

4. Физическо ниво

Теоретически основи и среди
за предаване

Общи положения

Физическият слой дефинира **механичните, електрически и времеви** характеристики на мрежовия интерфейс.

Ограниченията, които поставя физическата среда върху скоростта на пренос.

Два вида преносна среда:

- **жична** (меден кабел или оптически влакна);
- **безжична** (наземна и сателитна).

Теоретични основи на преноса на данни

Информацията се пренася по жиците, **изменяйки стойността на физическа величина: ток или напрежение.**

Тази стойност се представя като **функция от времето, $f(t)$.**

Това позволява да се моделира поведението на сигнала и да се анализира математически.

В началото на 19 век френският математик **Jean-Baptiste Fourier** доказва, че всяка периодична функция с период T може да бъде представена като **сума от (на практика безброй) синуси и косинуси.**

Т.е като **ред на Фурие.**

Развитието в ред на дадена функция широко се използва в числените методи.

Ред на Фурие

Всяка периодична функция с период T може да се развие в следния ред:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{2\pi n}{T} t\right)$$

В частност, ако $T=2\pi$, редът добива особено опростен вид:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(nt) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(nt)$$

Ред на Фурие. Коефициенти.

$f = 1/T$ е честотата, a_n и b_n са амплитудите на n -ти хармоник (член), $a_0/2$ е константа.

От ред на Fourier може да бъде възстановена оригиналната функция.

Коефициентите a_n , b_n и константата a_0 се намират от следните

интегрални:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) dt$$

Фурие и комуникациите

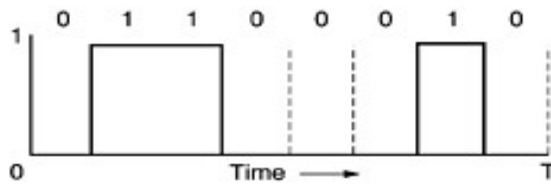
Да разгледаме примера:

Предаване на *ASCII* символ "b", кодиран като 8-битов байт.

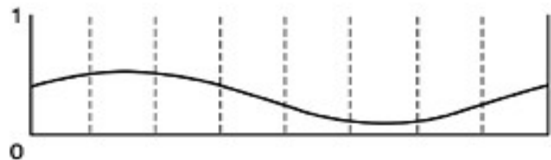
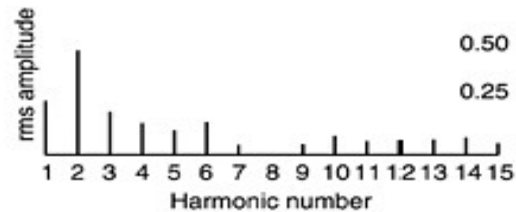
Илюстрация на Фуриеров синтез на периодична функция:

http://www.chem.uoa.gr/applets/AppletFourier/Applet_Fourier2.html

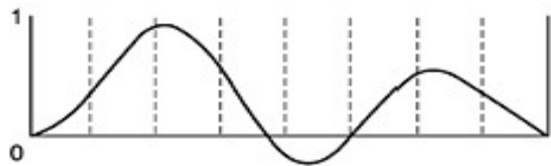
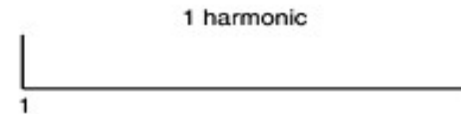
Буква b в ASCII код



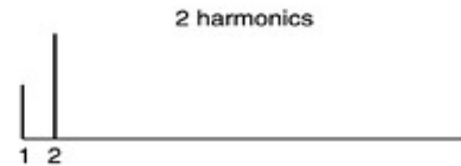
(a)



(b)

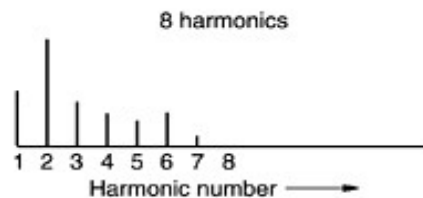
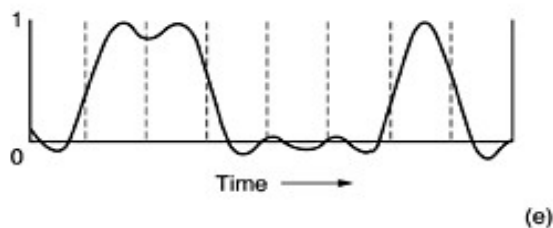
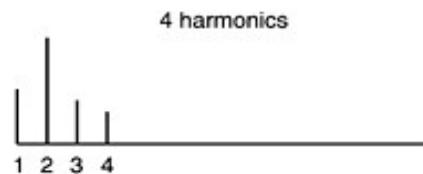
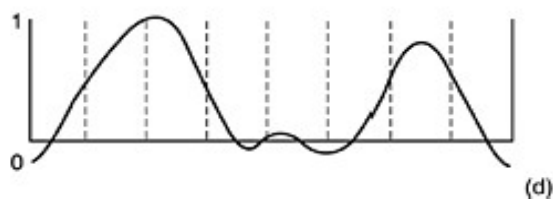


(c)



(b) апроксимация с първа хармонична сигнал \neq оригинал

Буква b в ASCII код



(c) – (e) аппроксимация с по-голям брой честоти: сигнал \approx оригинал

Фурије и честотна лента

Всяка преносна среда внася загуби, намалява силата на сигнала, за всеки от Fourier компонентите.

Но, различните Fourier компоненти намаляват различно, което води до изкривяване.

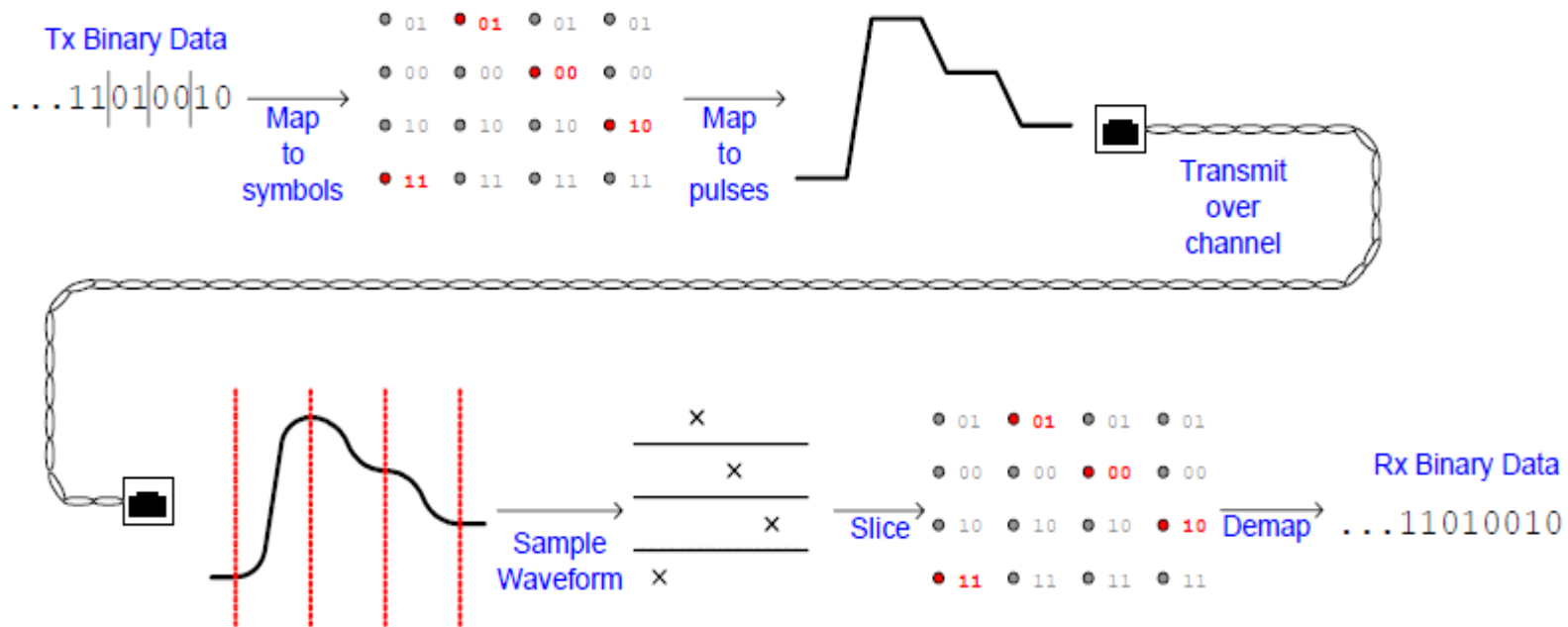
Амплитдите се предават без намаление при честоти от 0 до f_c [cycles/sec или Hertz (Hz)], над която сигналът отслабва.

Този обхват от честоти се нарича честотна лента – bandwidth (bw).

bandwidth зависи от конструкция, дебелина и дължина на средата.

От слайд 7 и 8: символ “b” ще се предава по-точно при по-широка честотна лента.

Влияние на преносната среда



“Размиване” (изкривяване) на сигнала.

Формула на Найкуист

През 1924 г. **Henry Nyquist**, инженер от AT&T, стига до извода, че всеки комуникационен канал има граничен капацитет.

И, колкото е по-широка е **честотната лента**, толкова по-точно се възпроизвежда цифровият сигнал.

Найкуист извежда **формула**, показваща зависимостта на максималната скорост от честотната лента:

$$C = 2 * B * \log_2 L \text{ [bit/s]}$$

C – скорост на предаване на данните; **B**, Hz – честотна лента; **L** – брой на нивата на двоичния сигнал.

Формула на Найкуист

Например, $B = 3100$ Hz (честотна лента на обикновена телефонна линия); $L = 8$ нива (0-7):

$$C = 2 * 3100 * \log_2 8 = 18600 \text{ [bit/s]}$$

Ако $L=2$ (0 и 1): $C = 2 * 3100 * 1 = 6200 \text{ [bit/s]}$

На практика скоростта ще е по-ниска заради странични фактори: шумове.

Формула на Шенон

Шенон (Shannon, 1948) въвежда отношението **сигнал/шум** (Signal/Noise Ratio - **SNR**) в края на линията.

Отношението на **мощността** на полезния сигнал **S** към мощността на случайния шум **N**, измерени във ватове (**W**). Изразява се в **децибели**:

$$\text{SNR} = 10 * \log_{10}(\text{S/N}), [\text{dB}]$$

Максимална теоретична скорост на предаване по формула **Шенон-Хартли**:

$$\text{C} = \text{B} * \log_2(1 + \text{S/N}), [\text{bit/s}]$$

C, bit/s – скорост; **B**, Hz – честотна лента

Bit vs. Baud (БИТ и БОД)

Скоростта в КМ (**Bit Rate**) – (data) bits - 0's и 1's - per second (**bps**).

