

Физический уровень

Принципы функционирования
физической среды передачи
данных

Динии СВЯЗИ Линии СВЯЗИ

Кабельные линии связи



Витая пара

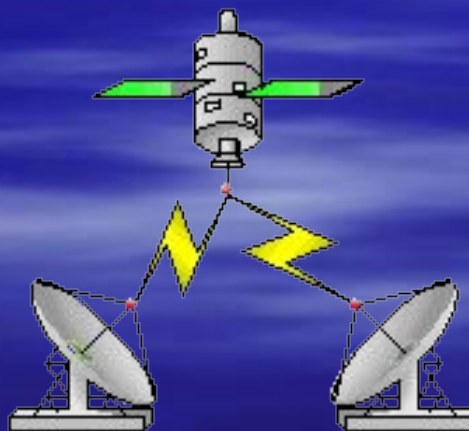
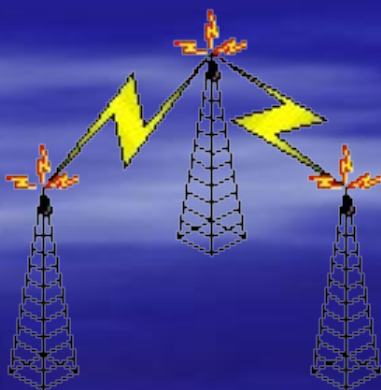


Коаксиал



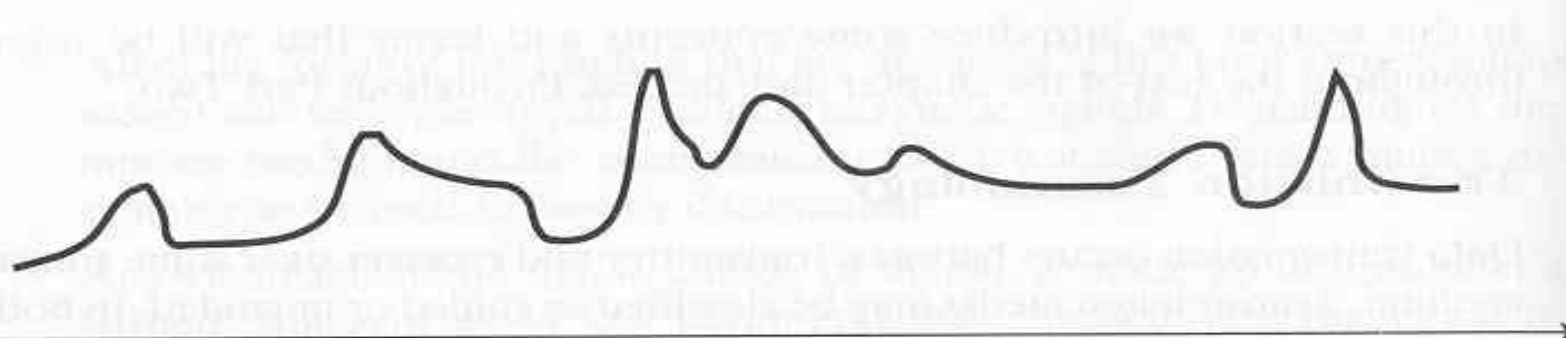
Оптоволокно

Беспроводные линии связи



Сигнал как функция времени - непрерывные vs дискретные

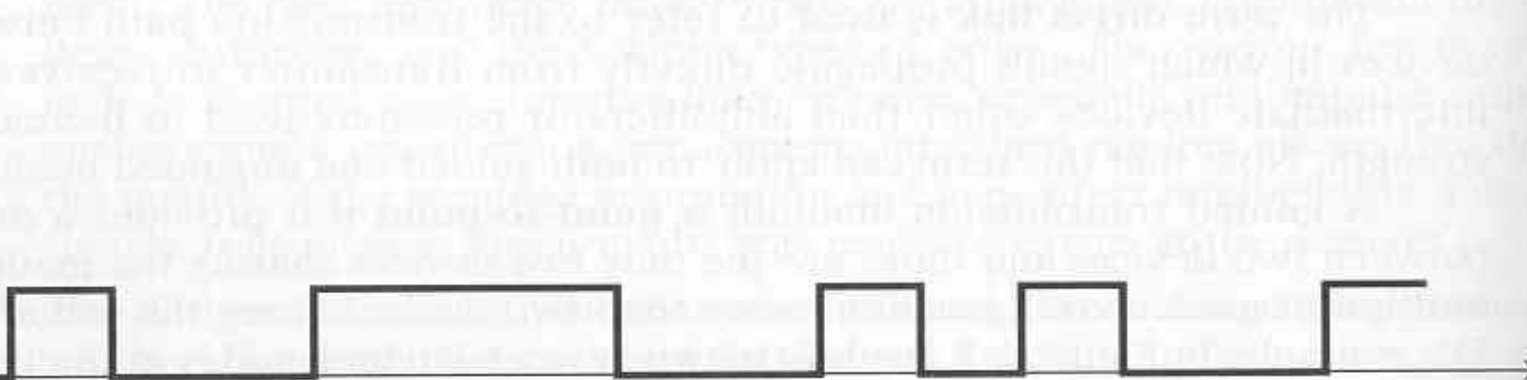
Amplitude
(volts)



Time

Непрерывный

Amplitude
(volts)



Time

Дискретный

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 факторы СПД - полоса пропускания, скорость передачи для цифровых данных, уровень шума, уровень ошибок при передаче

Сигнал как функция частоты

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

- где f - частота, a_n, b_n – амплитуды n -ой гармоники

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt, \quad c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt.$$

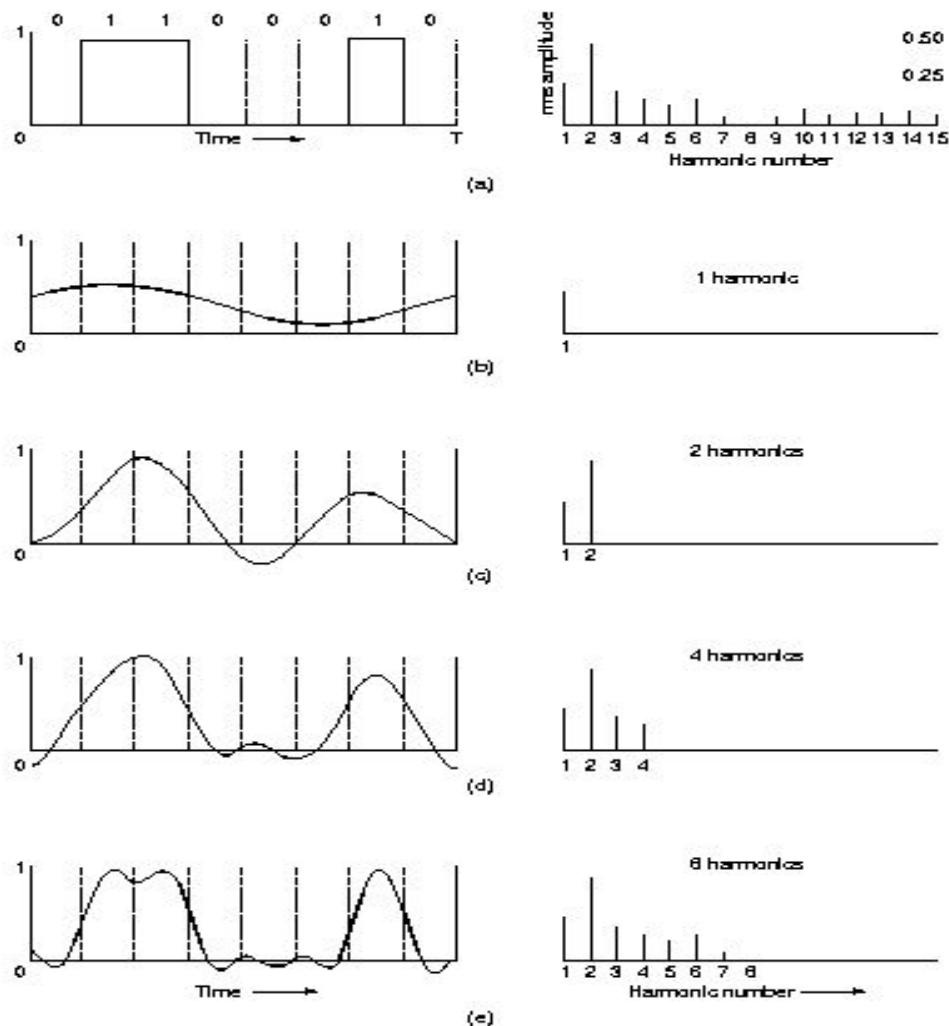
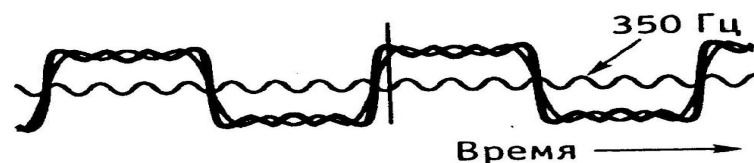
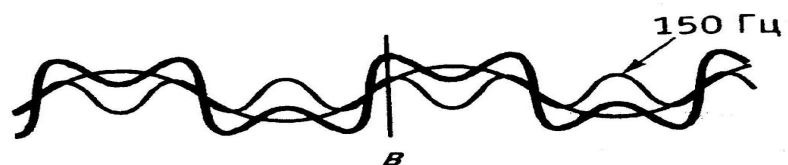
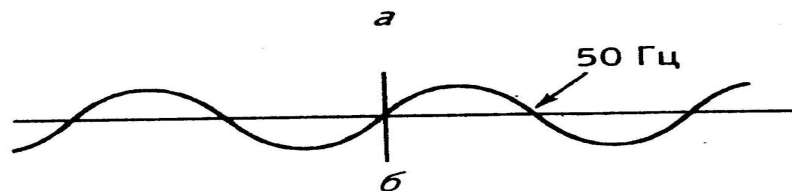
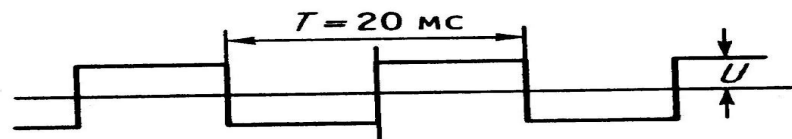
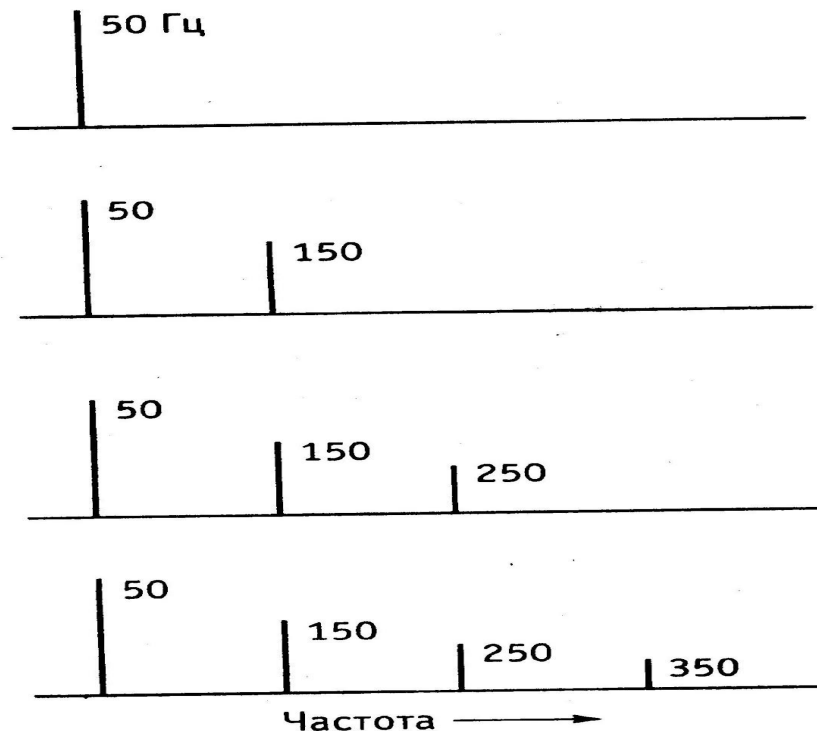


