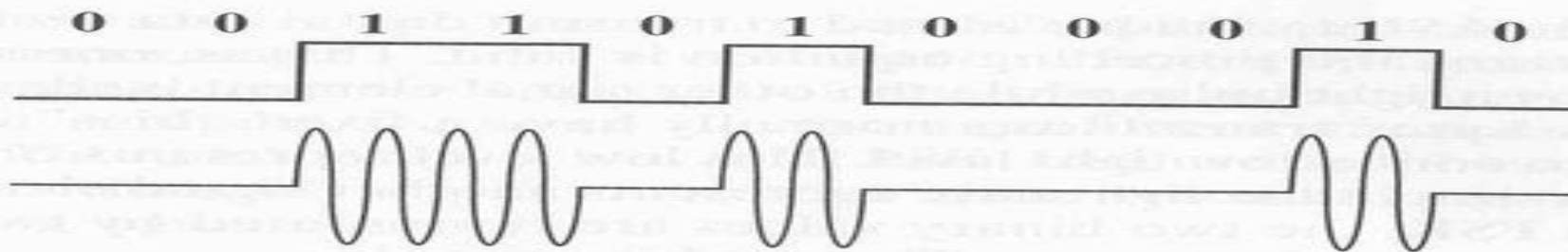


Цифровые данные – Аналоговый сигнал

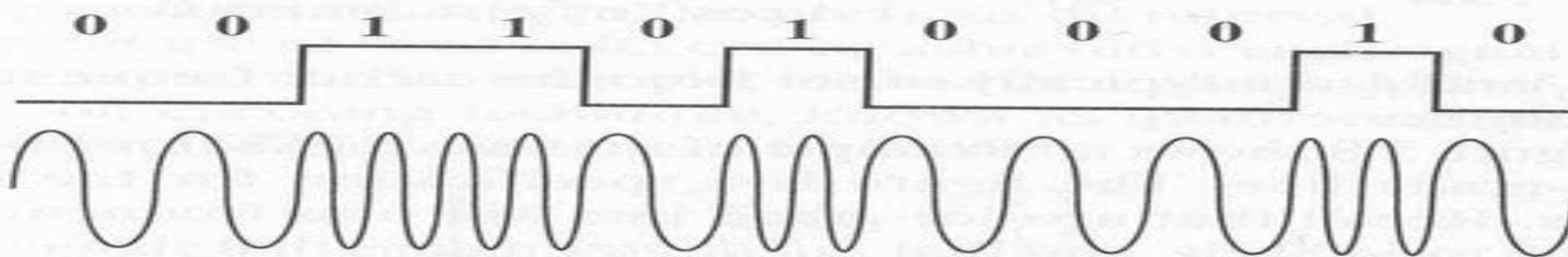
- Телефонные сети были созданы для передачи и коммутации аналоговых сигналов в голосовом диапазоне частот от 300 до 3400 Гц.
- Модем (МОдулятор-ДЕМодулятор) преобразует цифровой сигнал в аналоговый в надлежащем диапазоне частот и наоборот.
- Есть три основных метода модуляции для преобразования цифровых данных в аналоговую форму:
 - амплитудная модуляция
 - частотная модуляция
 - фазовая модуляция.