Скоростта в бодове (**Baud Rate**):

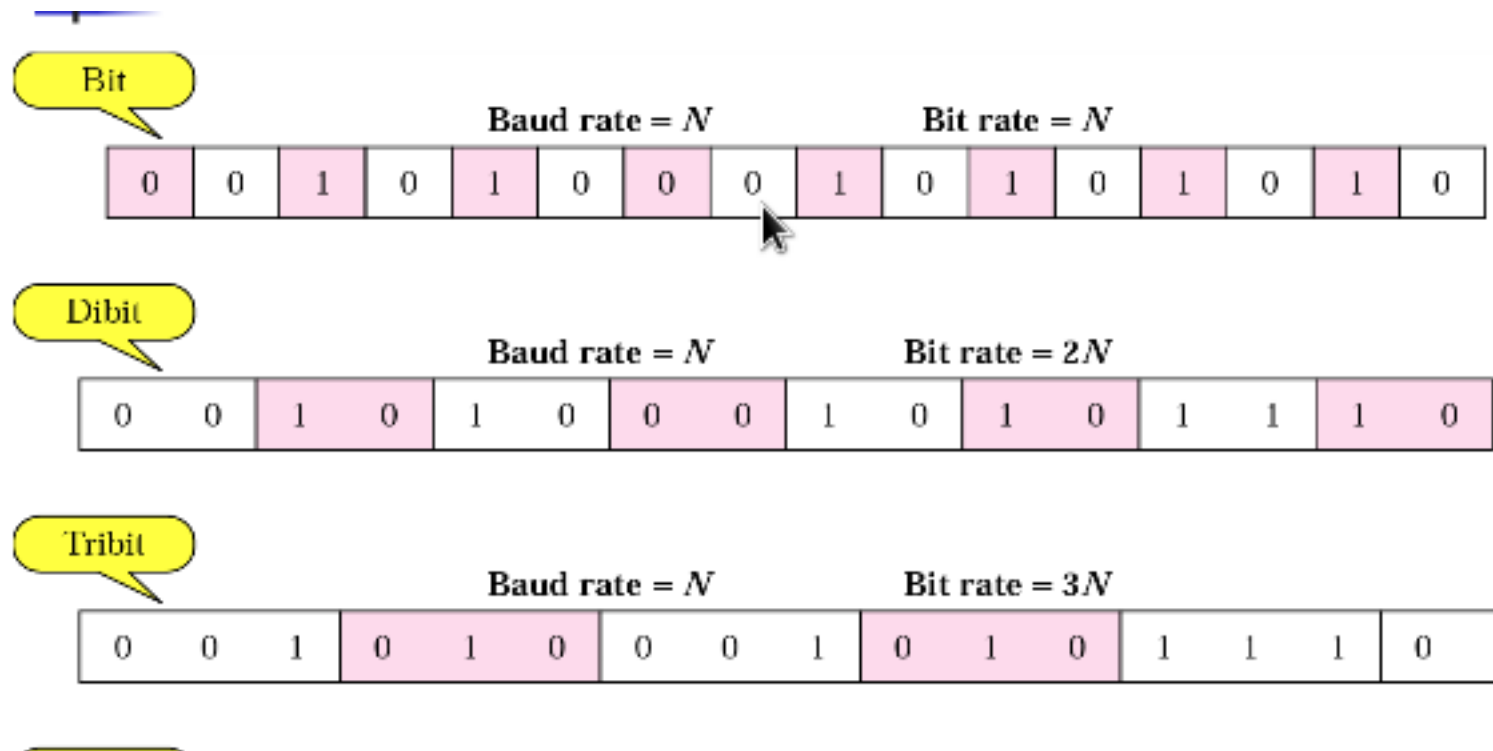
броят на промените $0 \mapsto 1$ или $1 \mapsto 0$ за 1 секунда

(Това са промените в състоянието на сигнала: напрежение, честота, фаза за 1 секунда:

Напр. **2400 baud rate** - 2400 промени в секунда. (2400 промени $0 \mapsto 1$ или $1 \mapsto 0$ за 1 секунда).

\Rightarrow **bps = bauds per second x bits per baud**

Бит и Бод (примери)



Модулация. Обяснение.

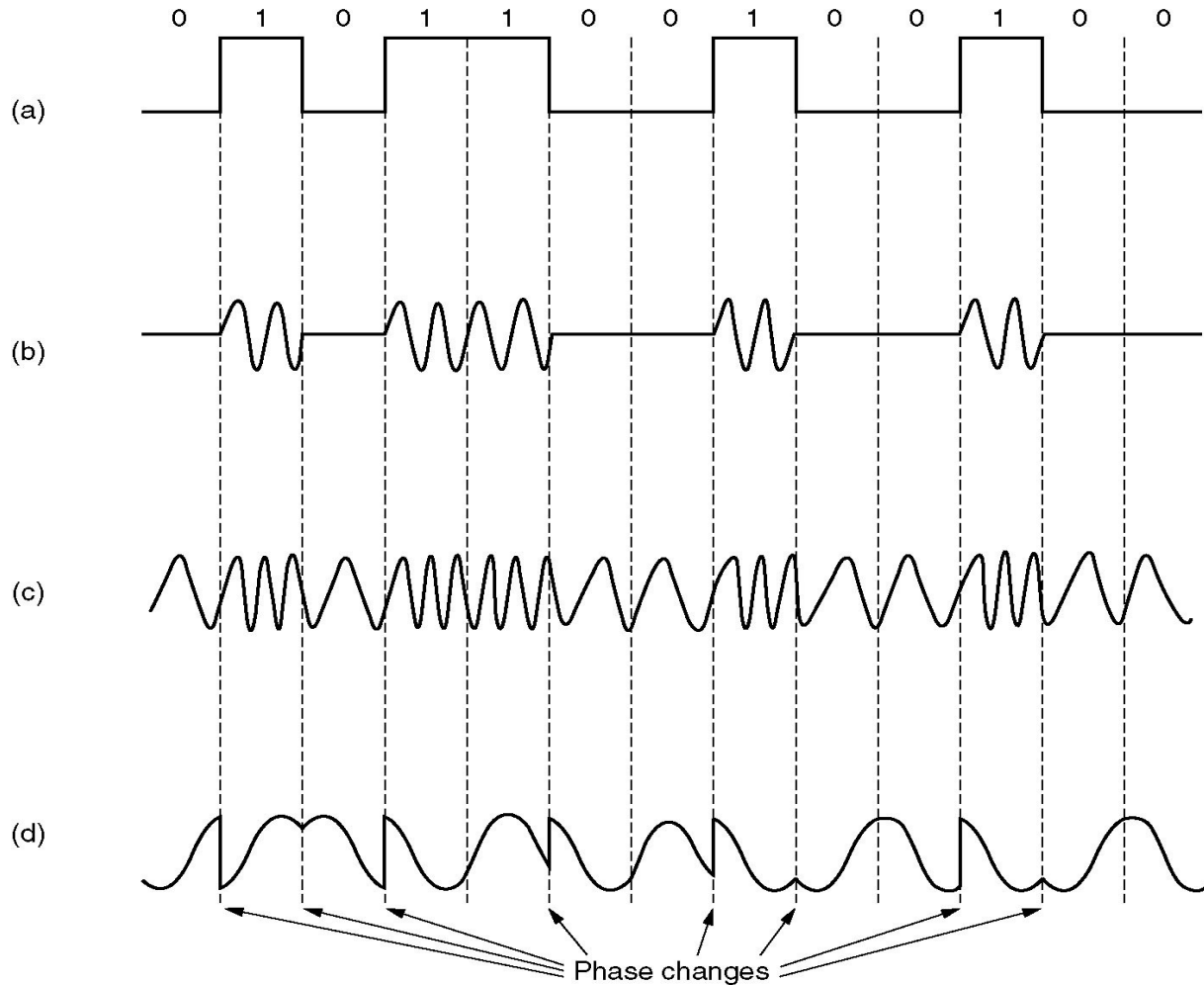
При тясна честотна лента (например при телефонните линии) цифровите сигнали не могат да се предават точно, поради което се използва **модулация**.

Въвежда се носещ сигнал (носеща честота - **carrier**) и информацията се предава чрез:

- смяна на неговата честота (**честотна модулация**);
- амплитуда (**амплитудна модулация**) или
- фаза (**фазова модулация**).

Прилагат се и по-сложни техники за модулация.

Модуляции. Модеми.