Fig. 2-1. (a) A binary signal and its root-mean-square Fourier amplitudes. (b)-(e) Successive approximations to the original signal.



д

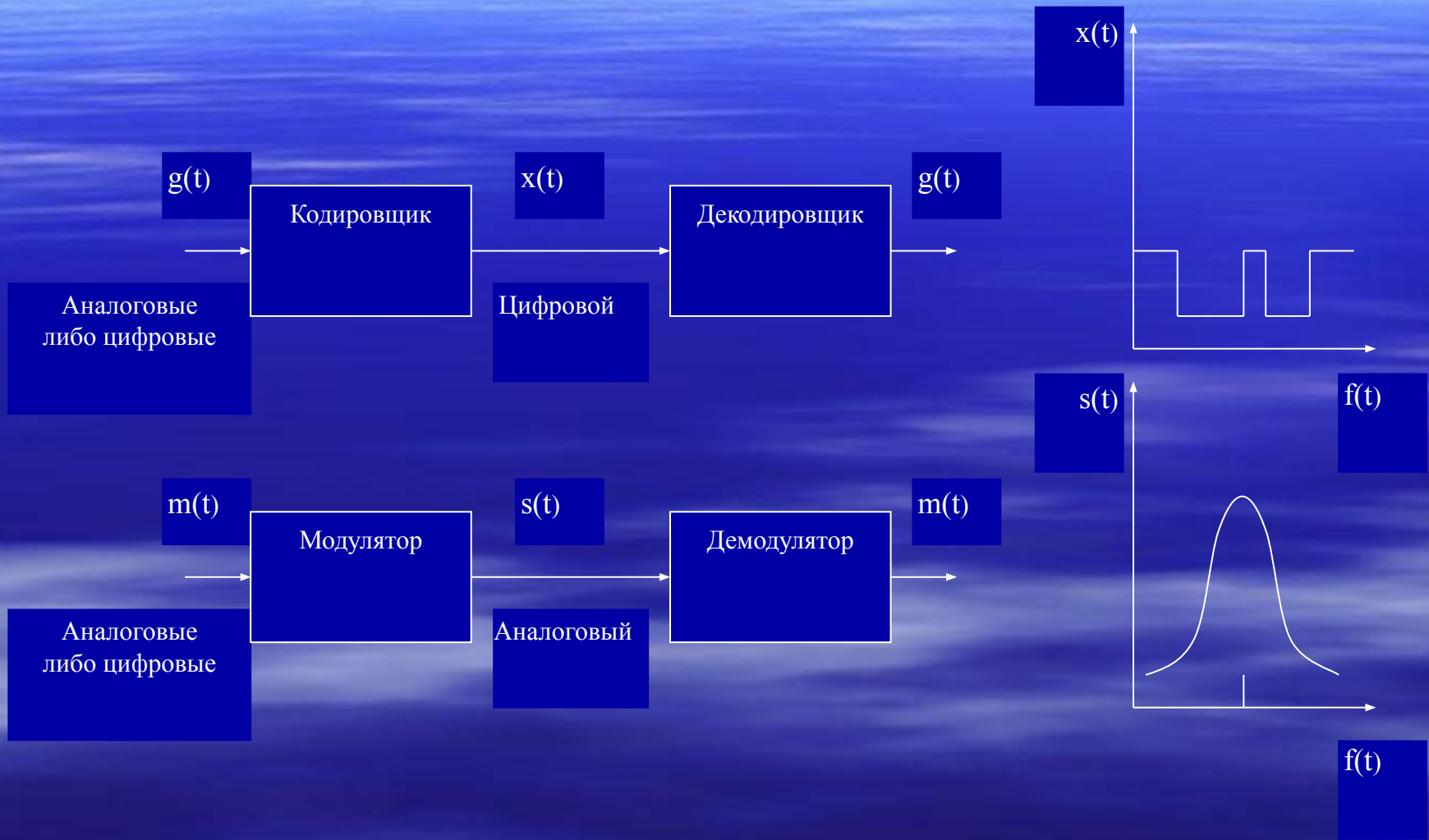


$$s(t) = S_1 \sin \omega_1 t + \frac{S_1}{3} \sin 3\omega_1 t + \frac{S_1}{5} \sin 5\omega_1 t + \frac{S_1}{7} \sin 7\omega_1 t + \frac{S_1}{9} \sin 9\omega_1 t + \frac{S_1}{11} \sin 11\omega_1 t + \dots$$

Сигналы

- Сигналы - аналоговые vs цифровые
 - аналог.данные - аналог.сигнал (соответствие спектров частот)
 - цифр.данные - аналог.сигнал (модем)
 - аналог.данные - цифр.сигнал (оцифровка)
 - цифр.данные - цифр.сигнал (количество уровней сигнала)

Схемы аналоговой и цифровой передачи



Analog signals: Represent data with continuously varying electromagnetic wave

Analog data
(voice sound waves)



Telephone



Analog signal

Digital data
(binary voltage pulses)



Modem



Analog signal
(modulated on
carrier frequency)

Digital signals: Represent data with sequence of voltage pulses

Analog signal



CODEC



Digital signal

Digital data



Digital
transmitter



Digital signal

Figure 3.11 Analog and Digital Signaling of Analog and Digital Data

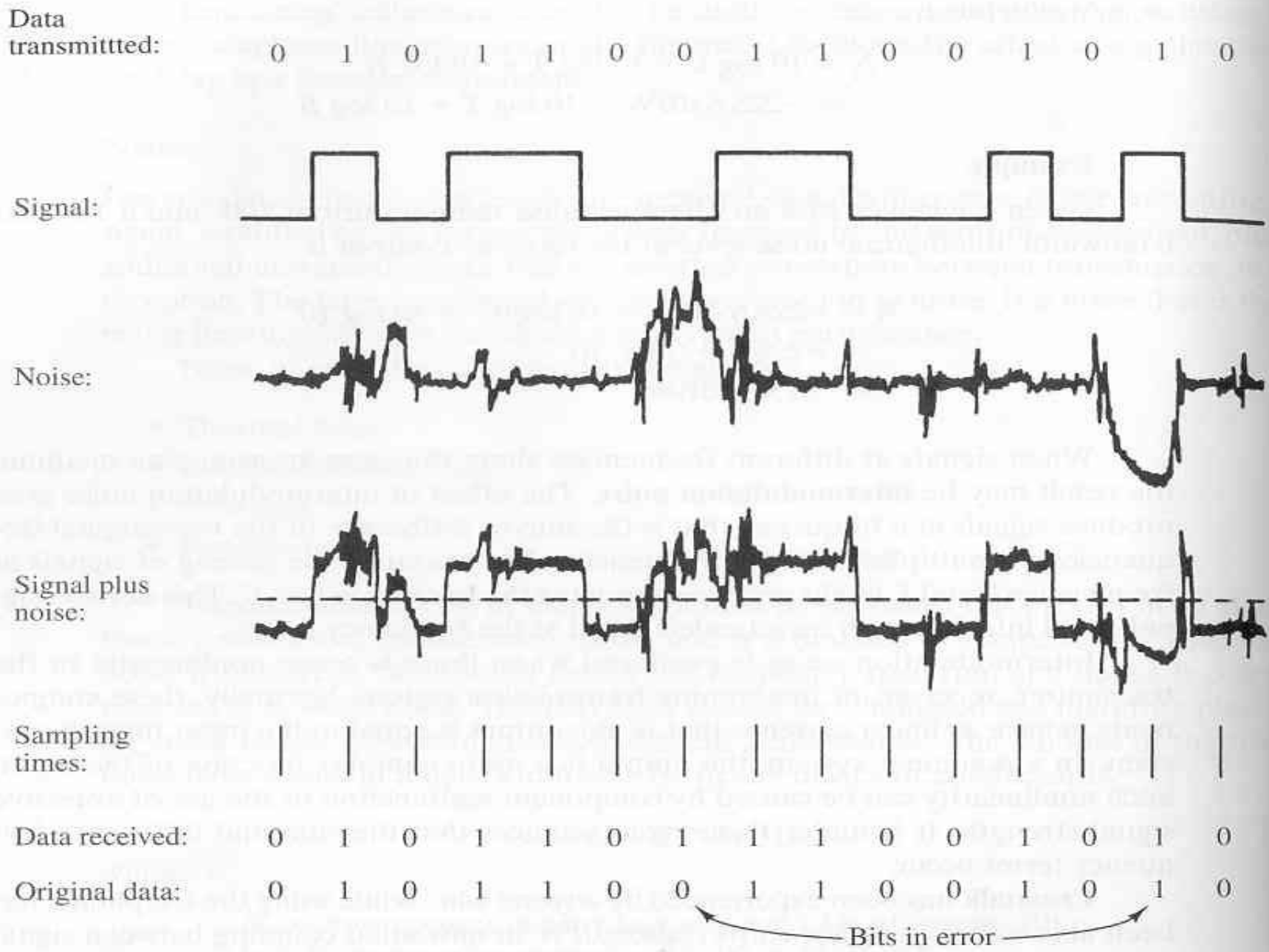


Figure 3.13 Effect of Noise on a Digital Signal.

