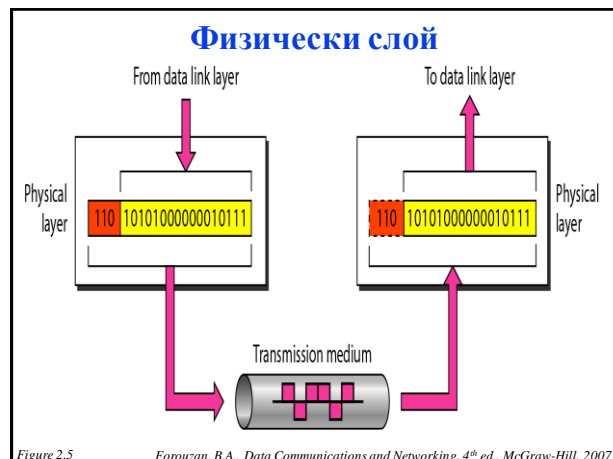


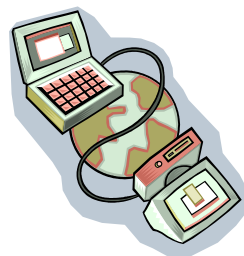
Физически слой



Физически слой: Основни функции

- Предаване/приемане на сигнали по/от преносната среда
- Преобразуване на сигнали (кодиране и модулация)
- Физически интерфейси
- Мултиплексиране

Физически слой: Предаване/приемане на данни



- Успешното предаване/приемане на данни зависи от 2 фактора:
 - Качеството на сигнала
 - Характеристиките на преносната среда

Физически слой: Предаване/приемане на данни (прод.)

Предаването на данни се осъществява между предавателя и приемника по преносната среда

Комуникацията е под формата на обмен на електро-магнитни сигнали

Кабелна среда

усукана двойка, коаксиален кабел, оптично влакно

Безжична среда

въздух, вакуум, вода, плазма

Видове комуникационни линии

- **Директна линия** (пряка връзка)
 - Без междинни устройства между предавателя и приемника
 - Тип `точка-точка`
 - Например, между компютър и периферно устройство.
 - Само 2 устройства си поделят линията
 - Многоточкова
 - Например, локална мрежа (LAN).
 - Повече от 2 устройства си поделят линията
- **Индиректна линия**
 - Наличие на междинни устройства между предавателя и приемника

Режими на предаване

• Симплекс

- Сигналите се предават винаги само в една посока
- Например, телевизия и радио.



• Полудуплекс

- И двете страни предават, но не едновременно.
- Например, радио за такси.



• Пълен дуплекс

- Едновременно предаване в двете посоки
- Например, телефон.



Комуникация: Термини

• Данни

- Субекти със смисъл

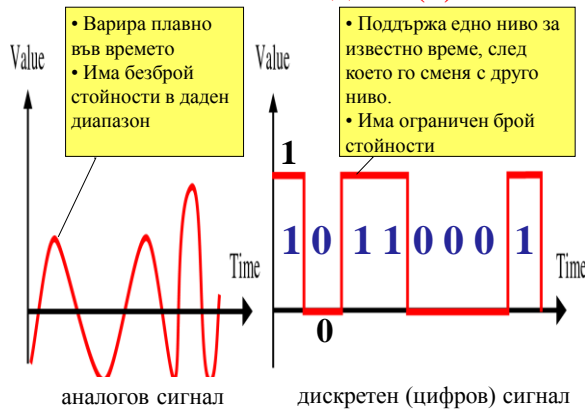
• Сигнали

- Електрическо или електромагнитно представяне на данните

• Комуникация

- Обмен на данни чрез разпространение и обработка на сигнали

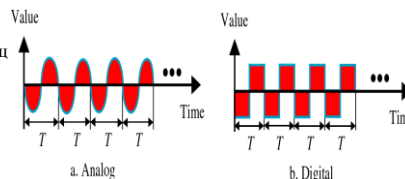
Сигнали: Видове (1)



Сигнали: Видове (2)

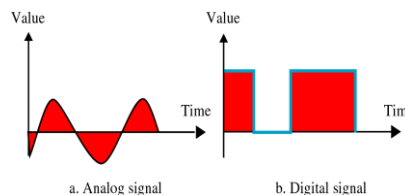
• Периодичен сигнал

- Шаблон, повтарящ се с период T .
- Завършването на един пълен шаблон се нарича цикъл



• Аperiодичен сигнал

- Шаблонът не се повтаря във времето
- Може да се разложи на множество периодични сигнали!