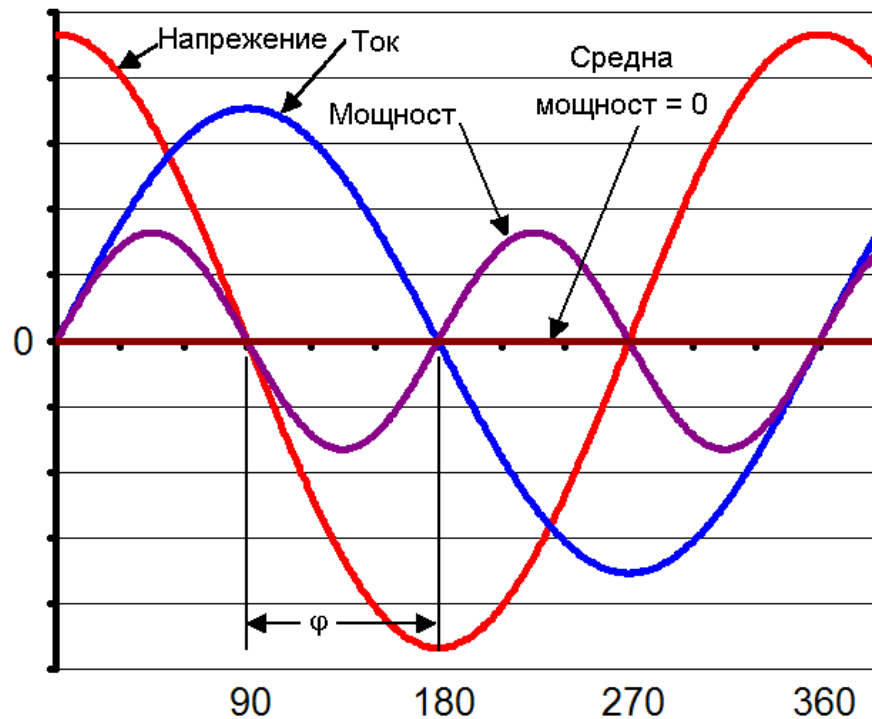
(a) двоичен сигнал

(b) амплитудна модулация

(c) честотна модулация

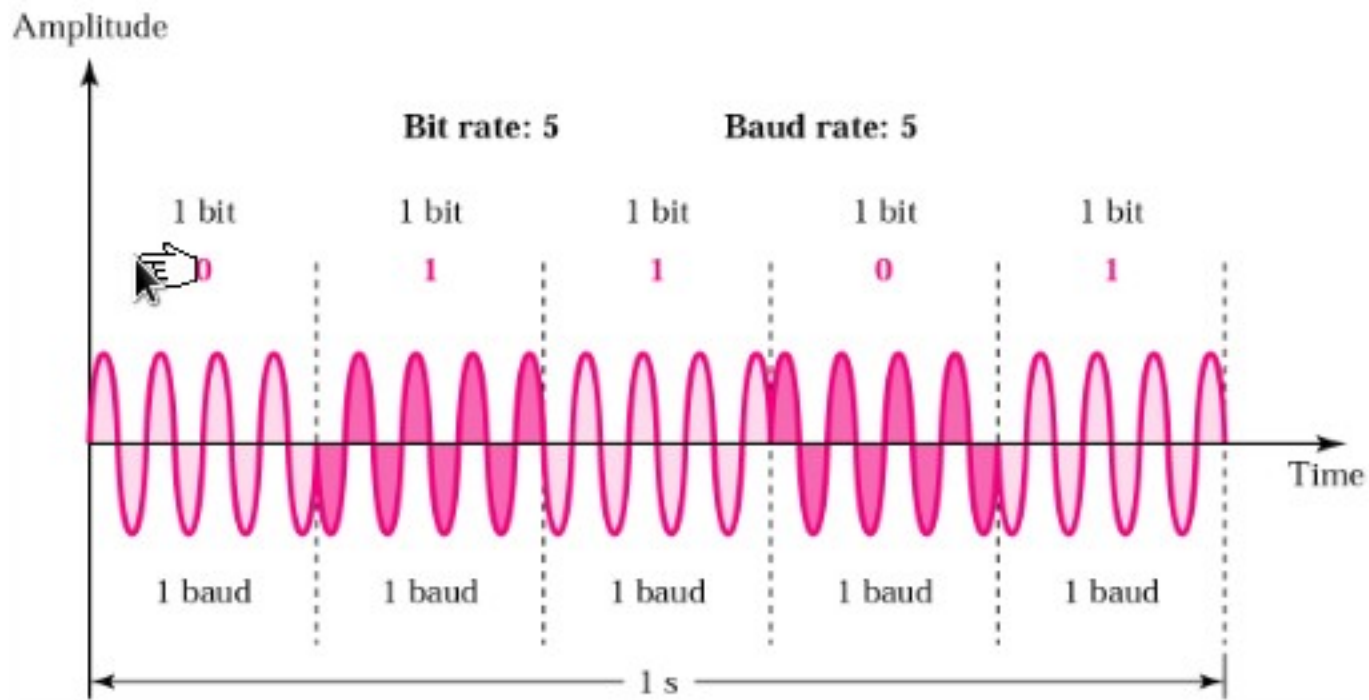
(d) фазова модулация

Фаза (пример). Модем.

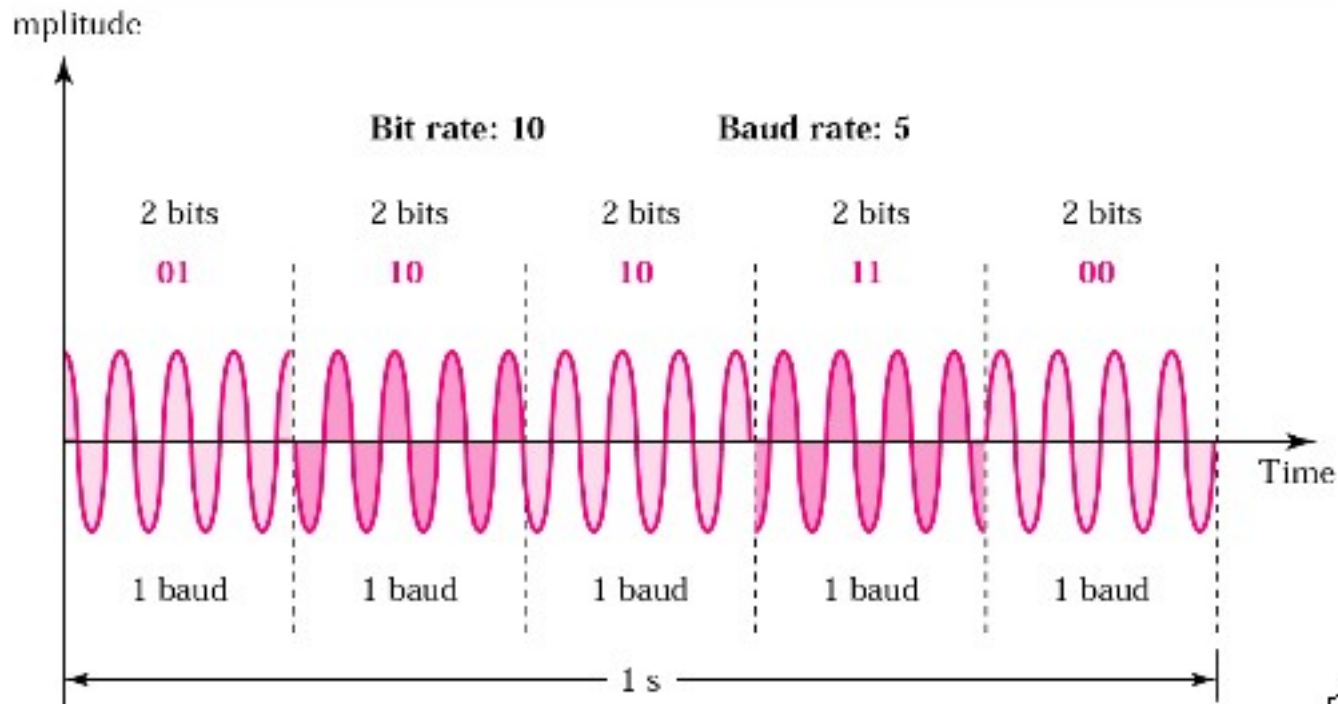


Модем: устройство, което приема поток от битове и извежда носеща честота, **МО**дулирана по някой от методите, и обратно **ДЕМ**одулира.

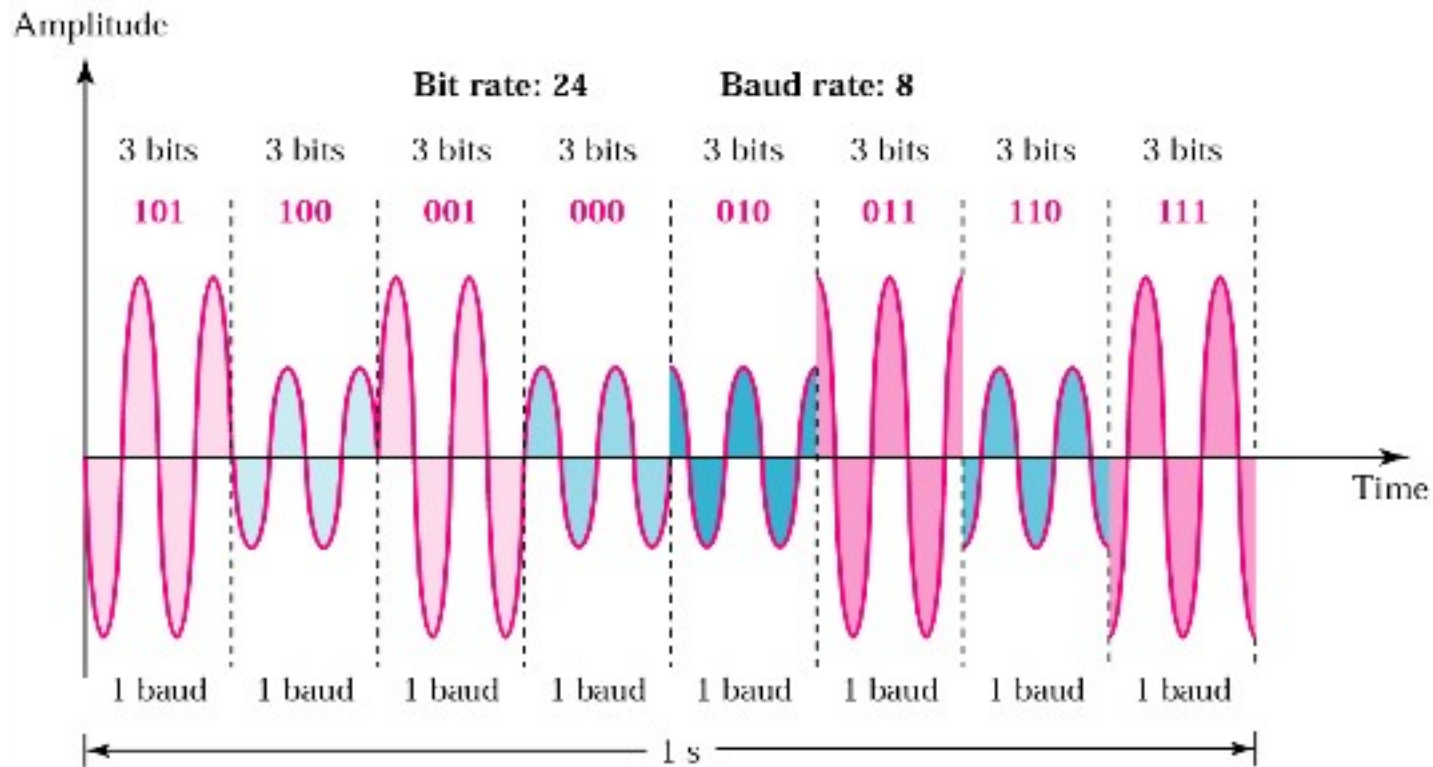
БИТ И БОД (PSK)



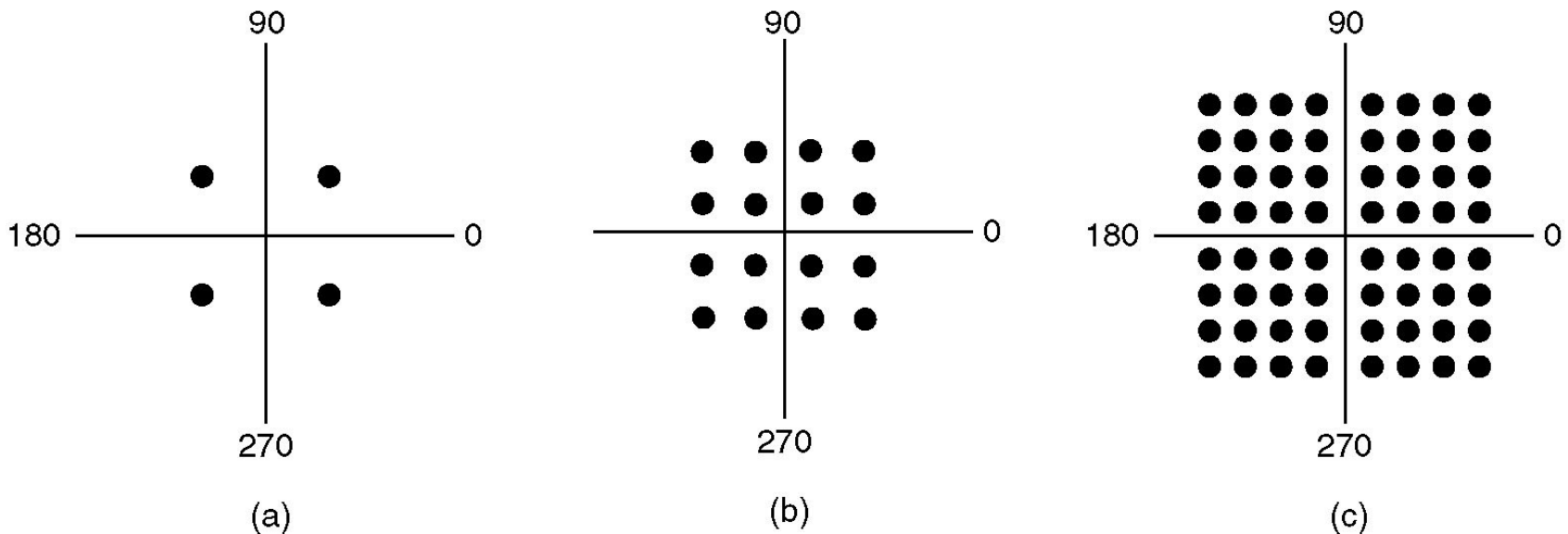
Бит и Бод (4-PSK)



Бит и Бод (8-QAM)



Bit/Baud. Модуляции



- (a) QPSK. **4** валидни комбинации, предават се **2** бита/СИМВОЛ
- (b) 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation). **16** комбинации, **4** бита/СИМВОЛ
- (c) 64-QAM. **64** комбинации, **6** бита/СИМВОЛ

Bit/Baud. Модуляции.