Преимущества цифрового сигнала перед аналоговым

- 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.

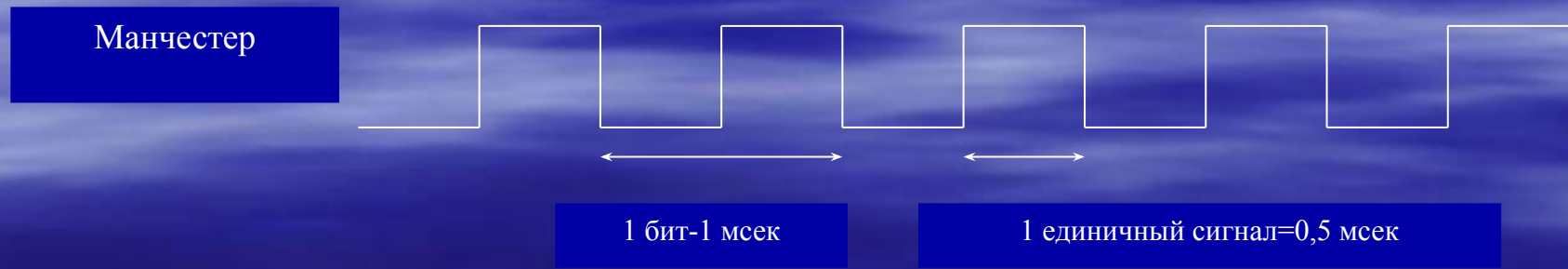
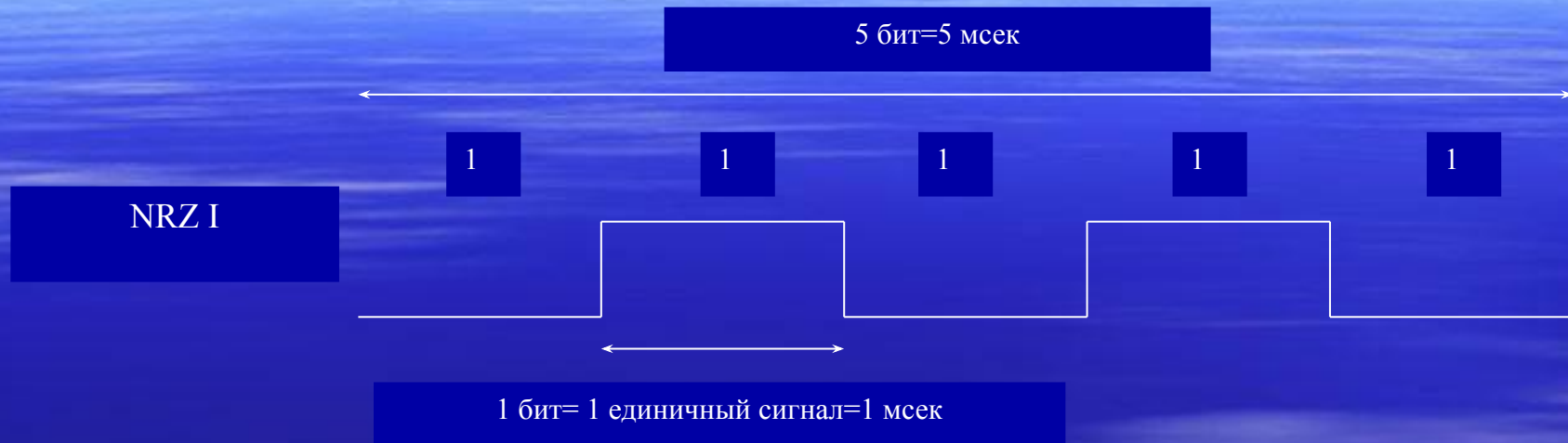
Аналоговая vs цифровая передача

- цифровая передача более надежна в силу выше сказанного.
- по цифровой сети можно передавать и данные и голос и музыку одновременно и с большей скоростью.
- цифровая передача дешевле, так как не надо тратить большие усилия на восстановление формы 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.
- Характеристику канала, определяющую спектр частот, которые канал пропускает без существенного понижения мощности сигнала, называют **шириной полосы пропускания**
- 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 **бодах**.

Сигнальная скорость



Взаимосвязь пропускной способности канала и его полосы пропускания

- Максимальную скорость, с которой канал способен передавать данные, называют **пропускной способностью канала**.
- В 1924 Найквист открыл взаимосвязь пропускной способности канала и ширины его полосы пропускания (максимальная частота сигнала).

Теорема Найквиста

$$V_{\text{max data rate}} = 2H \log_2 M \text{ bps} ,$$

где H – ширина полосы пропускания канала,
 M - количество уровней, которые может принимать сигнал.

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).
- для случая канала с шумом есть Теорема Шеннона

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

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

Это - теоретический предел, которой редко достигается на практике.

Сигналы с ограниченной полосой пропускания

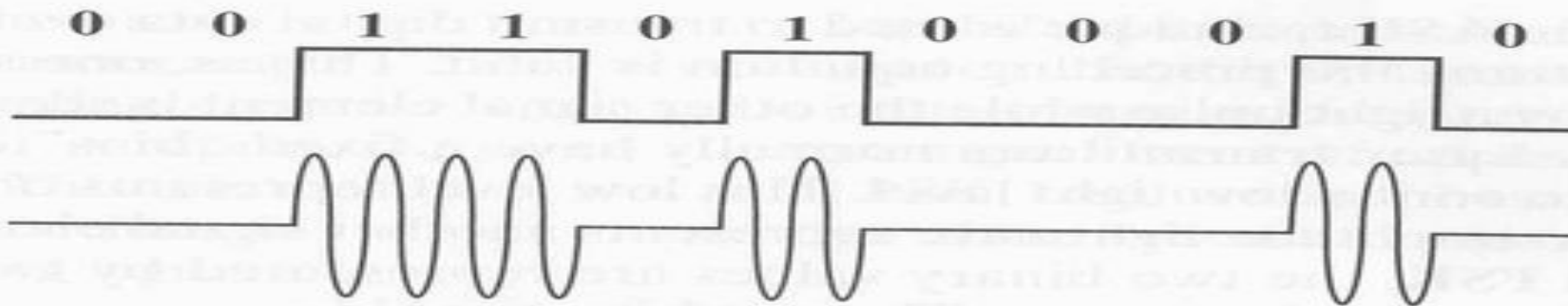
- Пример канала с шумом:
 - $H=3\text{КГц}$, шум= 30дВ следовательно $V_{\text{max}}=30000$ бит/сек
- Пример влияния ширины полосы пропускания на битовую скорость передачи
 - b – сигнальная скорость, надо передать 8 бит, H – ширина полосы,
 - Мах число гармоник = $(8H)/b = (3000 * 8)/b$
при $b=9600$ не более 2 гармоник.

Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

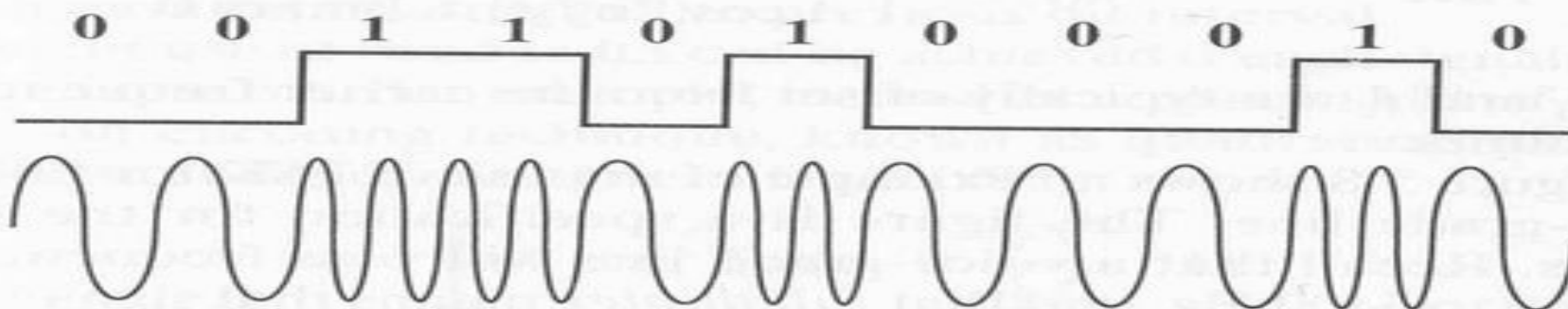
Fig. 2-2. Relation between data rate and harmonics.

Цифровые данные – Аналоговый сигнал

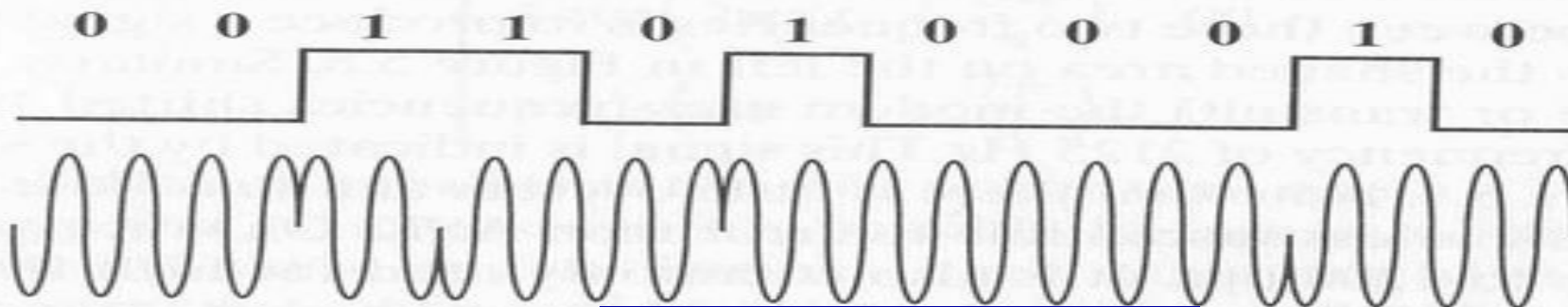
- Телефонные сети были созданы для передачи и коммутации аналоговых сигналов в голосовом диапазоне частот от 300 до 3400 Гц.
- Модем (МОдулятор–ДЕМОдулятор) преобразует цифровой сигнал в аналоговый в надлежащем диапазоне частот и наоборот.
- Есть три основных метода модуляции для преобразования цифровых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