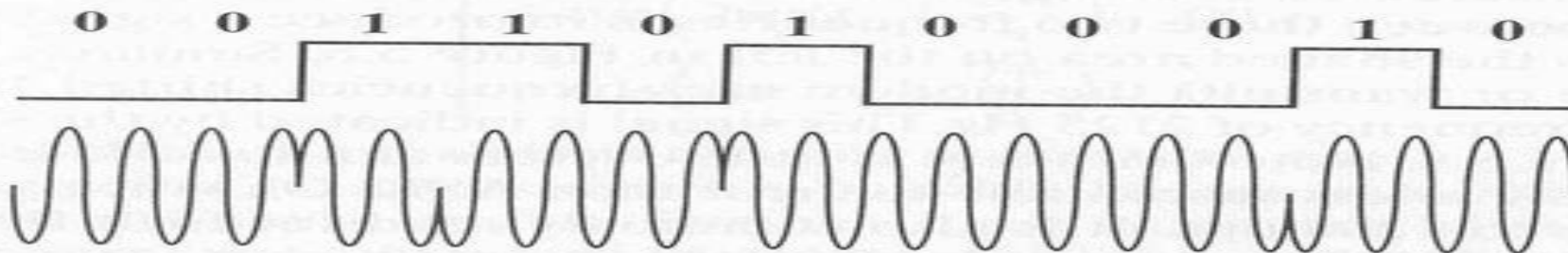
Цифровые данные – аналоговый сигнал



Амплитудная модуляция



Частотная модуляция

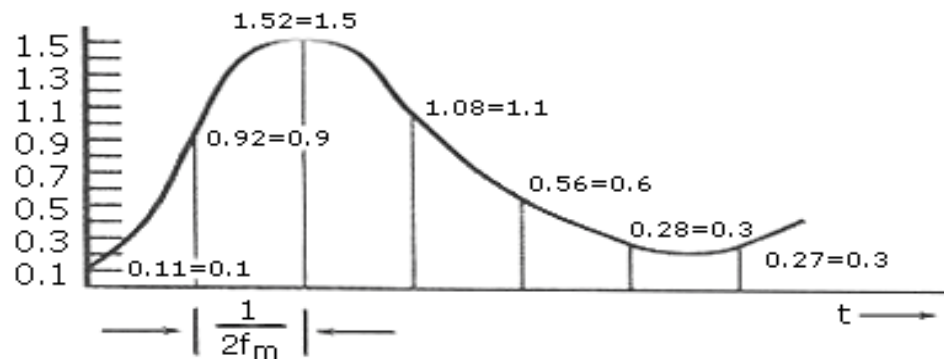


Фазовая модуляция

Аналоговые данные – Цифровой сигнал

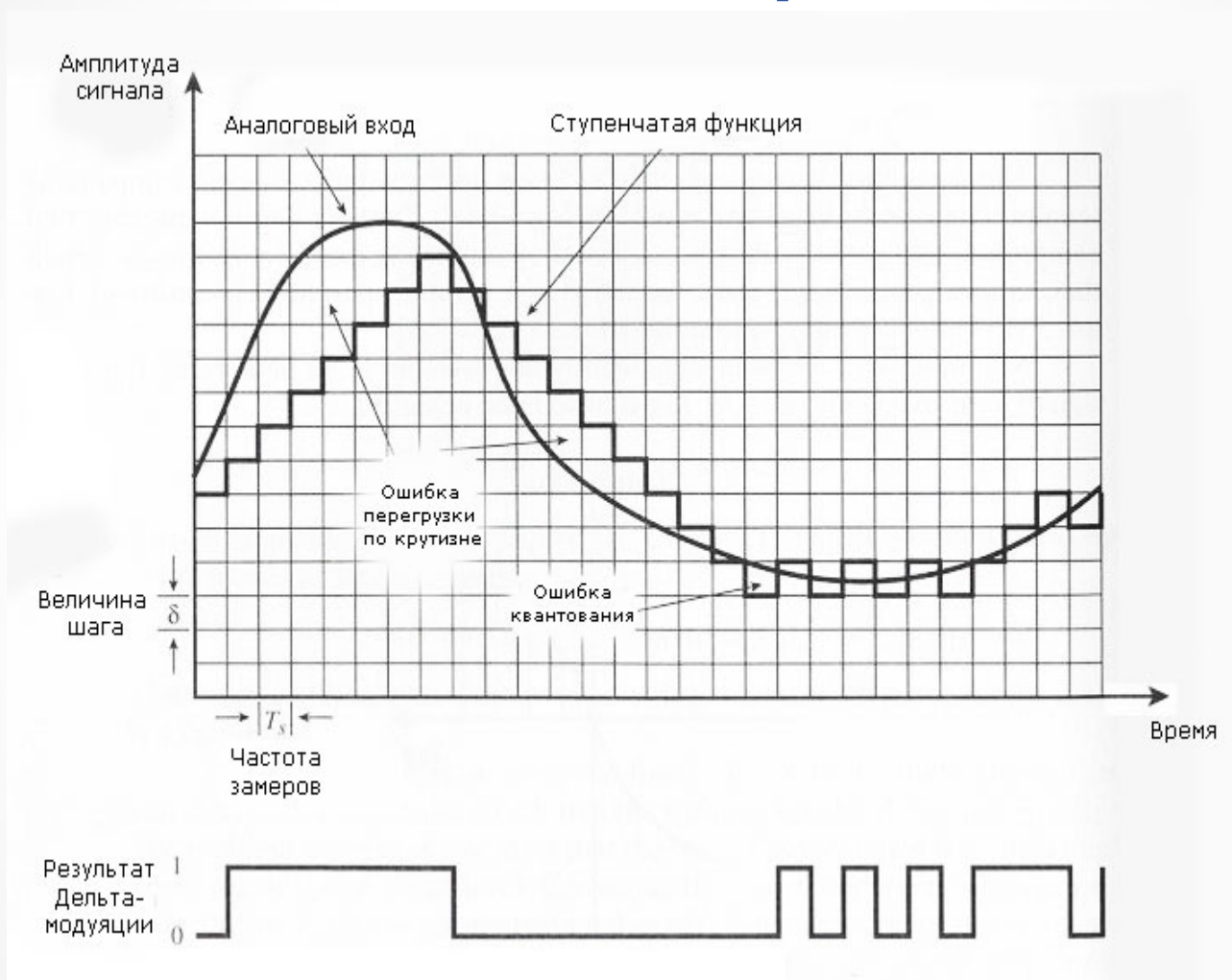
- АЦП (Аналогово-Цифровой Преобразователь) превращает аналоговые данные в цифровую форму
ЦАП (Цифро-Аналоговый преобразователь) выполняет обратную процедуру
Устройство, объединяющее в себе функции и АЦП и ЦАП, называют кодеком (кодер-декодер)
- Два основных метода преобразования аналогового сигнала в цифровую форму:
 - импульсно кодовую модуляцию и
 - дельта модуляцию