(64-QAM: Dig. TV; 256-QAM: HD TV)

Modulation	Units	Bits/Baud	Baud rate	Bit Rate
ASK, FSK, 2-PSK	Bit	1	N	N
4-PSK, 4-QAM	Dibit	2	N	2N
8-PSK, 8-QAM	Tribit	3	N	3N
16-QAM	Quadbit	4	N	4N
32-QAM	Pentabit	5	N	5N
64-QAM	Hexabit	6	N	6N
128-QAM	Septabit	7	N	7N
256-QAM	Octabit	8	N	8N

Жични среди за предаване на сигнали (данни)

Медни кабели:

- Тип “усукана двойка” (Twisted Pair - TP)
- Коаксиален кабел

Влакнестооптически кабели (Fiber Optics - FO)

Защо медни

Медта (**Cu**) е с най-добро съотношение цена/качество:

- ниско специфично съпротивление:
 $\rho = 0.016 \text{ } [\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]$;
- добра здравина и гъвкавост;
- широко разпространен в природата.

Медни кабели

Честотната лента

(bandwidth - **bw**), [bit/s],
зависи от сечението на
проводника (**S**) и
дължината (**l**). Според
разширения закон на Ом
(вдясно).

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Друг параметър е стъпката
на усукване:

Колкото повече на единица
дължина, толкова повече
bw.

Twisted Pair (усукана двойка)

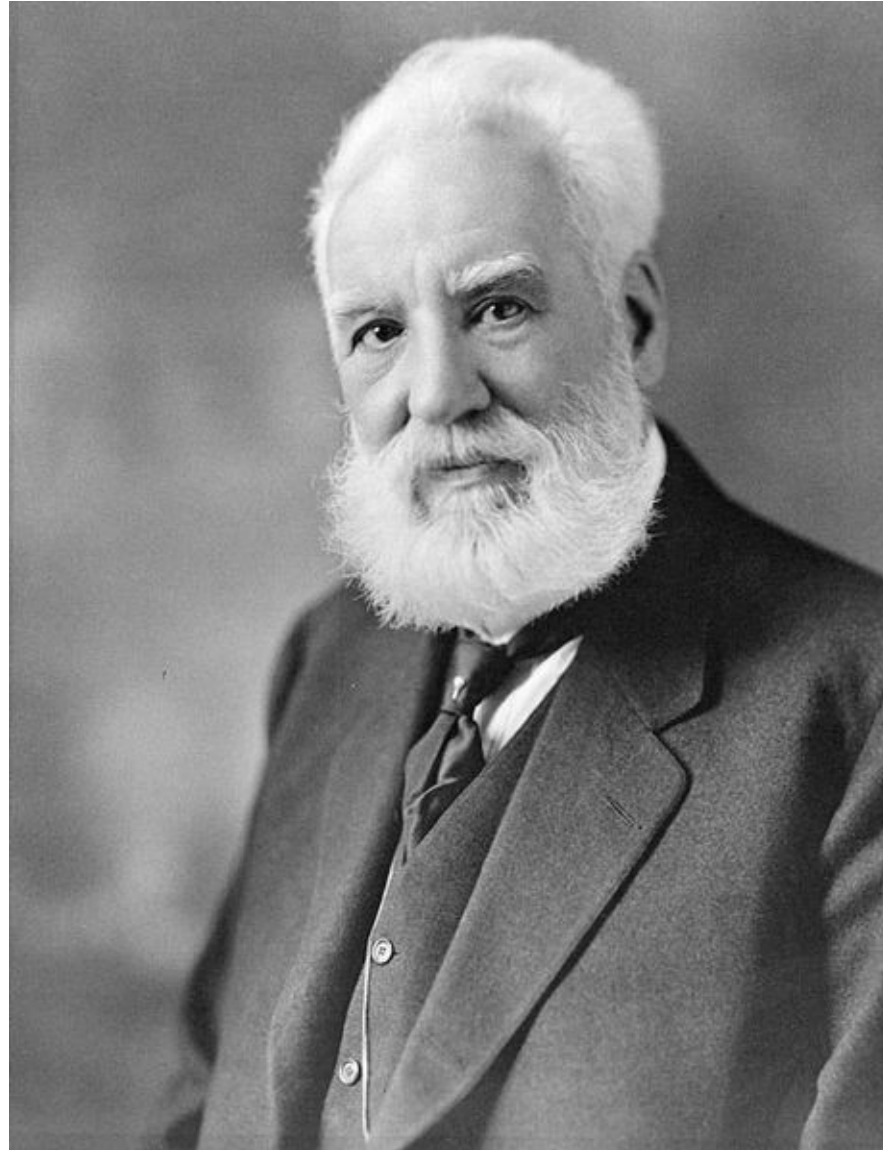
При кабелите тип “усукана двойка” (Twisted Pair) два проводника (прав и обратен) са усукани така, че да се **анулира** или **подтисне** електромагнитната интерференция (electromagnetic interference - **EMI**) на външни източници:

- съседни UTP кабели;
- прослушване (**crosstalk**) от съседни чифтове;
- други шумоизточници.

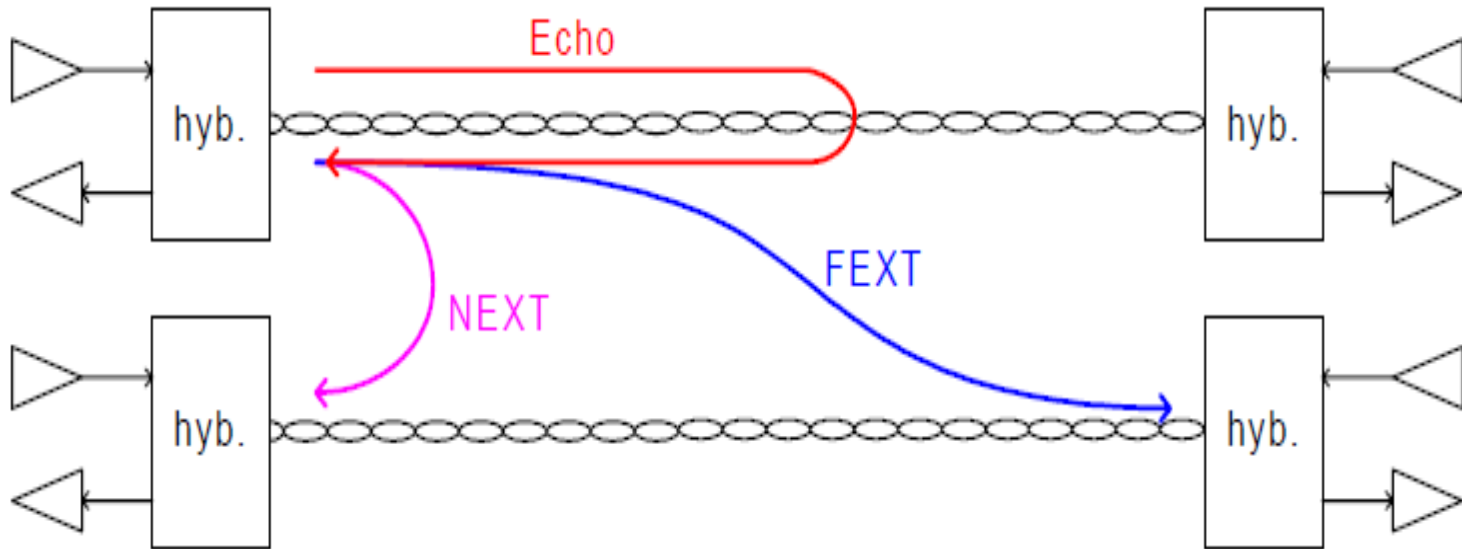
Изобретен от **Alexander Graham Bell** и патентован с **US patent 244,426 Telephone-circuit** (1881).

Прилага се **диференциален режим** на усилване на сигналите.

Alexander Graham Bell



NEXT. FEXT. Echo.



Near-end crosstalk (**NEXT**)

Far-end crosstalk (**FEXT**)

Диференциален режим

В усуканата двойка едната жица носи прав, а другата обратен сигнал.