Амплитудная модуляция

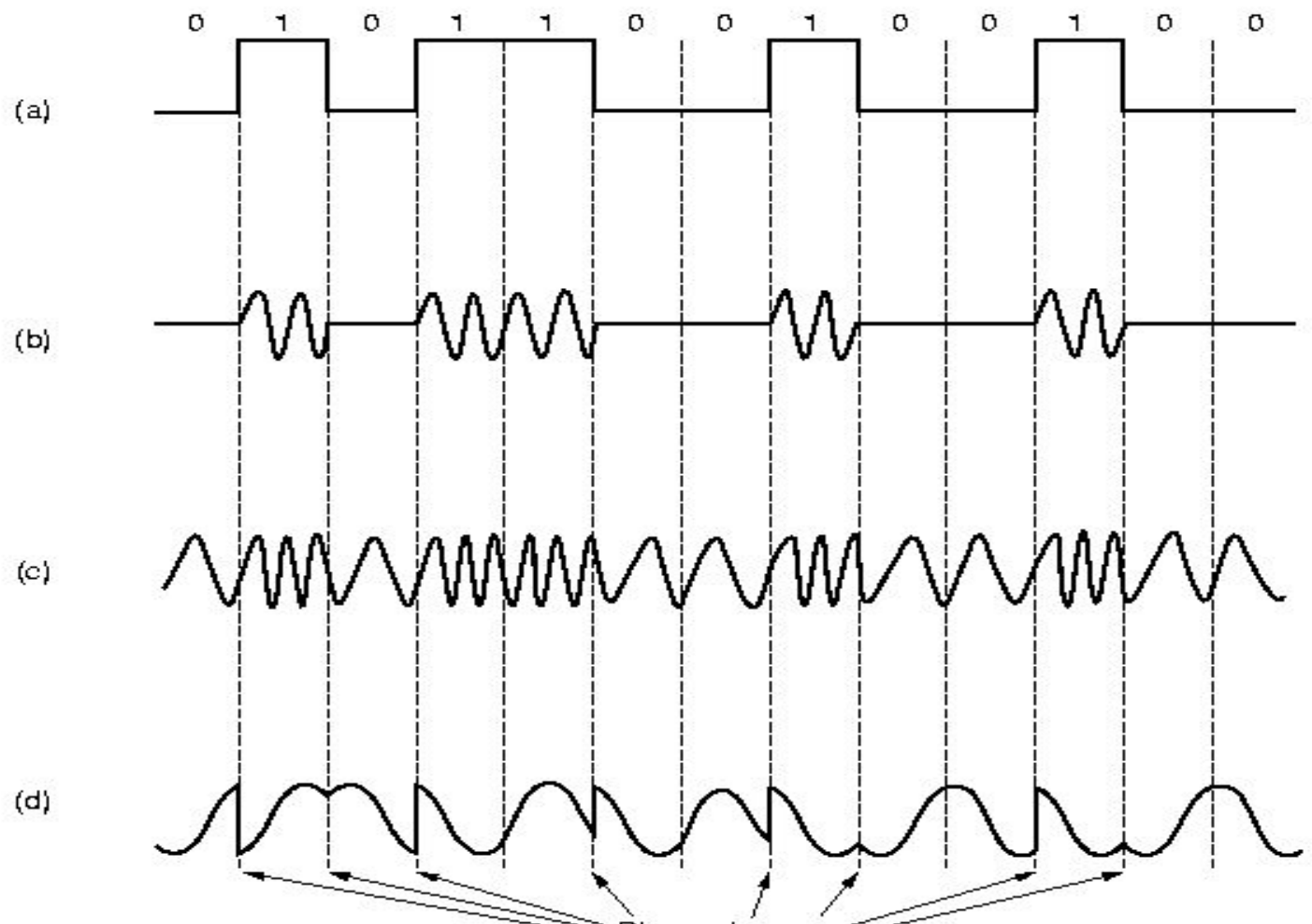


Частотная модуляция



Фазовая модуляция

Основные методы модуляции



Цифровые данные – Аналоговый сигнал

$$D=R/b=R/(\log_2 L),$$

- где D – скорость модуляции (сигнальная скорость)
- R – битовая скорость (скорость передачи данных)
- L – число разных уровней единичных сигналов
- b – число бит на единичный сигнал.

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)

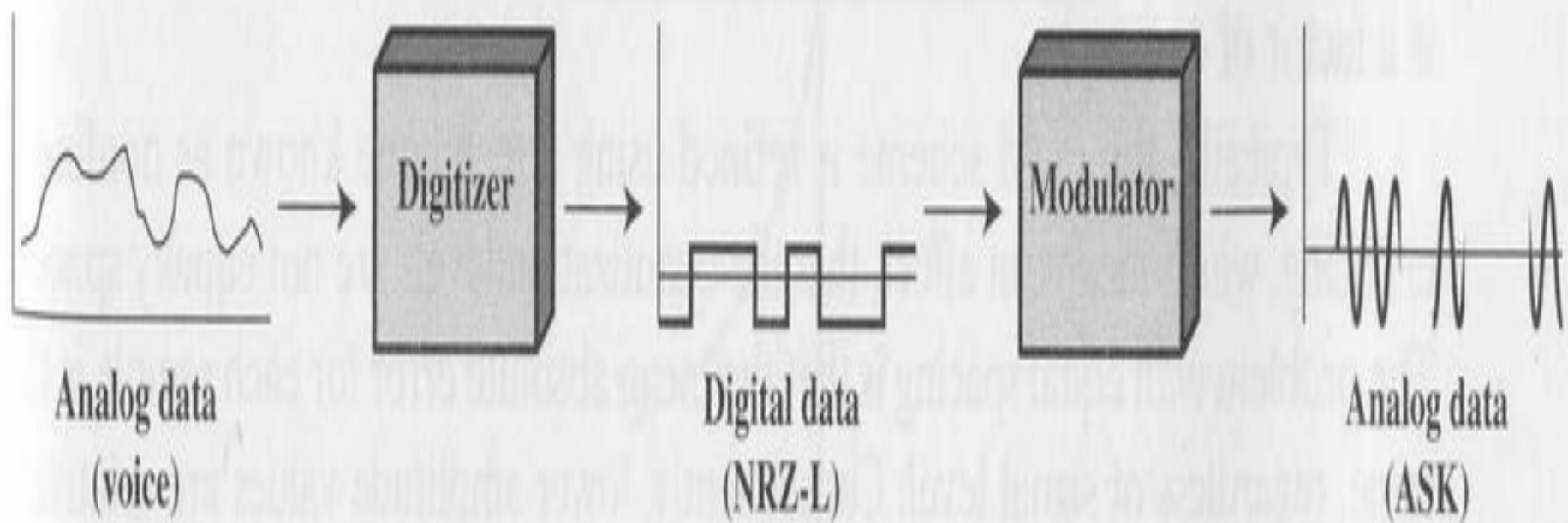
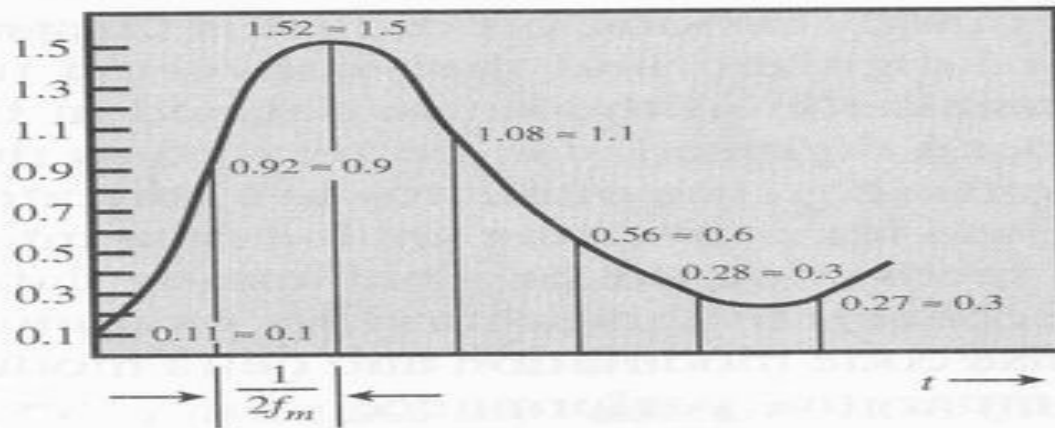