Характеристики на сигналите (1)

• Амплитуда

- Стойност на сигнала в дадена точка на електромагнитната вълна
- Измерва се във Волт (V), Ампер (A), или Ват (W).
- *Максимална амплитуда*
 - Максимална сила на сигнала

• Честота (f)

- Скорост на изменение на сигнала по отношение на времето
- Реципрочна на периода T на период. сигнал
 - $f = 1/T$
- Измерва се в Херц (Hz) или `цикли в секунда`

• Фаза (ϕ)

- Позицията на вълната спрямо нулевата точка
- Измерва се в градуси

Характеристики на сигналите (2)

• Спектър

- Диапазон от всички честоти, съдържащи се в сигнала.

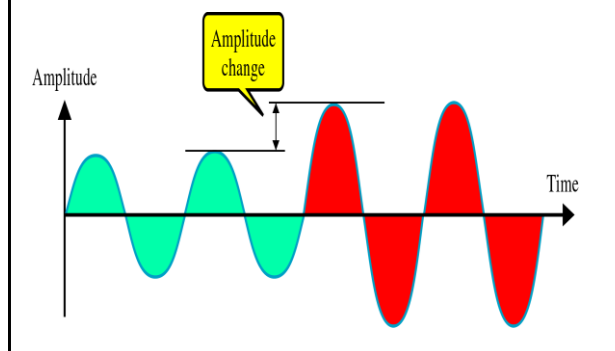
• Честотна лента

- Ширина на спектъра
- *Значима (ефективна) честотна лента*
 - Честотите, които съдържат по-значителната част от енергията на сигнала (например, 95%).

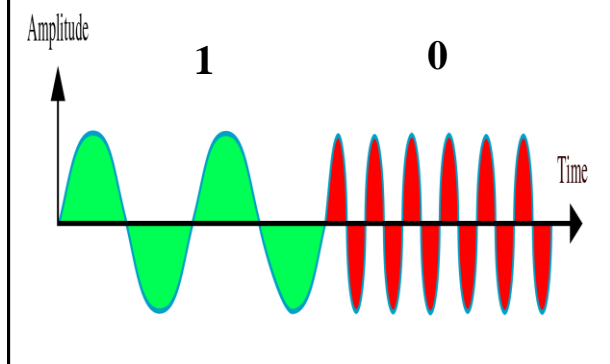
• DC компонент

- Компонент с нулева честота

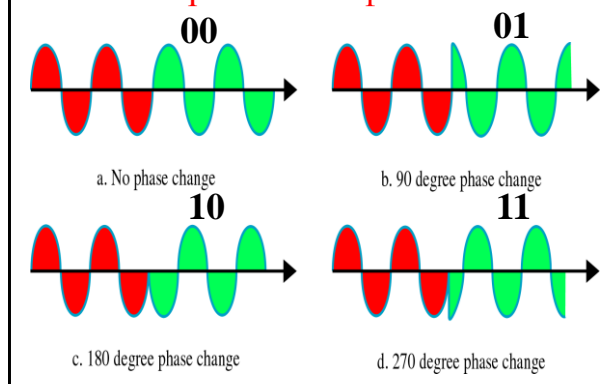
Преобразуване на сигналите: Промяна на амплитудата



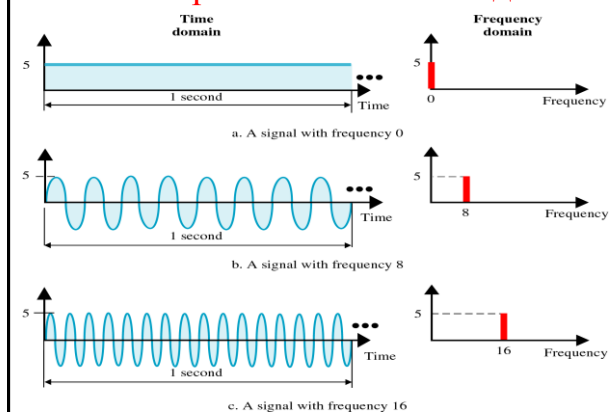
Преобразуване на сигналите: Промяна на честотата