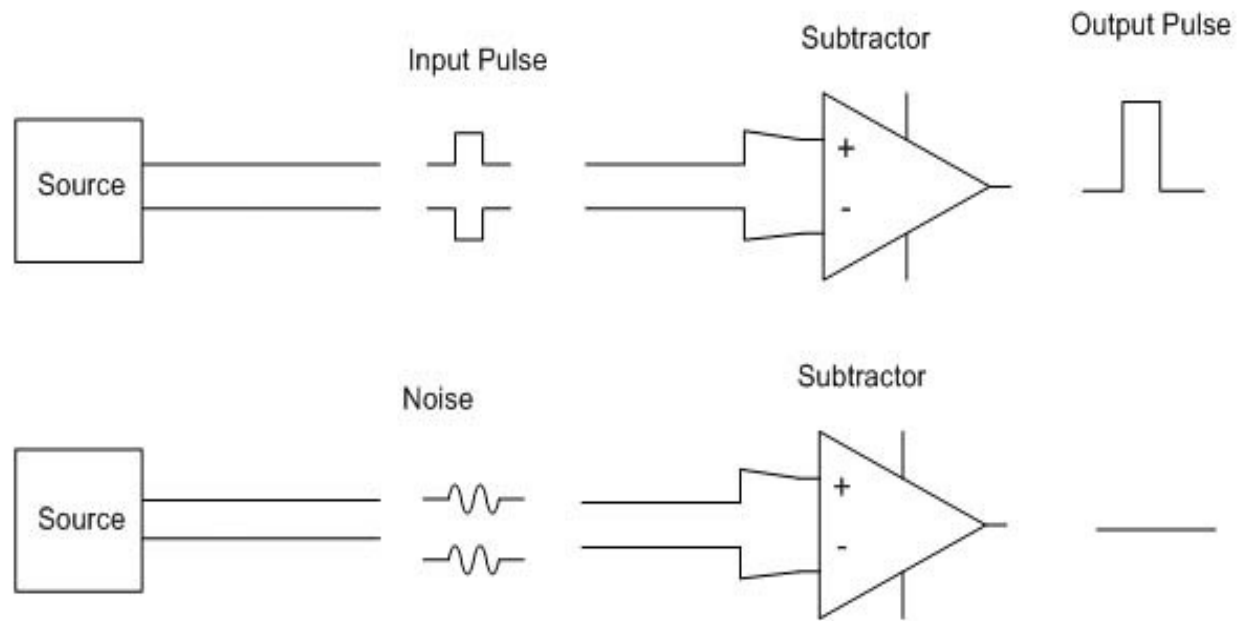
В крайната точка се приема разликата между двата:

$$S - (-S) = 2 * S$$

Шумът се индукира и в двата проводника в “права посока”. И така се анулира при приемника, който взима диференциалния сигнал:

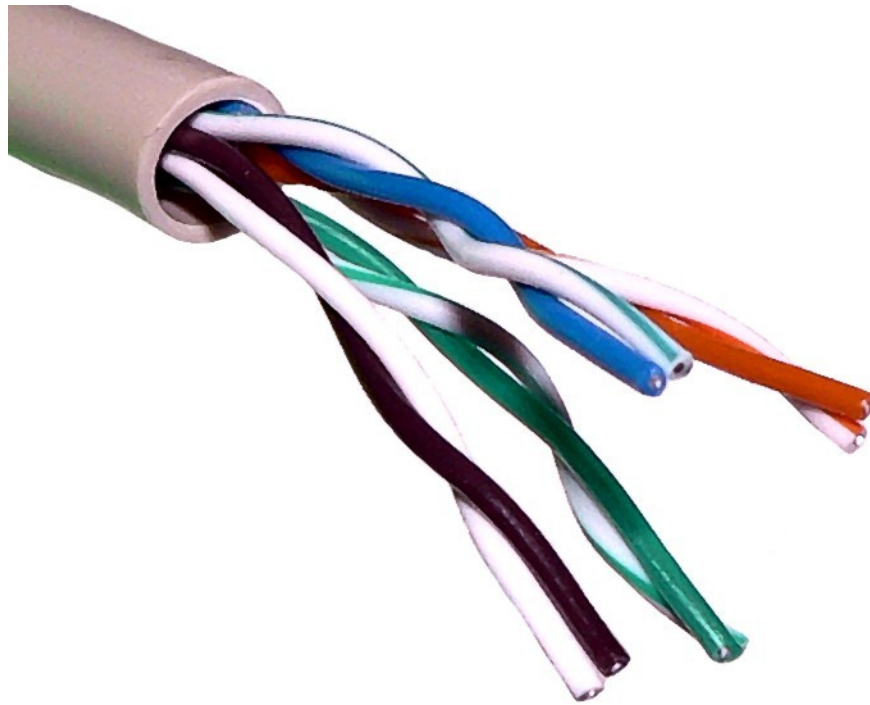
$$N - N = 0$$

Диф. режим. Схема.

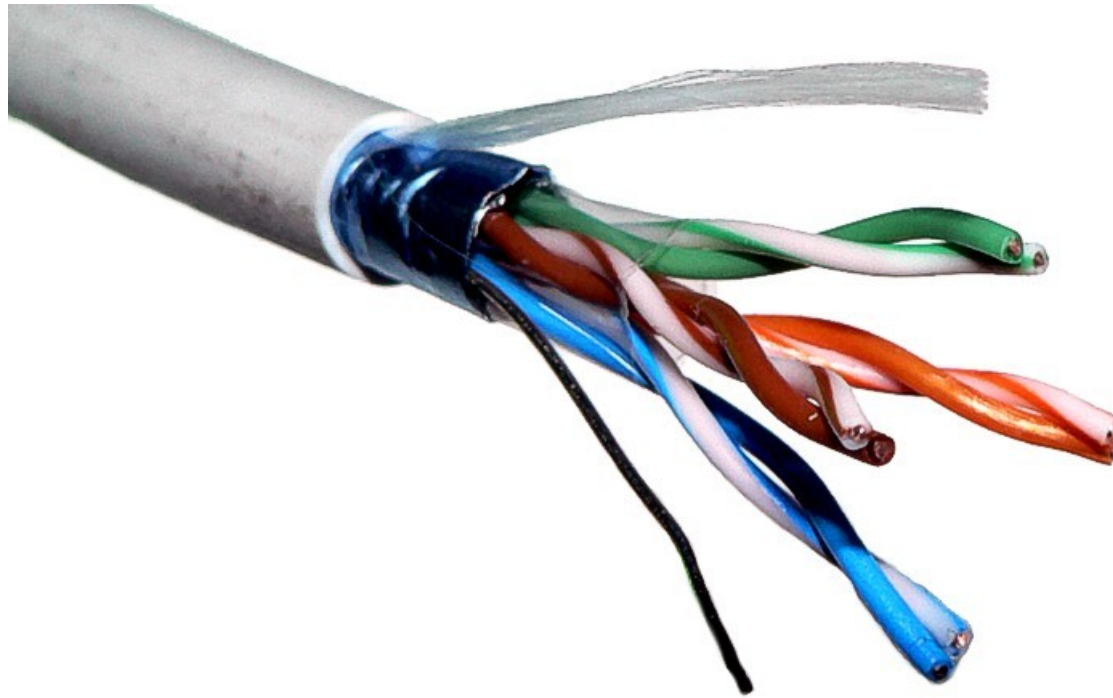


Unshielded twisted pair (UTP)

UTP се прилагат широко в телефонните мрежи и в локалните мрежи (LAN) Ethernet.



Экранирани кабели



S/UTP или FTP

Экранирани кабели



S/STP или **S/FTP**

Кабели с едно и многожилни проводници

- Кабелите с **едножилни** проводници се монтират за постоянно – **вертикални** и **хоризонтални** инсталации;
- Кабелите с **многожилни** проводници са гъвкави и се използват за свързващи (**пач**) кабели: например, компютър-розетка.

Категории Twisted Pair кабели



(a)



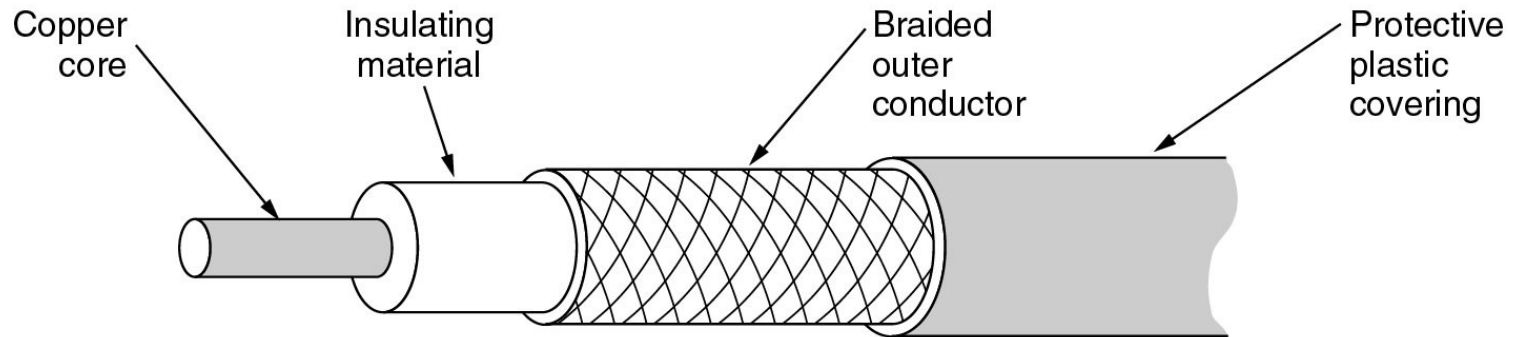
(b)

- (a) Категория 3 UTP. До 1988 г. (у нас и по-късно) най-разпространен за телефонни и LANs.
- (b) Категория 5 UTP. След 1988 г. С повече “усуквания” на см, по-малко crosstalk и по-добро качество на сигнала на големи разстояния, Най-подходящ за LANs до 1000 Mbit/s. Категории 6 и 7: bw 250 MHz и 600 MHz.

Категории Twisted Pair кабели

Категория	Стандарт	BW, MHz	Приложение
3	TIA/EIA-568-B	16	10 Mbit/s Ethernet
5	не	100	100 Mbit/s Ethernet
5e	TIA/EIA-568-B	100	100 Mbit/s и Gigabit Ethernet
6	TIA/EIA-568-B	250	Gigabit Ethernet и повече
6a	ANSI/TIA/EIA-568-B.2-10 и Amendment 1 and 2 of ISO/IEC 11801	500	10 Gigabit Ethernet
7	ISO/IEC 11801	600	S/FTP кабели
7a	Amendment 1 and 2 of ISO/IEC 11801	1000	S/FTP кабели

Коаксиален кабел



Класическият Ethernet – 50Ω (тънък); SATV - 75Ω (дебел).

Влакнеста оптика. Принципи.



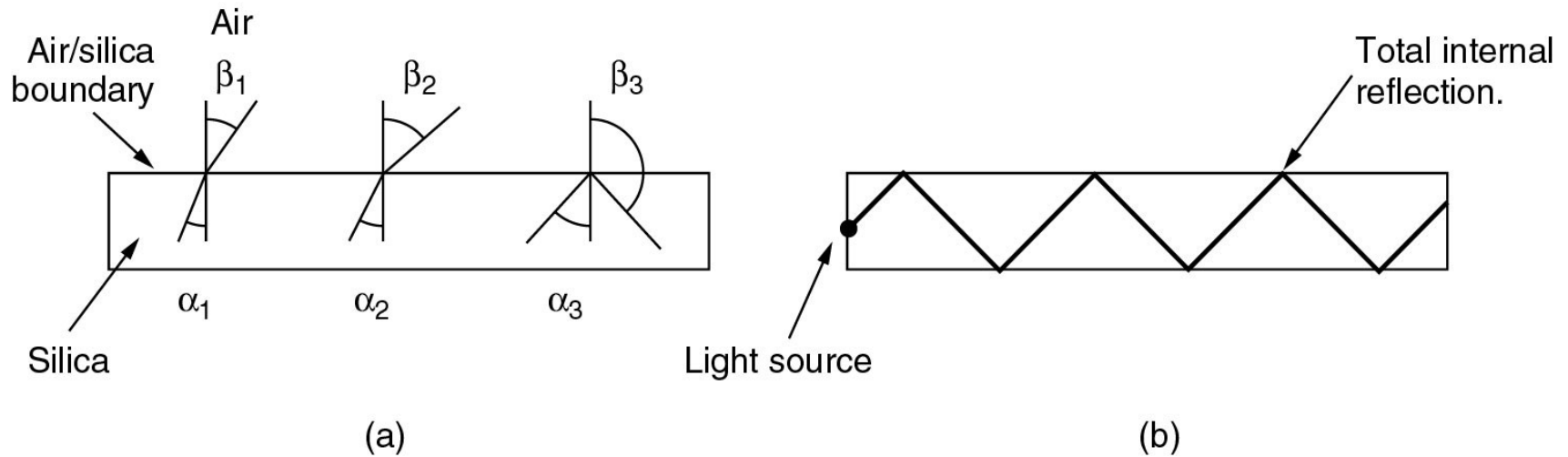
Една оптическа комуникационна система (Fiber Optics – FO):

Предавател: електрически в оптически (**светодиод** или **лазер**), преносна среда (тънка стъклена нишка – **optical fiber**) и фотоприемник (**фотодиод**) – оптически в електрически.