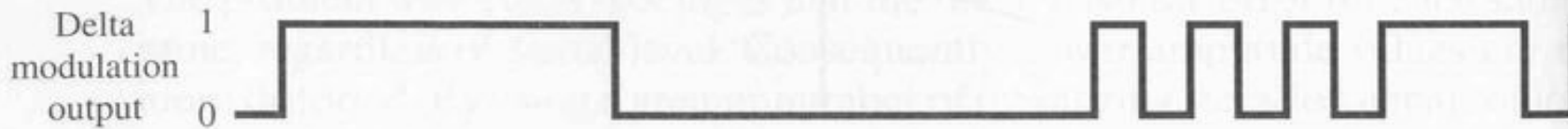
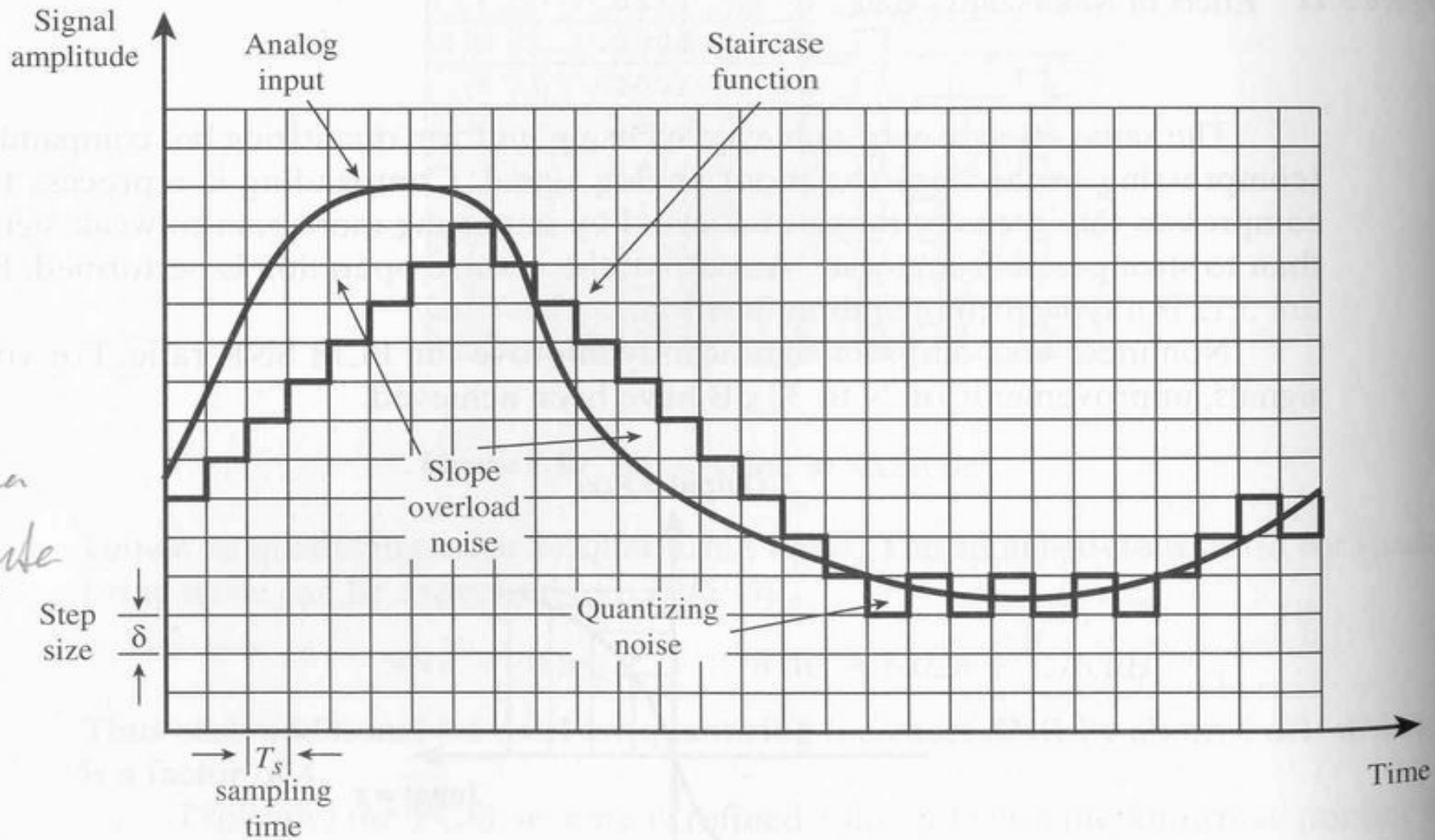
Figure 5.9 Digitizing Analog Data



(a)

Digit	Binary equivalent	PCM waveform
0	0000	Four low-level pulses
1	0001	Three low-level pulses, one high-level pulse
2	0010	Two low-level pulses, two high-level pulses
3	0011	One low-level pulse, three high-level pulses
4	0100	Three low-level pulses, one high-level pulse
5	0101	Two low-level pulses, two high-level pulses
6	0110	One low-level pulse, three high-level pulses
7	0111	Four high-level pulses
8	1000	One high-level pulse, three low-level pulses
9	1001	Two high-level pulses, two low-level pulses
10	1010	Three high-level pulses, one low-level pulse
11	1011	Four high-level pulses
12	1100	One high-level pulse, three low-level pulses
13	1101	Two high-level pulses, two low-level pulses
14	1110	Three high-level pulses, one low-level pulse
15	1111	Four high-level pulses

Импульсно-кодовая модуляция



Дельта модуляция

Аналоговые данные – аналоговый сигнал

- Где возникает потребность передавать аналоговые данные с помощью аналоговых сигналов?
- При амплитудной модуляции форма результирующего сигнала определяется формулой:

$$S(t) = [1+n_a x(t)]\cos 2\pi f_c t,$$

- где f_c – частота несущей,
- n_a – индекс модуляции, который определяют как отношение амплитуды исходного сигнала к амплитуде несущего сигнала.
- В наших обозначениях
- $m(t)=1+n_a x(t)$.
- Форма результирующего сигнала при частотной модуляции определяется следующим выражением:

$$S(t) = A_c \cos (2\pi f_c t+ n_f m(t)),$$

- где n_f – индекс частотной модуляции.
- Сигнал, получаемый фазовой модуляцией, определяет соотношение:

$$S(t) = A_c \cos (2\pi f_c t+ n_p m(t)),$$

- где n_p – индекс частотной модуляции.

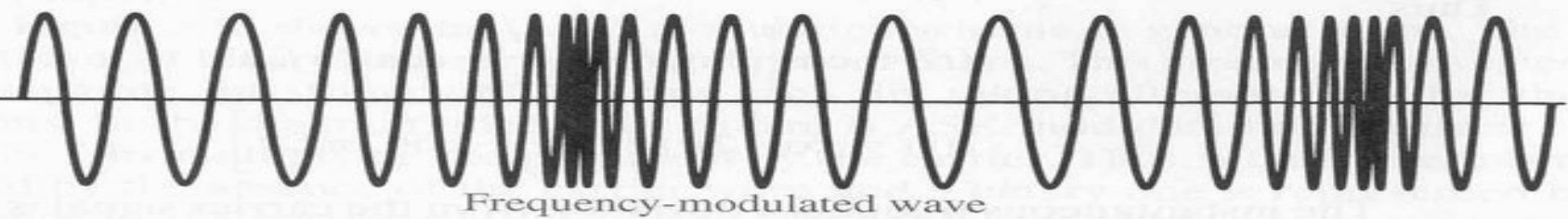
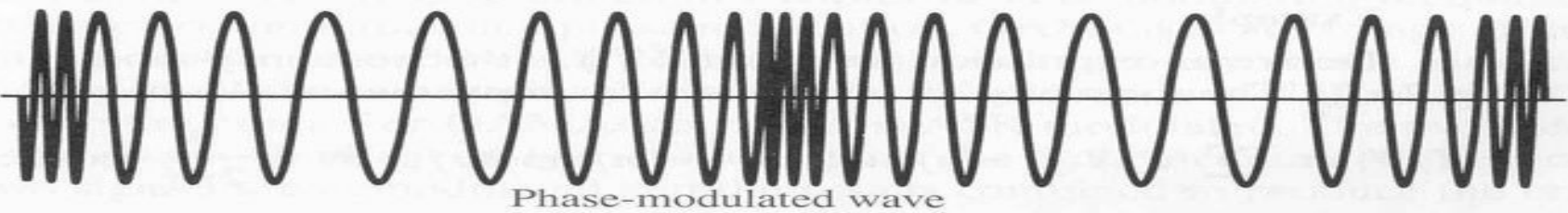
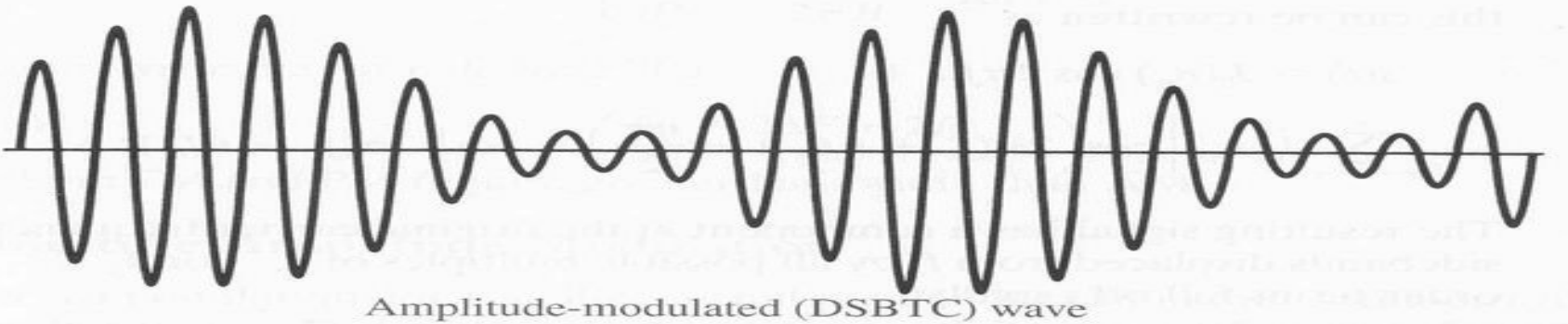
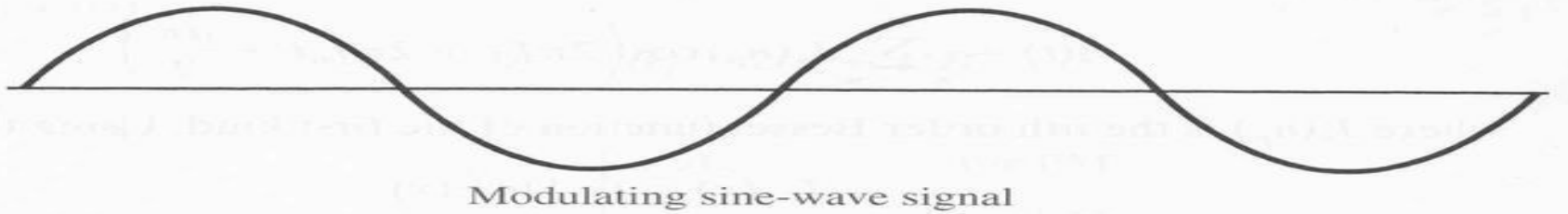
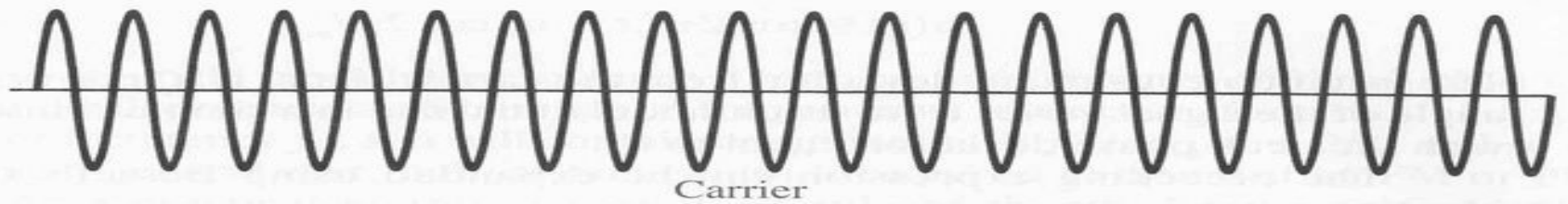


Figure 5.17 Amplitude, Phase, and Frequency Modulation of a Sine-Wave Carrier by a Sine-Wave Signal

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.