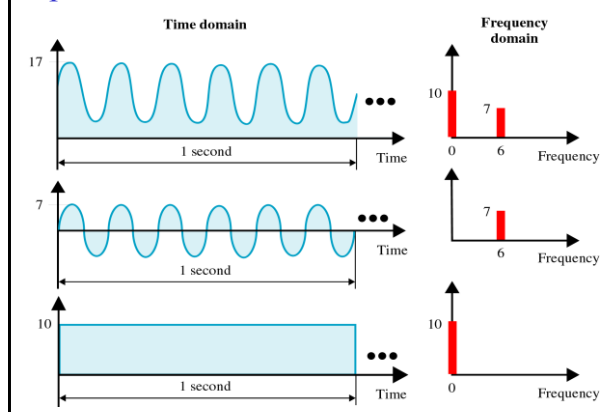
Преобразуване на сигналите: Промяна на фазата



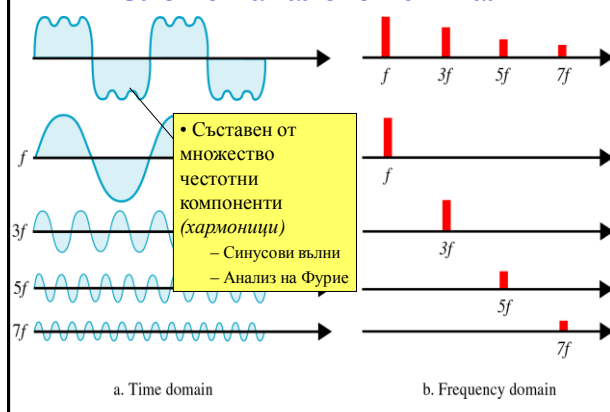
Сигнали: Времени и честотен домейн

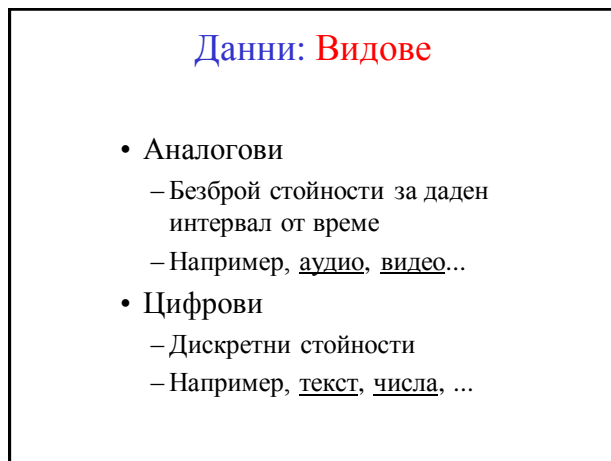
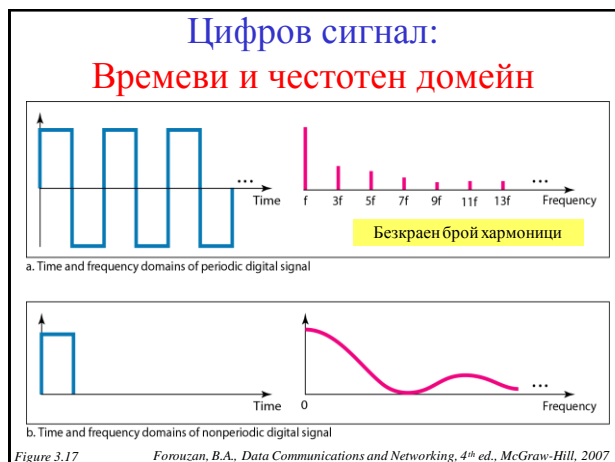