Импульсно-Кодовая Модуляция

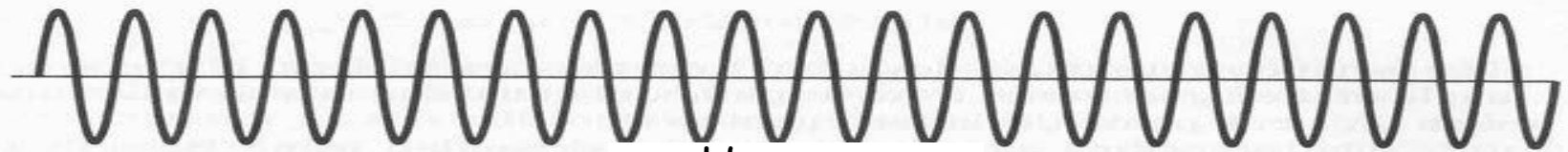


№ уровня	Двоичный эквивалент	ИКМ-сигнал
0	0000	—————
1	0001	—————
2	0010	—————
3	0011	—————
4	0100	—————
5	0101	—————
6	0110	—————
7	0111	—————
8	1000	—————
9	1001	—————
10	1010	—————
11	1011	—————
12	1100	—————
13	1101	—————
14	1110	—————
15	1111	—————