Цифровые данные – Цифровые сигналы

- Единичный сигнал
- Униполярные сигналы
- Битовый интервал
- Сравнение кодов
 1. Ширина спектра сигнала
 2. Синхронизация между приемником и передатчиком
 3. Обнаружение ошибок
 4. Чувствительность к шуму
 5. Стоимость и скорость

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

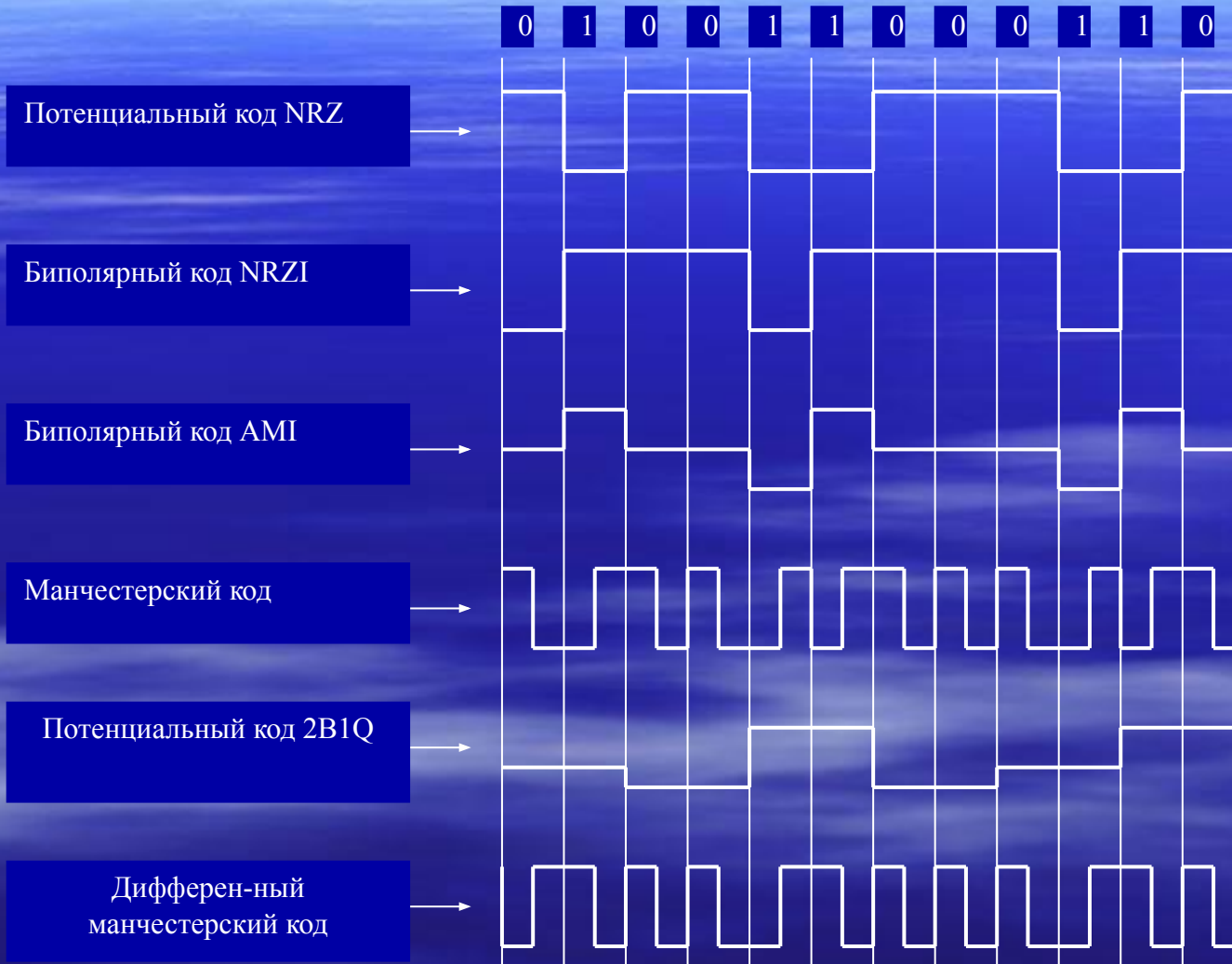
0 – переход с высокого на низкий потенциал в середине интервала

1 – переход с низкого на высокий потенциал в середине интервала

Потенциальный код 2B1Q

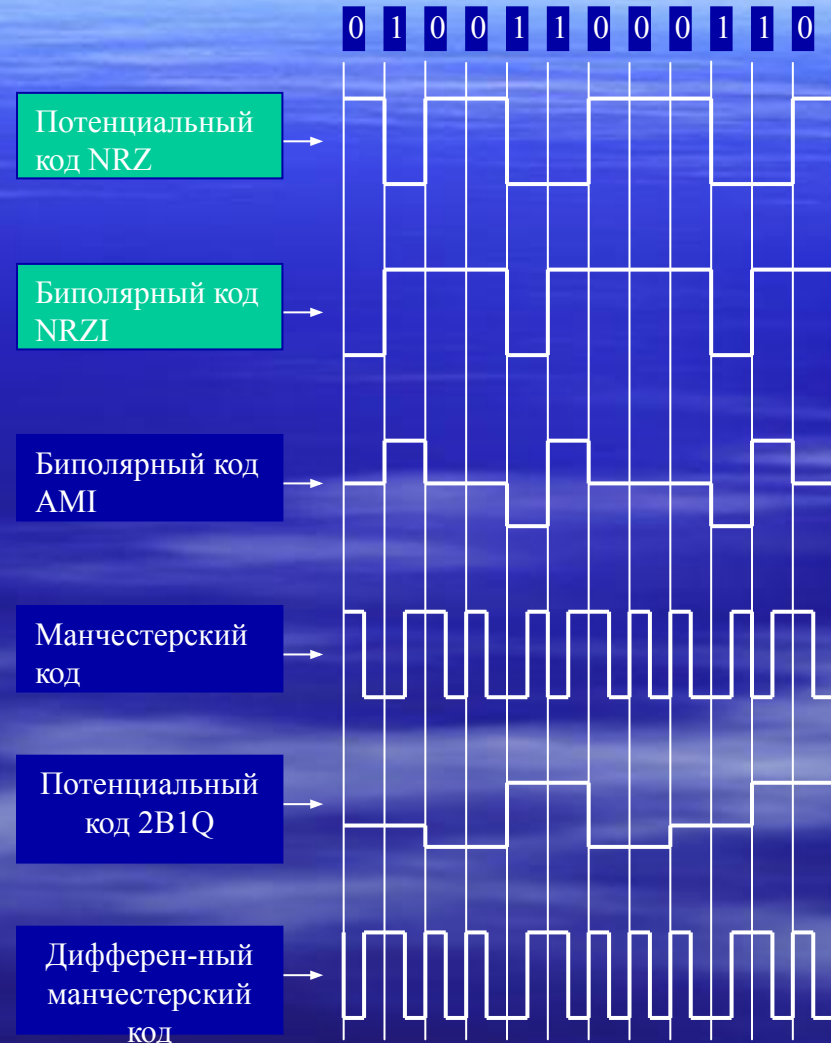
Метод использует 4 уровня сигнала, значению уровня соответствует

Примеры кодов



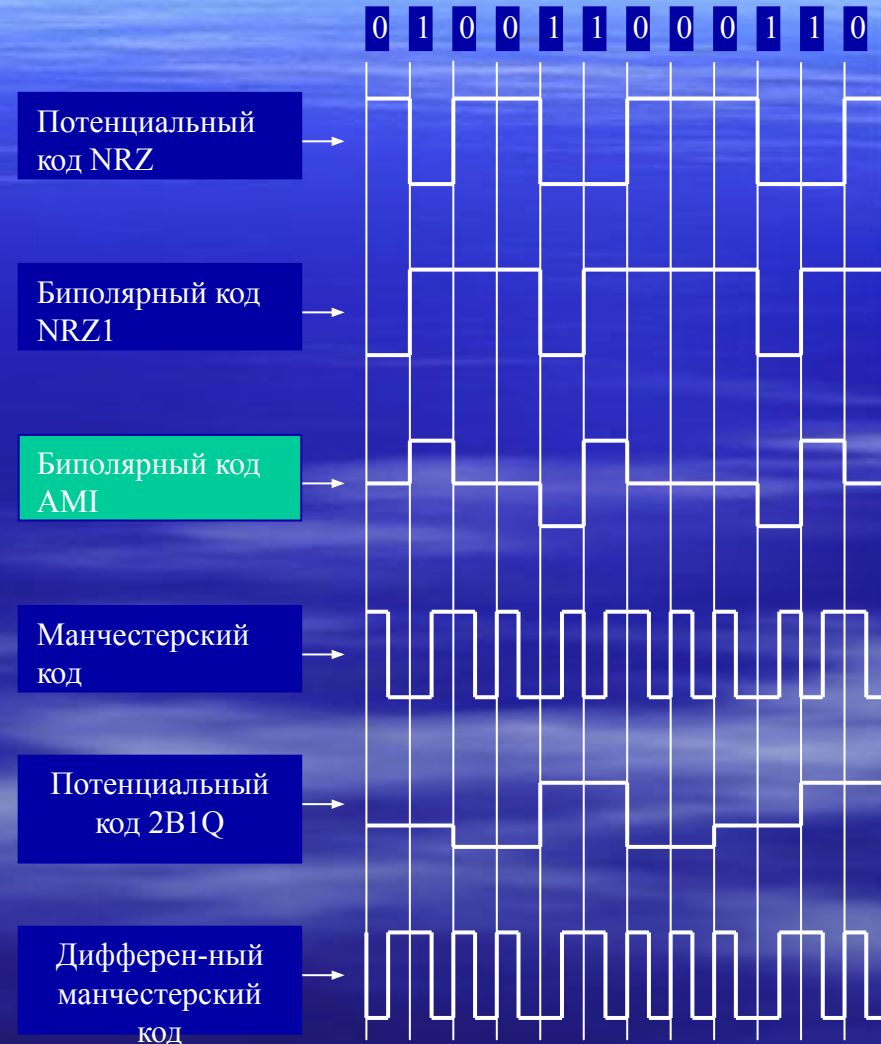
Потенциальный NRZ код

- NRZ – Non Return to Zero – без возврата к нулю на битовом интервале
- Основным недостатком этого кода является отсутствие синхронизации.
- Модификацией NRZ кода и хорошим примером дифференциального кодирования является NRZ-I код