Един светлинен импулс (“лог. 1”), отсъствие (“лог. 0”)

Т.е **светне** – 1; **гасне** – 0 и т.н.

Влакнестооптически кабели (Fiber Optics)

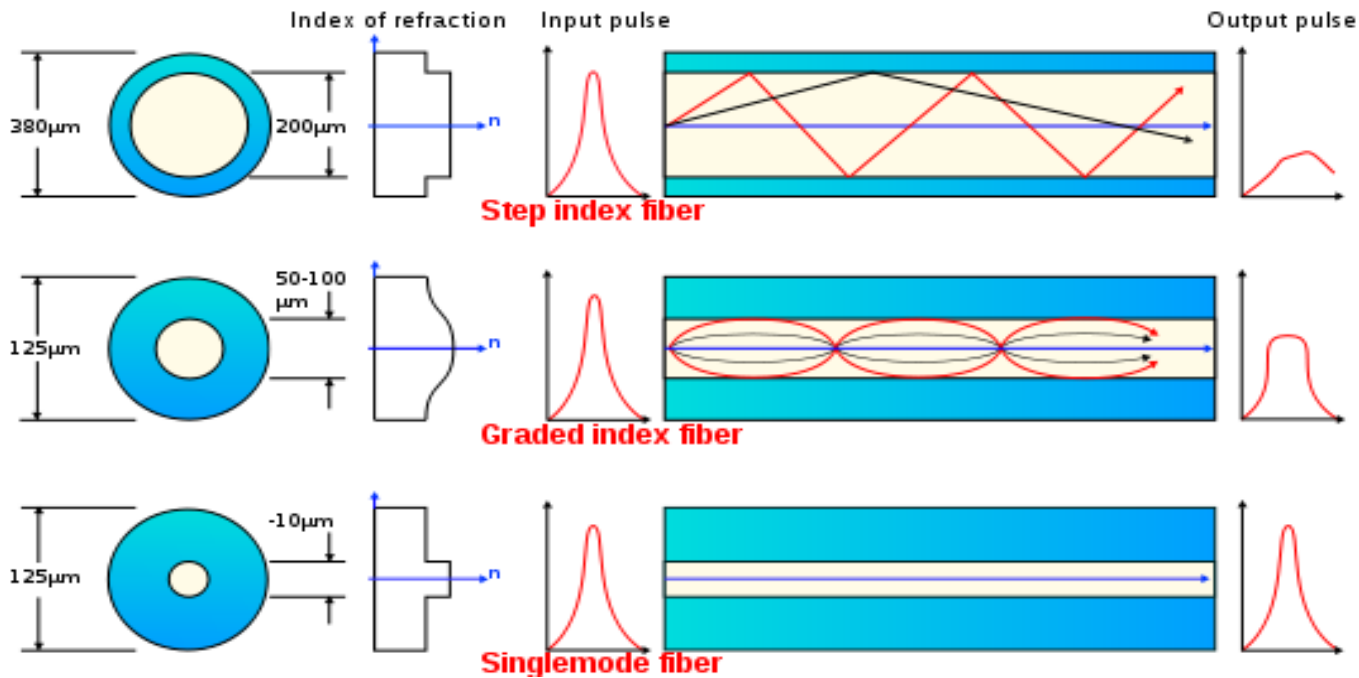


(a) Светлинният лъч пада под различен ъгъл на границата “въздух-силиций”.

(b) Пълно вътрешно отражение на светлинния лъч. Няма загуби на сигнал (т.е информация).

Дължина на вълната λ – разстоянието между два последователни максимума на ел.магн. вълна.

Видове оптически влакна



Многомодово (**Multi-mode - MM**) със стъпаловиден профил на коефициента на пречупване.

MM градиентно влакно.

Едномодово (**Single-mode – SM**) оптическо влакно.

Видове оптически влакна

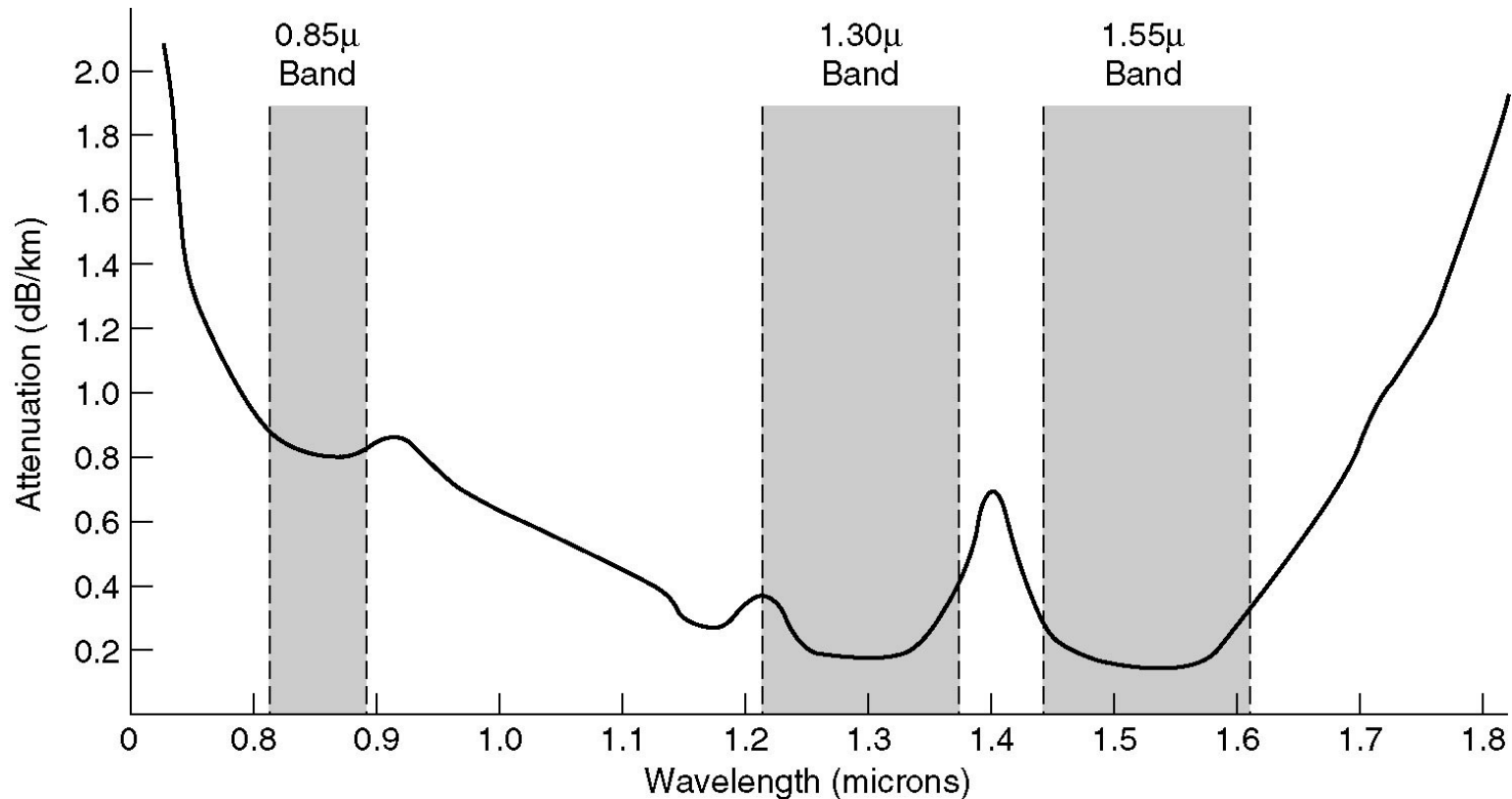
ММ влакната със стъпаловиден профил на коефициента на пречупване имат пълно вътрешно отражение на няколко дължини на вълната.

ММ градиентно влакно. Коефициентът на пречупване намалява постепенно. Както се вижда от фигурата са с по-добри характеристики.

Едномодово (**Single-mode – SM**) оптическо влакно

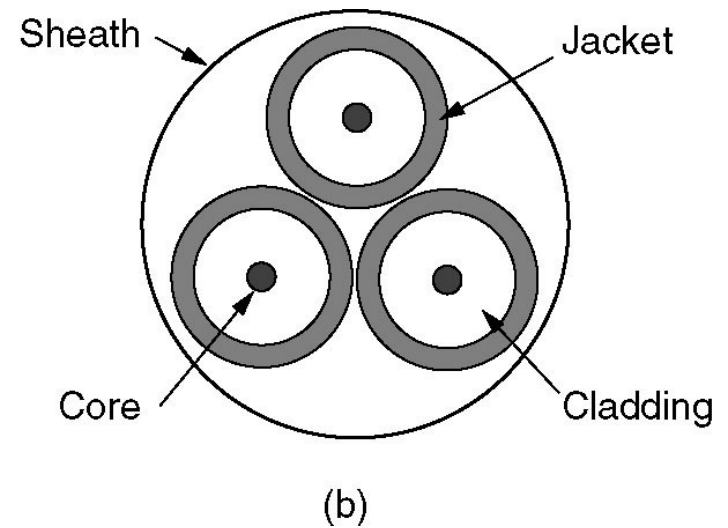
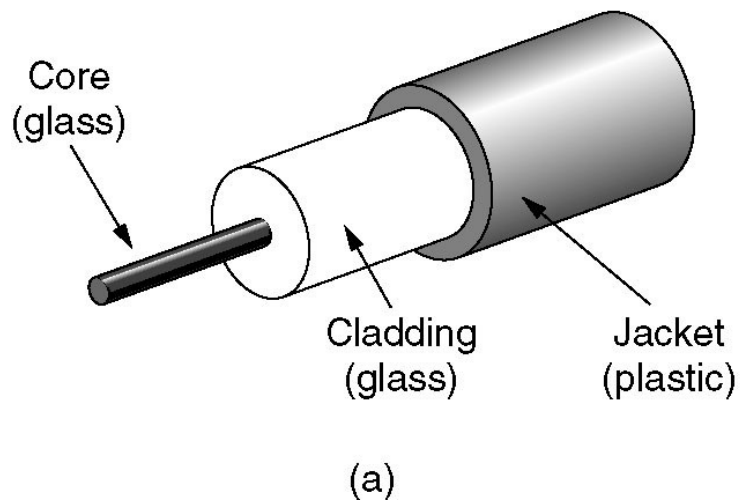
Основно предимство: не се влияе от външни шумове (ЕМІ, влага и др.)