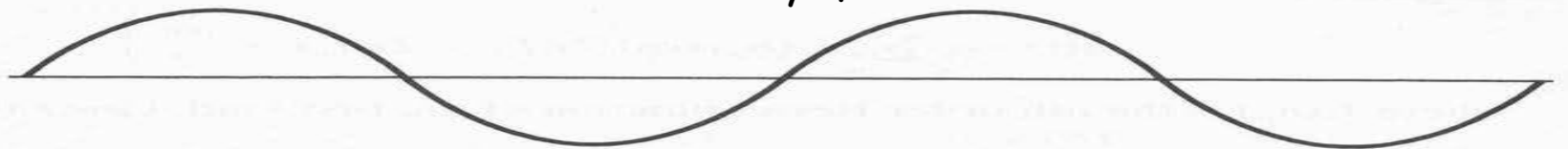
Дельта модуляция



Аналоговые данные – аналоговый сигнал



Несущая



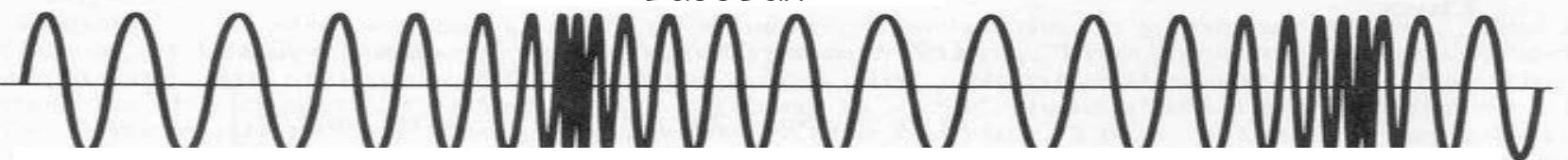
Передаваемый сигнал



Амплитудная модуляция



Фазовая



Частотная

Аналоговые данные – аналоговый сигнал

- Метод квадратичной амплитудной модуляции QAM (Quadrature Amplitude Modulation) – это комбинация амплитудной и фазовой модуляций. Идея этого метода состоит в том, что можно по одной и той же линии послать одновременно два разных сигнала с одинаковой несущей частотой, но сдвинутых по фазе друг относительно друга на 90° . Каждый сигнал генерируется методом амплитудной модуляции.
- Применяется в технологии ADSL.



Среды передачи

(т.1 стр.84 – 91)



Среды передачи

- характеристики физической среды:
 - полоса пропускания
 - пропускная способность
 - задержка
 - затухание
 - помехоустойчивость
 - достоверность передачи
 - стоимость
 - простота прокладки
 - сложность в обслуживании.

Среды передачи

- магнитные носители
- витая пара
- среднестроосный и широкополосный коаксиальные кабели
- оптоволокно