Биполярный код АМІ

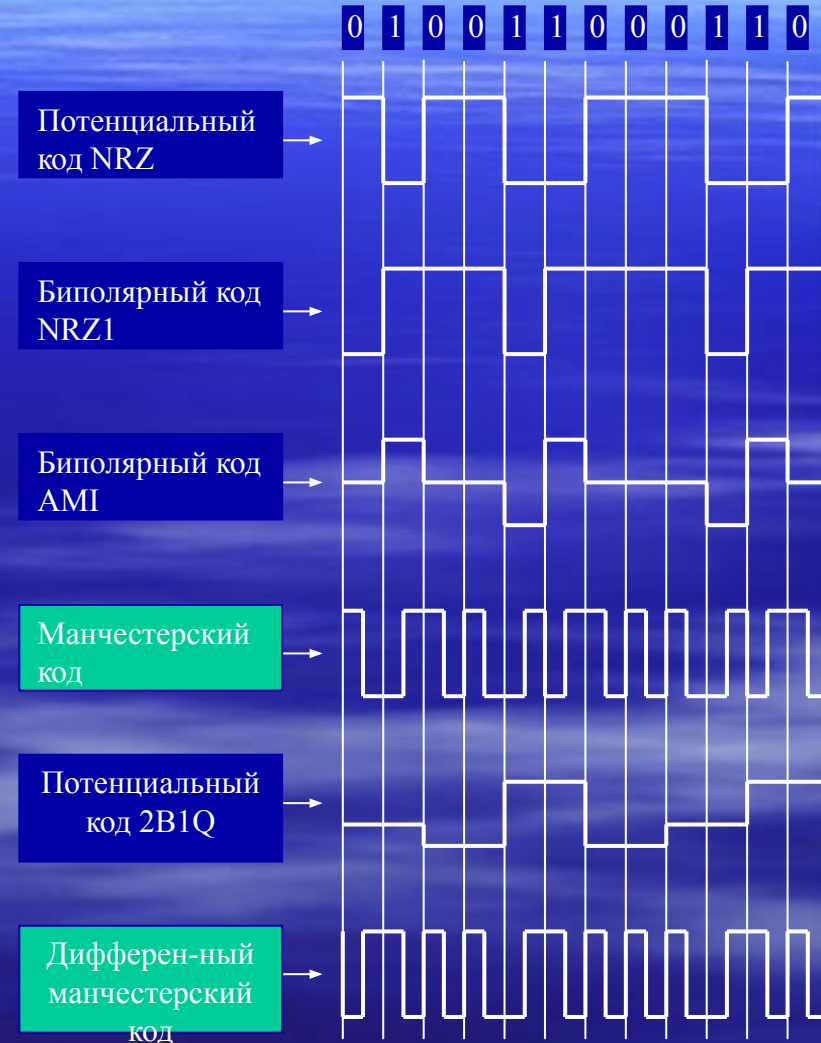
- Bipolar Alternate Mark Inversion –АМІ
- Три уровня сигнала. Потенциал каждой последующей единицы противоположен потенциалу предыдущей.
- При длительной последовательности 1 рассинхронизация не происходит
- Спектр сигнала уже, чем у NRZ кодов
- Правило чередования уровней позволяет обнаруживать единичные 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.



Биполярные импульсные

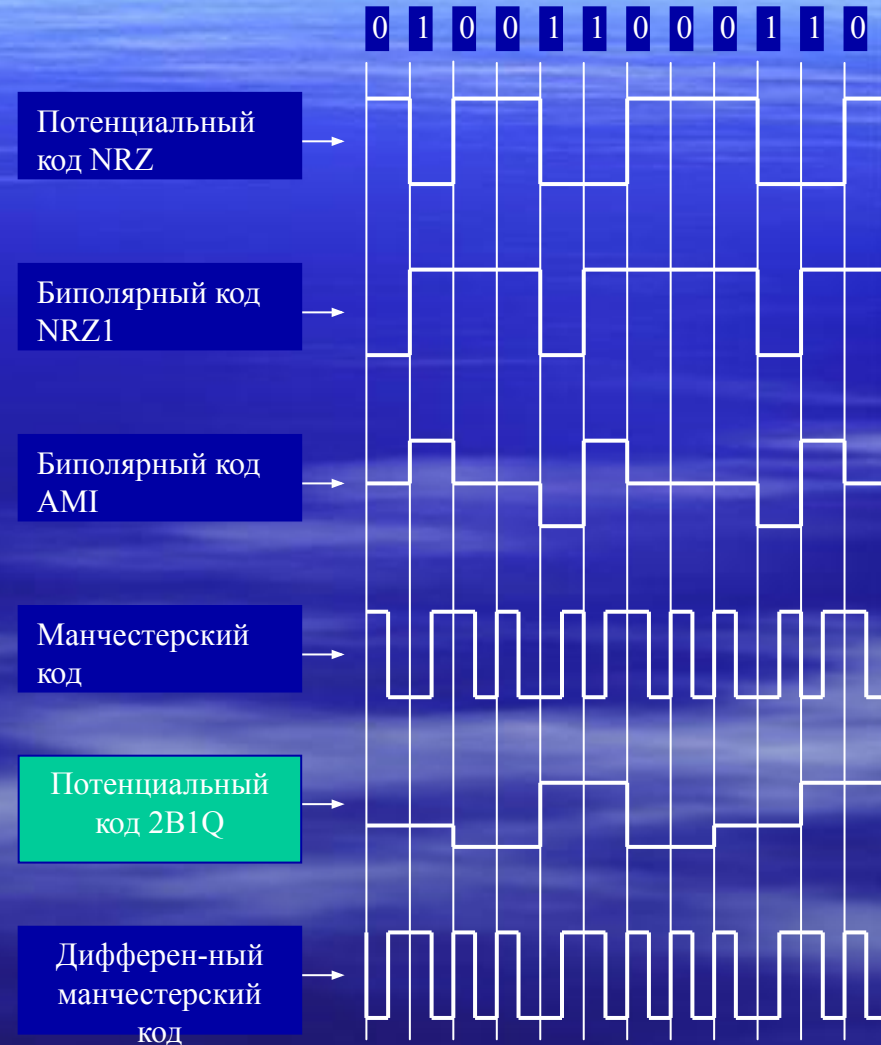
КОДЫ

- 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
 - отсутствие единичных ошибок.



Потенциальный код 2В1Q

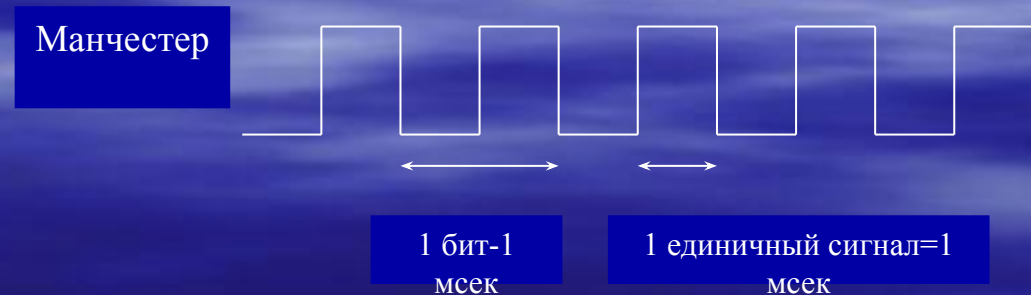
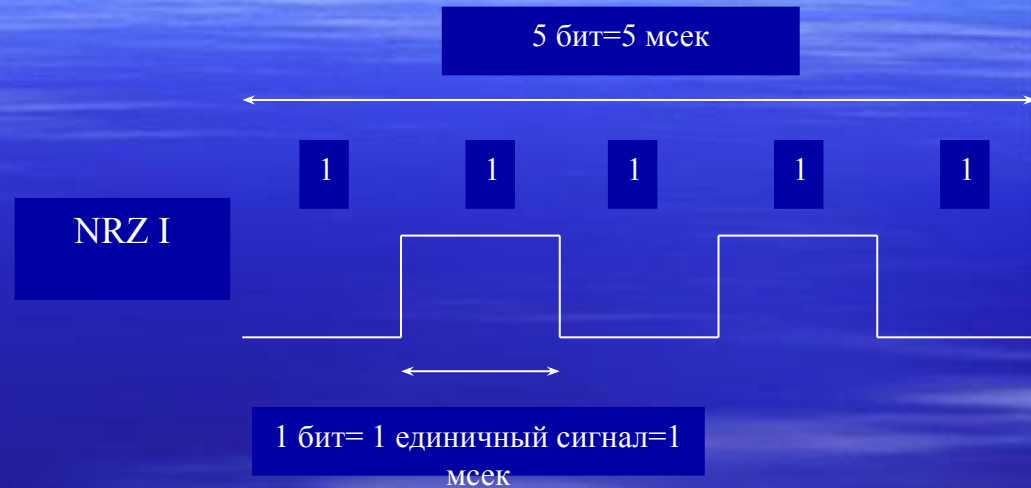
- Каждые два последовательных бита (2В) передаются за один битовый интервал сигнала, который может иметь четыре состояния (1Q).
- У этого метода сигнальная скорость в два раза ниже, чем NRZ и AMI кодов, а спектр сигнала в два раза уже.
- Этот метод требует более мощного передатчика и более сложного приемника,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



Сигнальная скорость

$$D = R/b ,$$

- где D – сигнальная скорость, R – битовая скорость в бит/сек., b – количество бит на единичный сигнал