Честотни обхвати



Според **коэффициента на затихване** във **FO комуникациите** имаме три честотни обхвата, центрирани около дължини на вълната 0.85, 1.30 и 1.55 μm (850, 1300 и 1550 nm).

Оптически кабели. Конструкция.



(a) Едно влакно, поглед от страни.

(b) Напречен разрез на кабел с три влакна.

Оптически кабели. Характеристики.

	MM	SM
core/clad	50/125 μm или 62.5/125 μm	10/125 μm
Дължина на вълната	850 nm и 1300 nm	1310 или 1550 nm
скорост/разстояние	100 Mbit/s / 2 km 1 Gbit/s / 220–550 m 10 Gbit/s / 300 m	10 Gbit/s / над 80 km (зависи от лазера) С усилватели и DWDM: $n \cdot 10^3$ km / 10 Gbit/s или $n \cdot 10^2$ km / 40 Gbit/s

Конструктивни изисквания към кабелите – ФО и медни

При полагане под земя или под вода – да са защитени от механични увреждания (гризачи, вълни).

Инсталиране в сгради – изолацията да е пожароустойчива – да не разпространява огъня и да не изпуска задушливи газове.

Passive Optical Network

Passive optical network (**PON**) е point-to-multipoint архитектура за оптика до дома/офиса.

Пасивни сплитери, прилагащи “ъгъла на Brewster”, позволяват едно влакно да обслужва 32-128 крайни точки.

PON включва: optical line terminal (**OLT**) откъм провайдера и множество optical network units (**ONUs**) откъм потребителите.

Сигналите към потребителя (**Downstream**) се “broadcast” до всяка крайна точка, като споделят едно влакно. За защита на данните се прилага криптиране.

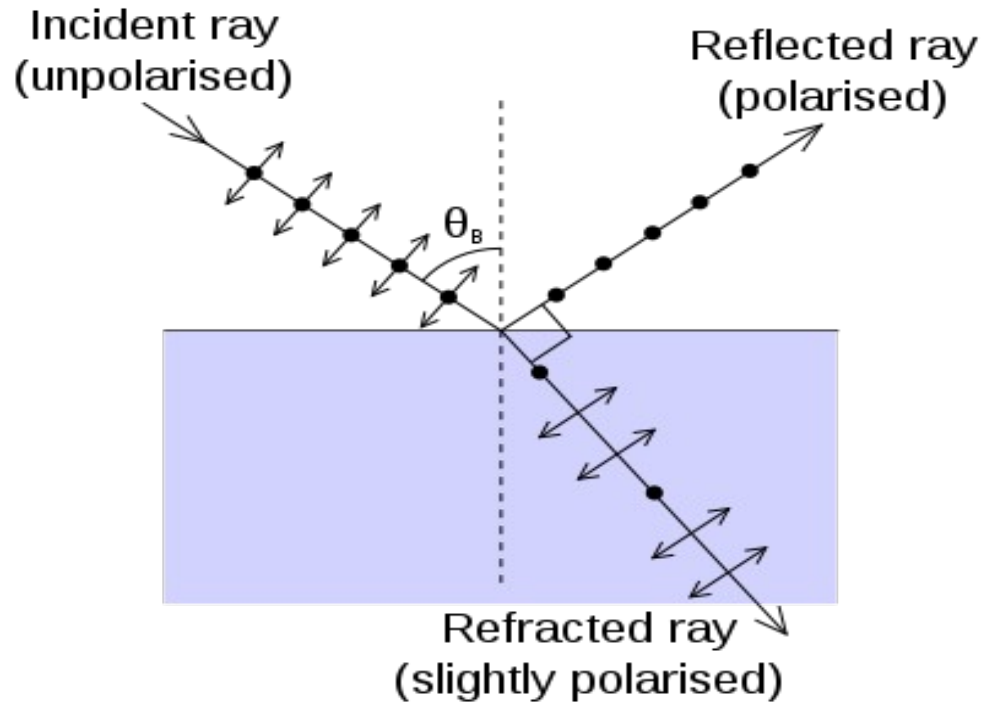
Сигналите към провайдера (**Upstream**) се мултиплексират с помощта на протокол за множествен достъп, какъвто е time division multiple access (**TDMA**).

Passive optical network

В PON, както и всички съвременни оптически системи, се прилага мултиплексиране по дължина на вълната (**wavelength division multiplexing - WDM**), което позволява:

- по едно и също влакно да върви двупосочен трафик (първите системи използваха едно влакно за downstream и друго за upstream), за всяка от посоките - отделна дължина на вълната;
- по едно и също влакно да върви трафик на различни потребители, за всеки потребител - отделна дължина на вълната.

Ъгъл на Brewster



Преминавайки м/у две среди с различен индекс на пречупване, част от светлината се отразява на границата. При определен ъгъл на падане, светлина с определена поляризация не може да бъде отразена. Това е **ЪГЪЛЪТ на Brewster, θ_B** .

Мултиплексиране

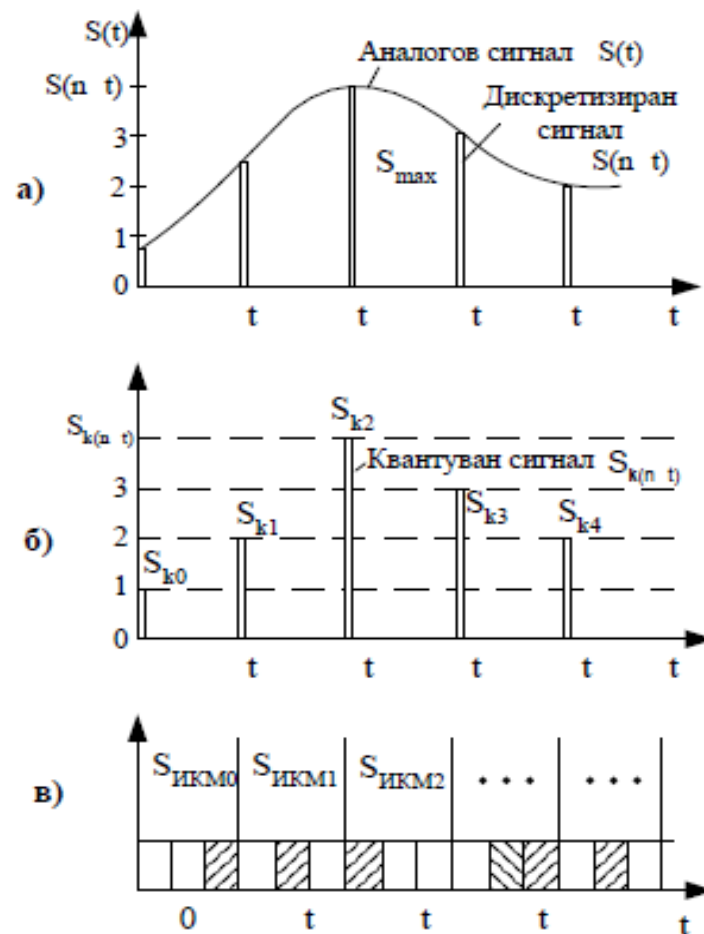
Високочестотните характеристики на кабелите за предаване на данни (UTP, STP, FO и коаксиални) позволяват два режима:

- Директно предаване (**baseband**) – наличната честотна лента се предоставя на един канал, по който се предават поток от битове със скорости 10, 100, 1000 Mbit/s и т.н., които се кодират (**LANs**);
- Широколентов режим (**broadband**) – наличната честотна лента се разделя на определен брой подканални, всеки с част от общата честотна лента. Прилага се мултиплексиране и модулация (**WANs**).

Импулсно-кодова модулация (ИКМ)

За ИКМ (PCM - Pulse Code Modulation) е начин за преобразуване на **аналогов сигнал в цифров**.

1. Дискретизация на аналоговия сигнал чрез равномерни отчети (**sampling**).
2. Квантуване.
3. Кодиране на импулсите.



PCM. 64 kbit/s канал.

Аналоговите сигнали се цифровизират с помощта на кодек (**coder-decoder**).

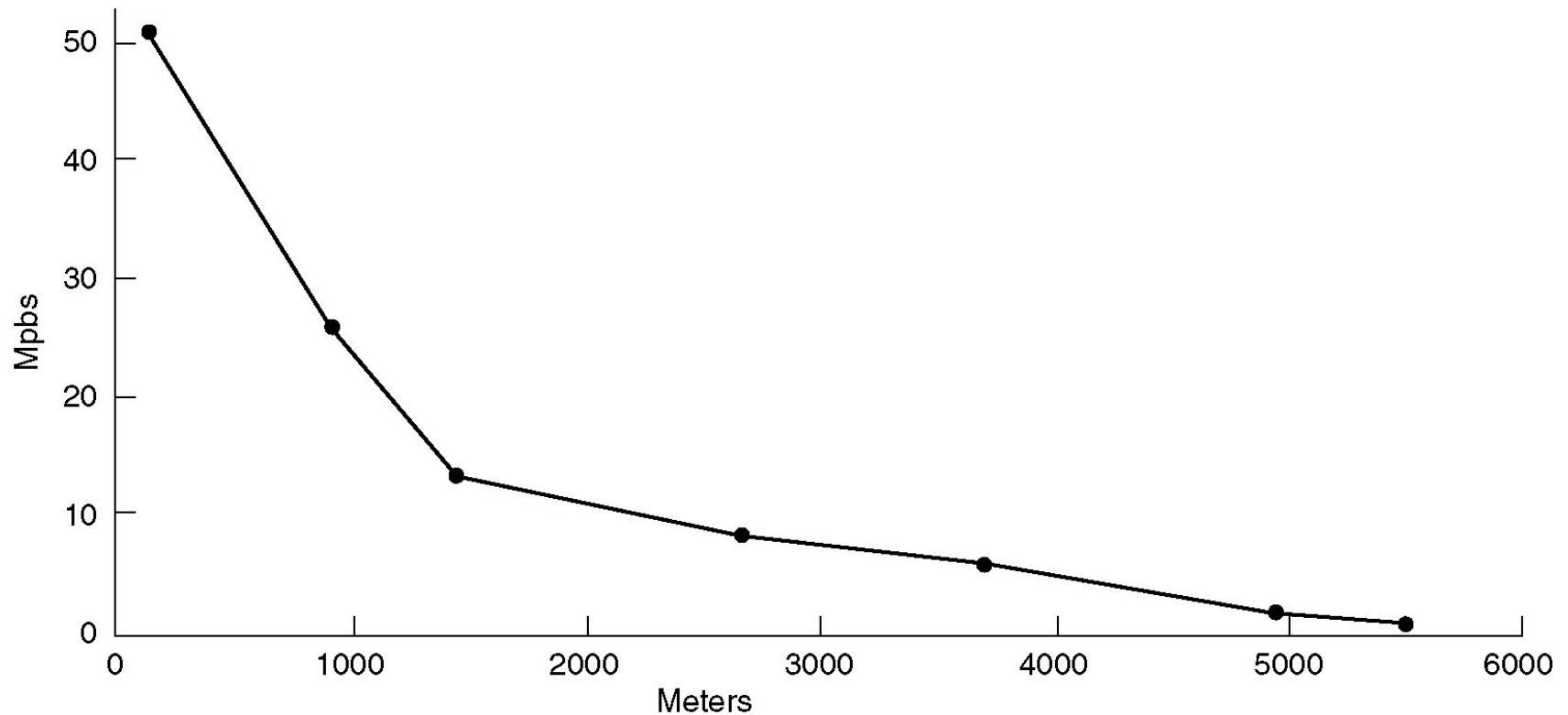
Получава се поредица от **8-битови** числа.