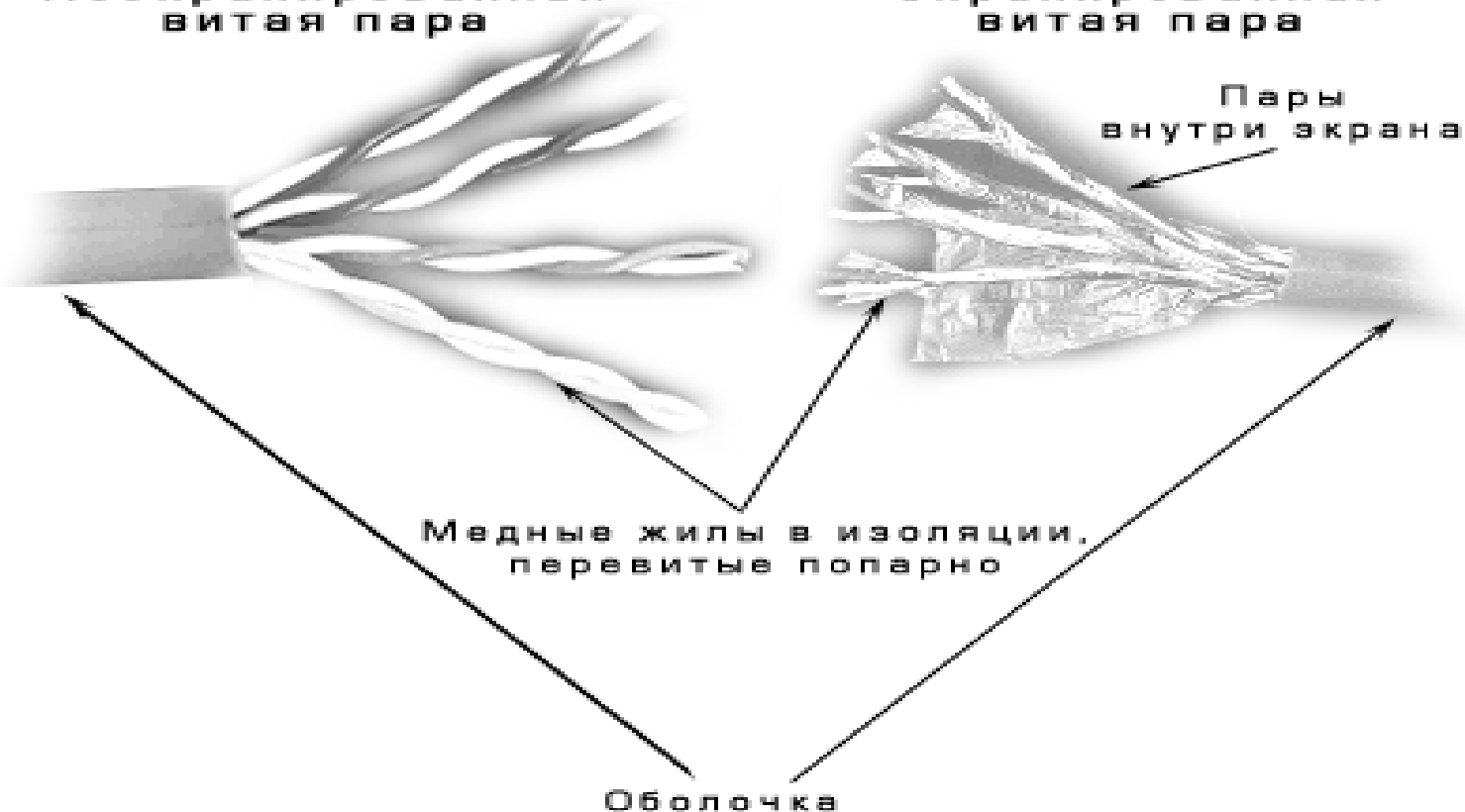
Среды передачи

- **Магнитные носители**
- **Витая пара**

Витая пара

Неэкранированная
витая пара

Экранированная
витая пара



Витая пара

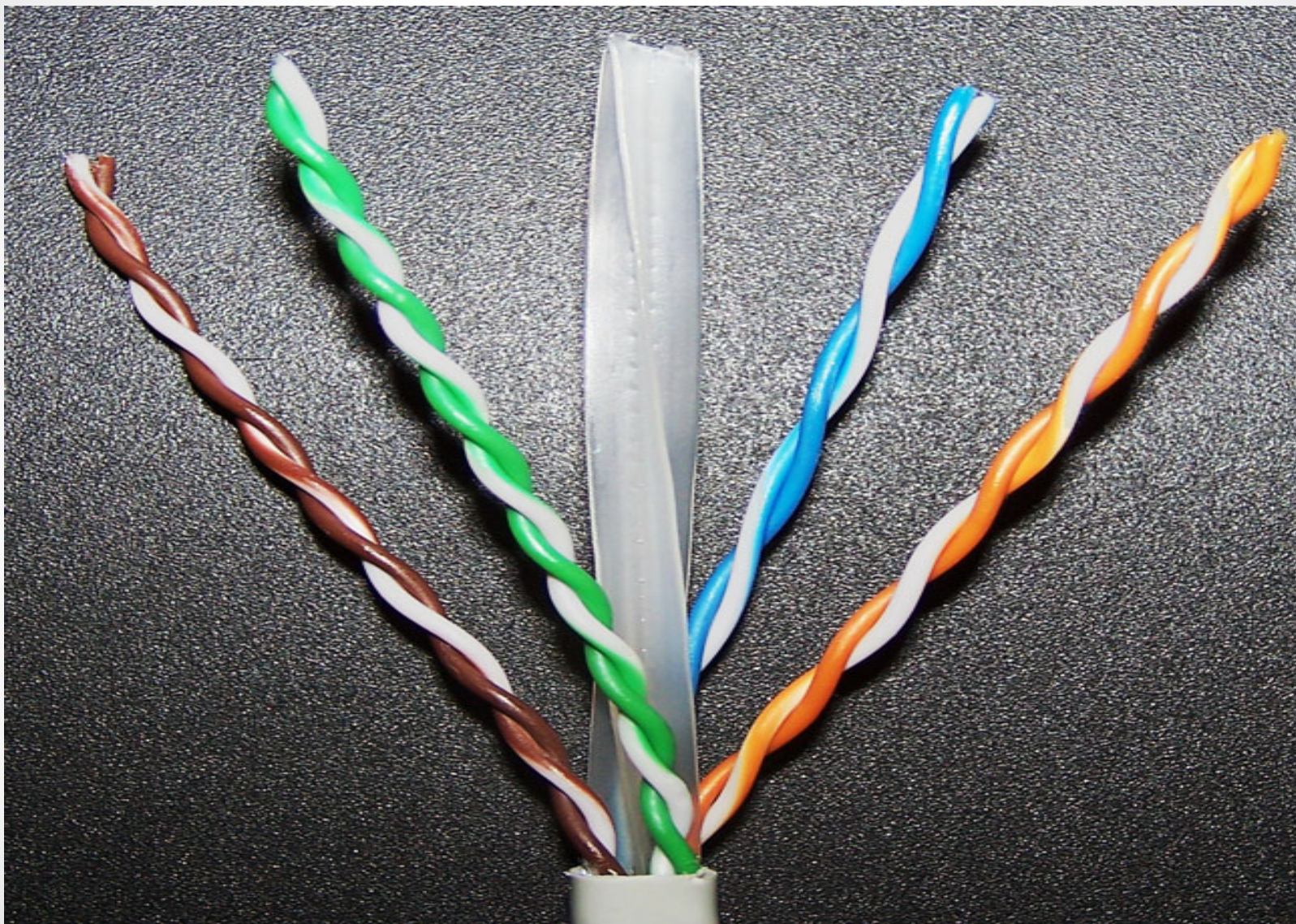
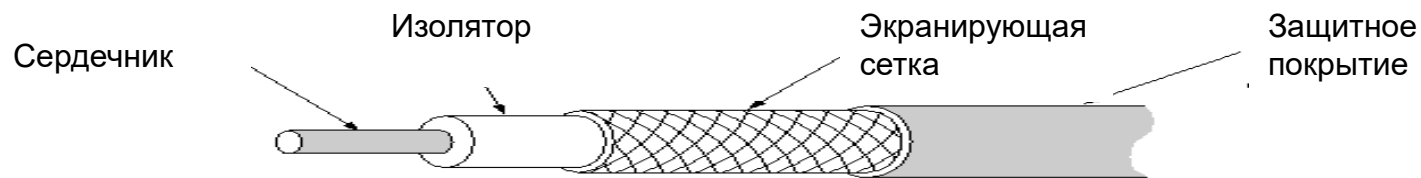