Среды передачи

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

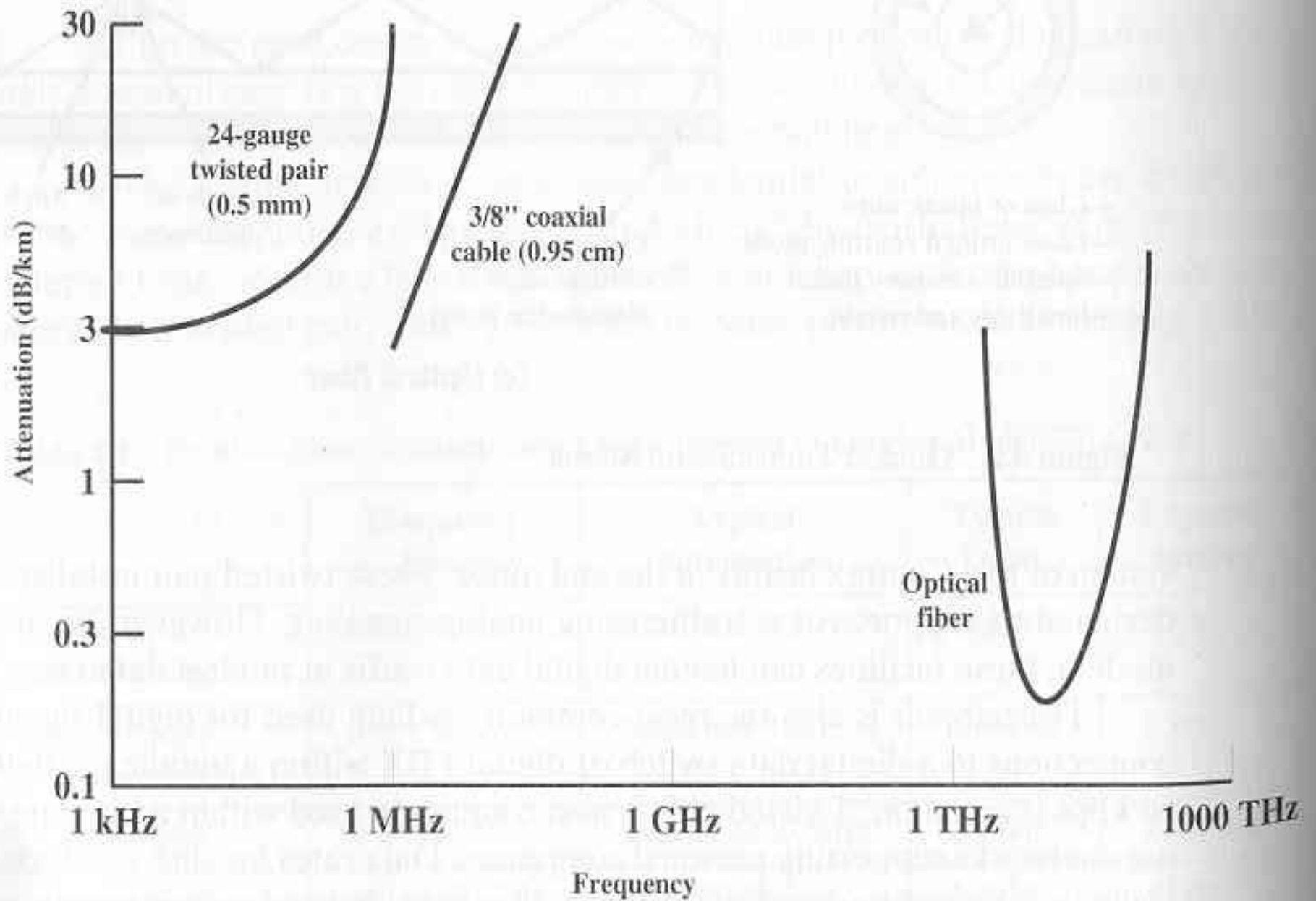


Figure 4.3 Attenuation of Typical Guided Media

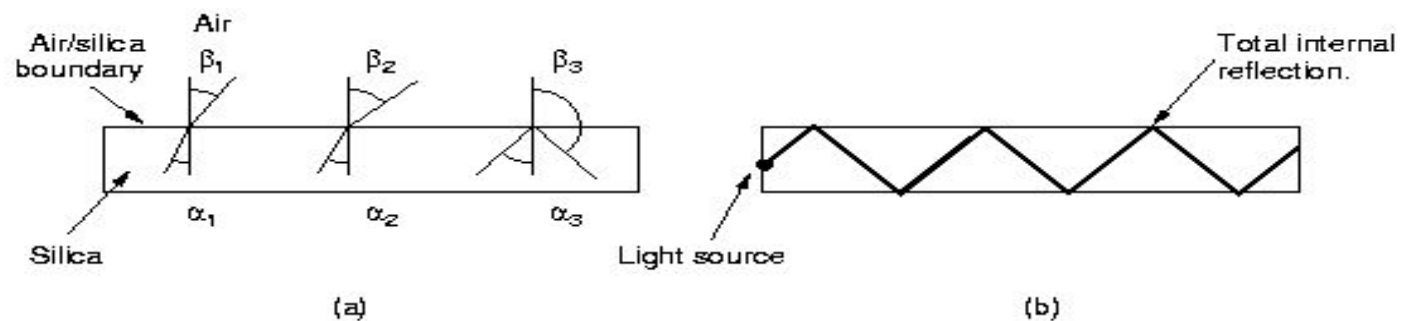


Fig. 2-5. (a) Three examples of a light ray from inside a silica fiber impinging on the air/silica boundary at different angles. (b) Light trapped by total internal reflection.

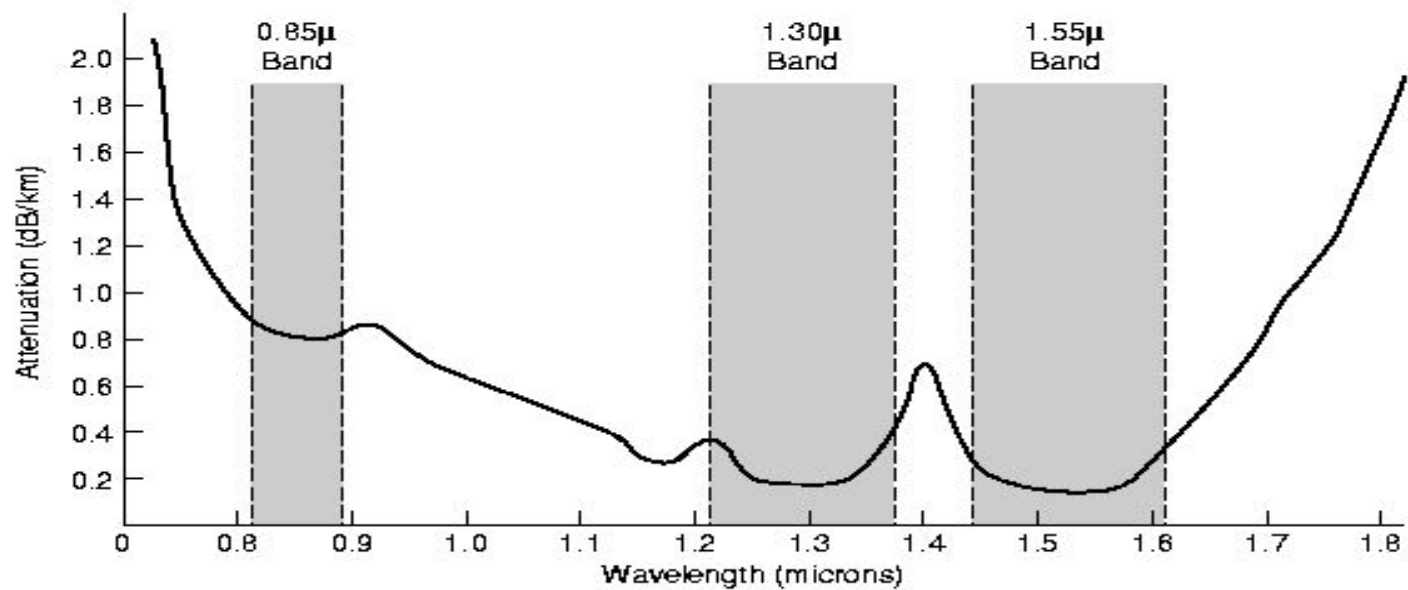


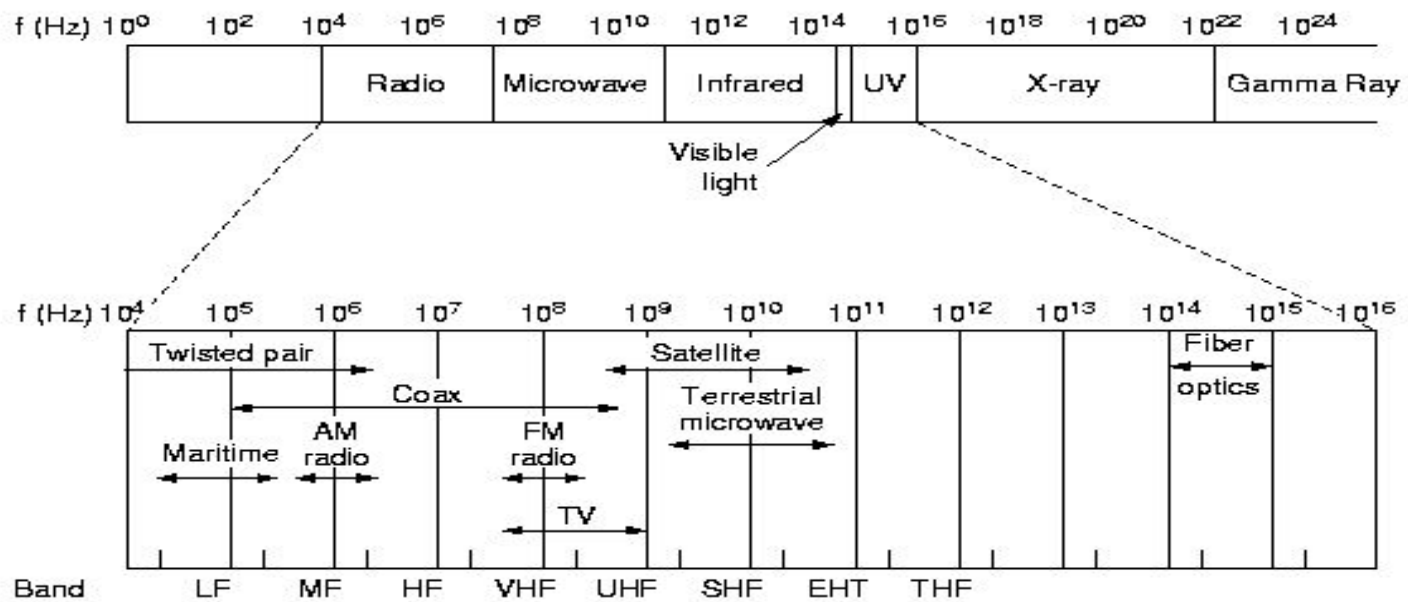
Fig. 2-6. Attenuation of light through fiber in the infrared region.

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

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



Использование электромагнитного спектра для передачи данных

Беспроводная связь

- Электромагнитный спектр

$$\lambda f = C;$$

$$\Delta f = \frac{C \Delta \lambda}{\lambda^2}$$

$$\frac{df}{d\lambda} = -\frac{C}{\lambda^2}$$

Если взять $\lambda = 1.3 \times 10^{-6}$ и $\Delta \lambda = 0.17 \times 10^{-6}$, то Δf будет около 30