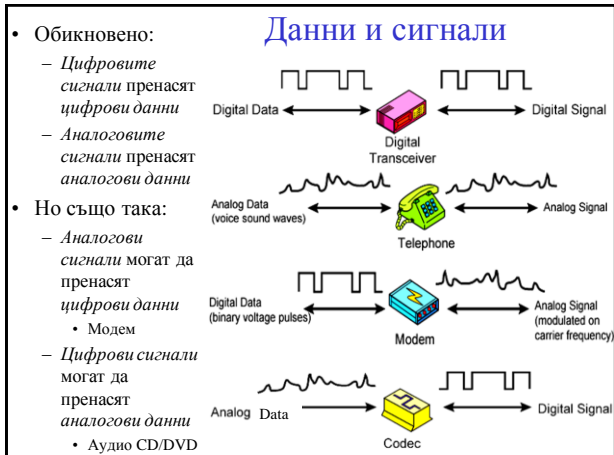
Прост аналогов сигнал с DC компонент



Сложен аналогов сигнал





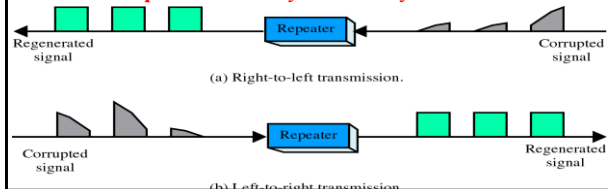


Аналогово предаване

- Аналогов сигнал, предаван без оглед на съдържанието.
- Може да пренася аналогови или цифрови данни
- Затихва с изминатото разстояние
- За усиление на сигнала се използват усилватели
- Недостатък:** шумът също се усилява!

Цифрово предаване

- Загриженост за съдържанието
- Целостта на данните е застрашена от шума, отслабването на сигнала и др.
- Използват се **повторители (repeaters)**:
 - За извличане и възстановяване на битовата последователност
 - За преодоляване на затихването
- Предимство: шумът не се усилява!**



Цифрово предаване: Предимства

- Ниска цена
 - Поради използване на VLSI технология
- Слабо повлияване от шум
- По-добро използване на комуникац. капацитет
 - Възможност за използване на по-широколентови канали, което е и по-икономично.
 - Висока степен на мултиплексиране се постига по-лесно с цифрови техники
- Сигурност & поверителност
 - Шифриране
- По-добро интегриране на данни
 - Третиране на аналогови и цифрови данни по един и същ начин

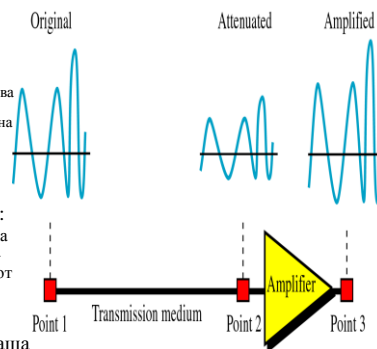


Деформация на сигнала при предаване по преносната среда

- Полученият сигнал може да се различава от предадения сигнал, което причинява:
 - При аналогово предаване: влошаване качеството на сигнала
 - При цифрово предаване: сгрешени битове
- Основни причини:
 - Затихване на сигнала
 - Закъснение на сигнала
 - Наличие на шум

Деформация на сигнала: Поради затихване

- Сигналът отслабва с разстоянието
- Зависи от средата:
 - В **кабелна среда**: обикновено е логаритмично.
 - Поради това се изразява (в **децибел**) като константна величина на единица разстояние
 - В **безжична среда**: по-сложна функция.
- Силата на получения сигнал трябва да бъде:
 - Достатъчно голяма за да бъде установен сигнала
 - Достатъчно по-голяма от тази на шума за да се избегнат грешки в предаването
- Затихването е нарастваща функция на честотата!



При сложни сигнали съставени от множество различни честоти

Деформация на сигнала: Поради закъснение

Скоростта на разпространение варира с честотата!

- Само в кабелни среди
- Всеки сигнален компонент има своя собствена *скорост на разпространение* и, следователно, свое собствено закъснение.
- Различните честотни компоненти пристигат по различно време, което води до различни фази за различните честоти.
- Особено критично за **цифрови данни**, тъй като части на един бит се пренасят в други, причинявайки междусимволни смущения (*intersymbol interference, ISI*)

Propagation time = $t_2 - t_1 = d / \text{Propagation speed}$

Distance = d

At time t_1

At time t_2

Деформация на сигнала поради закъснение: Пример

Composite signal sent

Components, in phase

Point 1

Transmission medium

Point 2

Components, out of phase

Composite signal received

Деформация на сигнала: Поради шум

Transmitted

Noise

Received

Основен фактор, ограничаващ производителността на комуникационната система.