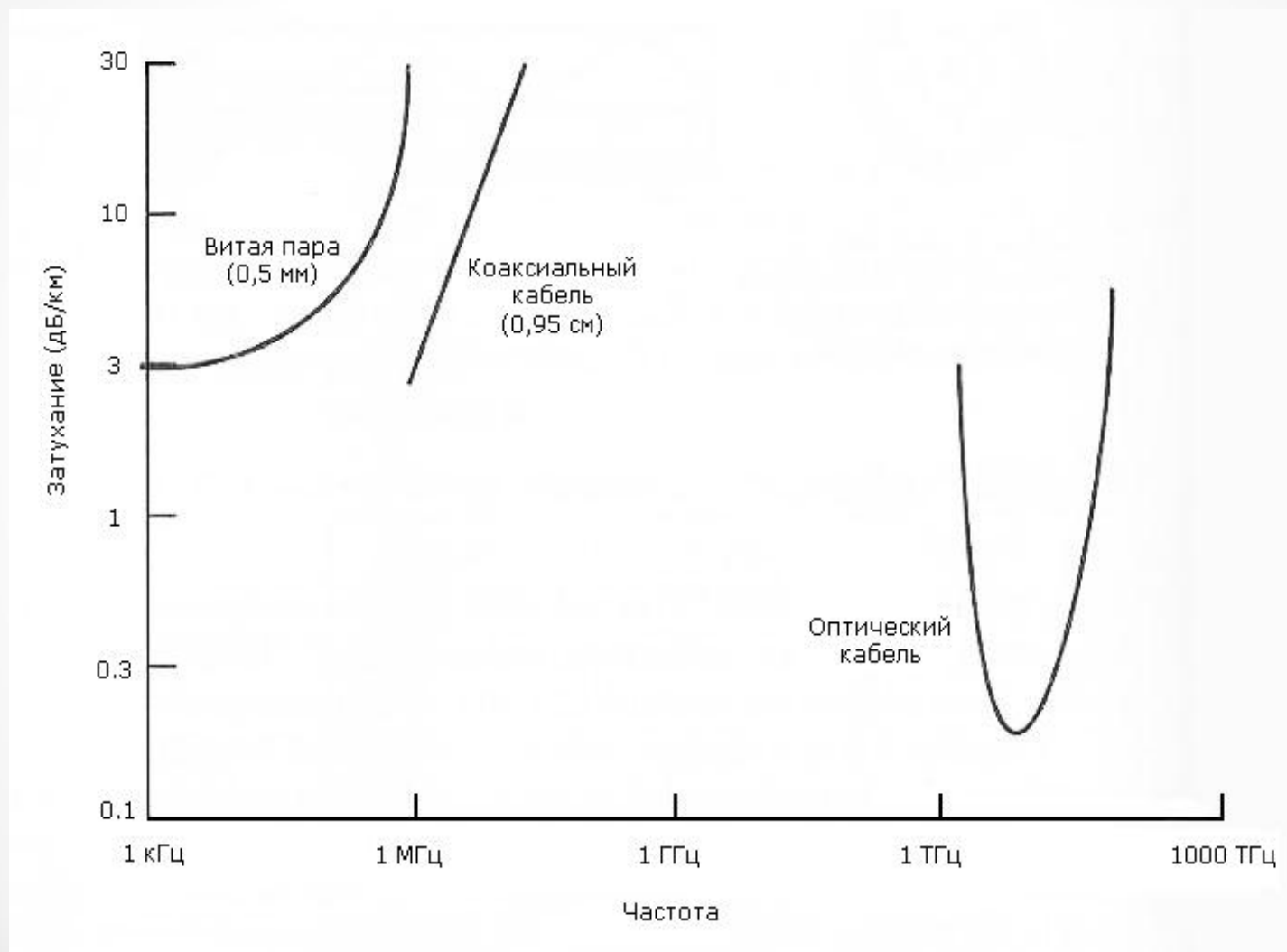
Table 4.2 Comparison of Shielded and Unshielded Twisted Pair

Frequency (MHz)	Attenuation (dB per 100 m)			Near-end Crosstalk (dB)		
	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP
1	2.6	2.0	1.1	41	32	58
4	5.6	4.1	2.2	32	23	58
16	13.1	8.2	4.4	23	14	50.4
25	—	10.4	6.2	—	11	47.5
100	—	22.0	12.3	—	8	38.5
300	—	—	21.4	—	—	31.3

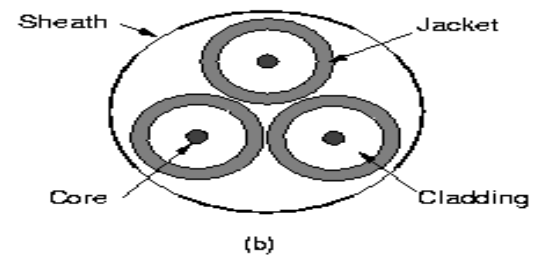
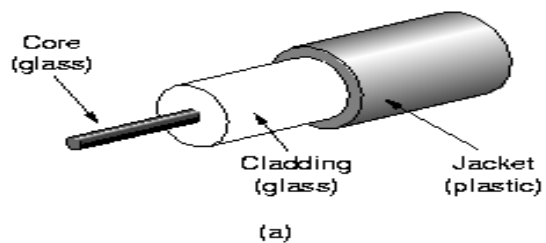


Коаксиальный кабель

Затухание в кабельных средах



ОПТОВОЛОКНО



ОПТОВОЛОКНО
а) одиночное; б) множественное

Сравнение медного кабеля и оптоволоконна

- оптоволоконно позволяет передавать сигнал на большее расстояние без промежуточного усиления (от 30 км и более для оптоволоконна и 5 км для меди)
- оптоволоконно тоньше.
- оптоволоконно легче: 1 км 1000 парника весит 8 000кг оптоволоконная пара аналогичной пропускной способности и длины - 100 кг.
- оптоволоконно трудно обнаружить, оно не излучает, а следовательно найти и повредить.

Сравнение медного кабеля и ОПТОВОЛОКНА

- оптоволокну инертно к электромагнитным воздействиям, радиации; ему не страшны нарушения питания, агрессивная химическая среда.
- оптоволокну сложнее монтировать
- работа с ним требует специальной подготовки инженеров, которая пока не столь распространена.
- подключение к оптоволокну дороже пока, чем подключение к витой паре.

Table 4.1 Point-to-Point Transmission Characteristics of Guided Media [GLOV98]

	Frequency Range	Typical Attenuation	Typical Delay	Repeater Spacing
Twisted pair (with loading)	0 to 3.5 kHz	0.2 dB/km @ 1 kHz	50 μ s/km	2 km
Twisted pairs (multi-pair cables)	0 to 1 MHz	3 dB/km @ 1 kHz	5 μ s/km	2 km
Coaxial cable	0 to 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 μ s/km	1 to 9 km
Optical fiber	180 to 370 THz	0.2 to 0.5 dB/km	5 μ s/km	40 km

THz = TeraHertz = 10^{12} Hz.