Нежелани сигнали, възникващи между предавателя и приемника.

Point 1

Transmission medium

Point 2

Съотношение сигнал/шум (SNR)

a. Large SNR

b. Small SNR

Figure 3.30 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 4th ed., McGraw-Hill, 2007

Шум: Видове (1)

- **Термален**
 - Породен от топлинното движение на електроните
 - Равномерно разпределен
 - Бял шум
 - Не може да бъде отстранен
- **Интермодулация (intermodulation)**
 - Възникване на излишни сигнали, които са сбор или разлика на оригиналните честоти, споделящи средата.
 - Предизвиква се от нелинейност
 - Например, причинена от усилватели.

Шум: Видове (2)

- **Прослушване (crosstalk)**
 - Сигнал от една линия, индуциран/прихванат в/от друга съседна линия.
 - Може да възникне между (неекранирани) двойки проводници в един кабел или когато микровълнови антени прихванат нежелани сигнали
 - Същият порядък на въздействие като термалния шум
- **Импулсен**
 - Кратки импулси с голяма амплитуда
 - Външни електромагнитни смущения
 - Основен източник на грешки в цифровите комуникации

Скорост на предаване

- Скоростта, с която данните могат да се предават по даден канал.
- Измерва се в *бита в секунда* (b/s)
- Зависи от 3 фактора:
 - Налична честотна лента на канала
 - Всеки канал разполага с ограничена честотна лента
 - Ограничена от предавателя и преносната среда
 - Това ограничава скоростта на предаване, която може да се използва.
 - Брой нива на сигнала
 - Увеличаването на броя на нивата на сигнала обаче може да намали надеждността на системата!
 - Качество на канала (нивото на шума в него)

Теорема на Найкуист/Nyquist (за безшумен канал)

В случай на идеален канал без шум:

- Ако скоростта на предаване е $2B$, то каналът може да пренася сигнал с честота не по-голяма от B .
 - Или, при зададена честотна лента B , най-високата скорост на предаване е $2B$.
 - За двоични сигнали, $2B$ b/s се нуждаят от честотна лента B Hz.
- Скоростта може да се увеличи чрез използване на по-голям брой състояния на сигнала V

$$(\text{максимална скорост}) C = 2B \log_2 V, \text{ [b/s]}$$

B – честотна лента на канала

V – брой състояния на сигнала

Пример: Безшумен 3-kHz канал не може да предава двоичен сигнал със скорост над 6 kb/s

- При зададена честотна лента, скоростта на предаване може да се увеличи чрез увеличаване броя на състоянията на сигнала (сигналните елементи), но това води до:
 - Увеличаване натоварването на приемника
 - Трудности при разграничаване на едно от V възможни състояния на сигнала
 - Шумът и други вредни въздействия ограничават величината V

Теорема на Шенън/Shannon (за канал с шум)

- Отчита връзката между скоростта на предаване, шума и нивото на грешките:
 - По-висока скорост на предаване съкращава времето за предаване на 1 бит; така възникването на шум в определен момент може да деформира повече бита.
 - При зададено ниво на шум, по-високата скорост на предаване означава и повече грешки.
- Шенън разработва формула, свързана със SNR:

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR})$$
- Задава теоретичната граница за максимална скорост
 - На практика се достигат по-ниски стойности

Теорема на Шенън/Shannon (прод.)

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR}), \text{ [b/s]}$$

B – честотна лента на канала

SNR – безразмерно съотношение сигнал/шум

- Пример:** 3-kHz канал с $\text{SNR}=1000$ (т.е. $\text{SNR}_{\text{dB}} = 30$ dB) не може да пренася повече от 30 kb/s

За практически цели, когато SNR е с много голяма стойност, може да се допусне, че $\text{SNR} + 1 \approx \text{SNR}$.

В тези случаи може да се използва опростената формула, където $\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(\text{SNR})$:

$$C = B \times \frac{\text{SNR}_{\text{dB}}}{3}$$