Кодекът произвежда **8000** отчета (samples) в секунда (**125 μ sec/sample**).

Т.е: **64 kbit/s**

Според **Теоремата на Nyquist** това е достатъчно да се прихване цялата информация от един **4-kHz** телефонен канал.

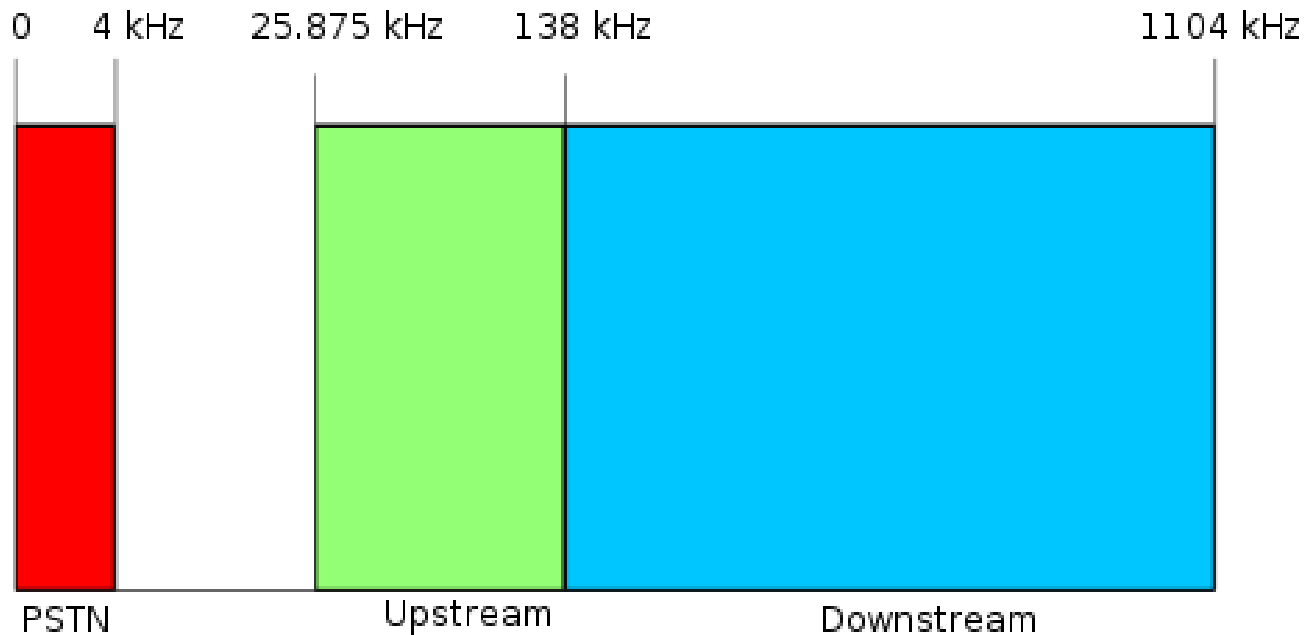
Digital Subscriber Lines



Bandwidth vs. разстояние по category 3 UTP за DSL.

xDSL услугите: Да работят върху съществуващи category 3 кабели в последната миля. Да не пречат на съществуващи телефони.

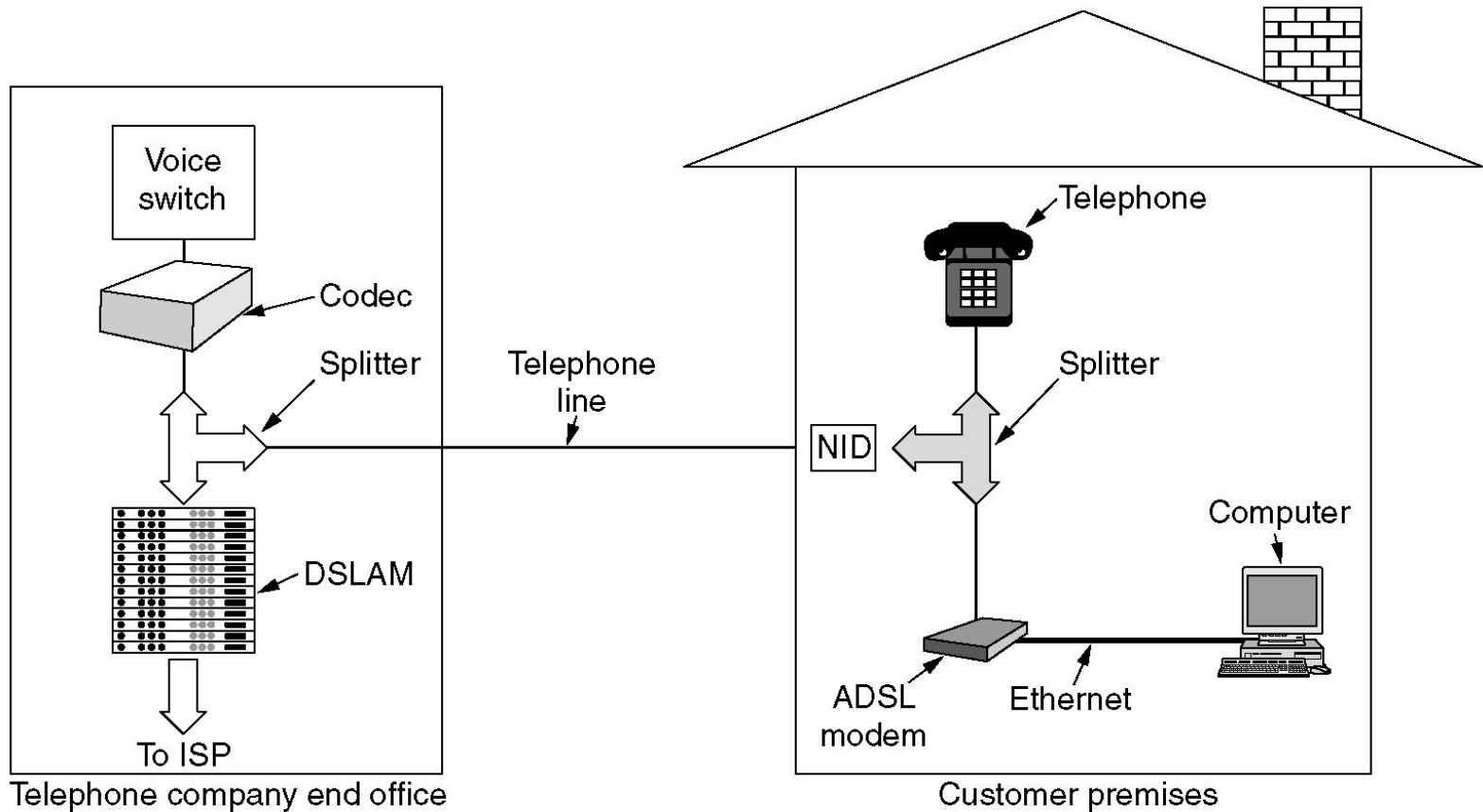
Digital Subscriber Lines (2)



ADSL – телефонната линия има $bw=1$ MHz, но тлф. компании филтрират гласовия канал 3100 Hz, останалото – данни.

използвана модулация: **discrete multitone modulation**.

Digital Subscriber Lines (3)



Типична ADSL конфигурация.

xDSL технологии

xDSL	UP, Mbit/s	DOWN, Mbit/s	Приложение
IDSL	144 kbit/s	144 kbit/s	ISP: data
HDSL/UHDSL	1.544/2.048	1.544/2.048	Leased Lines: Cu/FO
ADSL/ADSL2	1/1	8/12	Дом. Нет.
ADSL2+	1; 3.5	24	Дом. Нет.
VDSL	16	52	До 1 km, Дом. Нет
GDSL	1, 10 Gbit/s	1, 10 Gbit/s	4-pair Cat.3 UTP, 300m

Wavelength Division Multiplexing (WDM)

В оптичешките канали се използва мултиплексиране с разделяне на дължините на вълните (WDM).

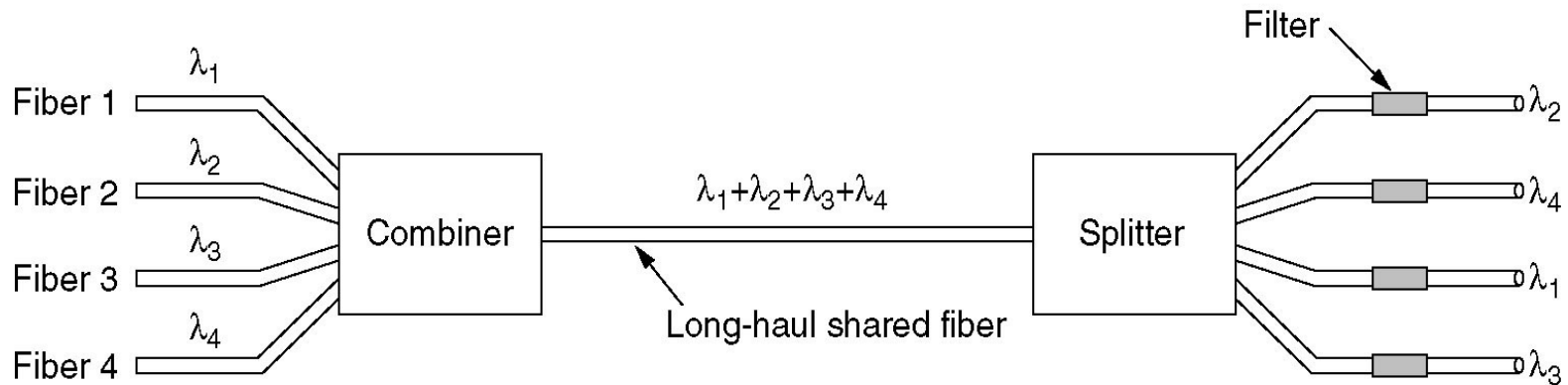
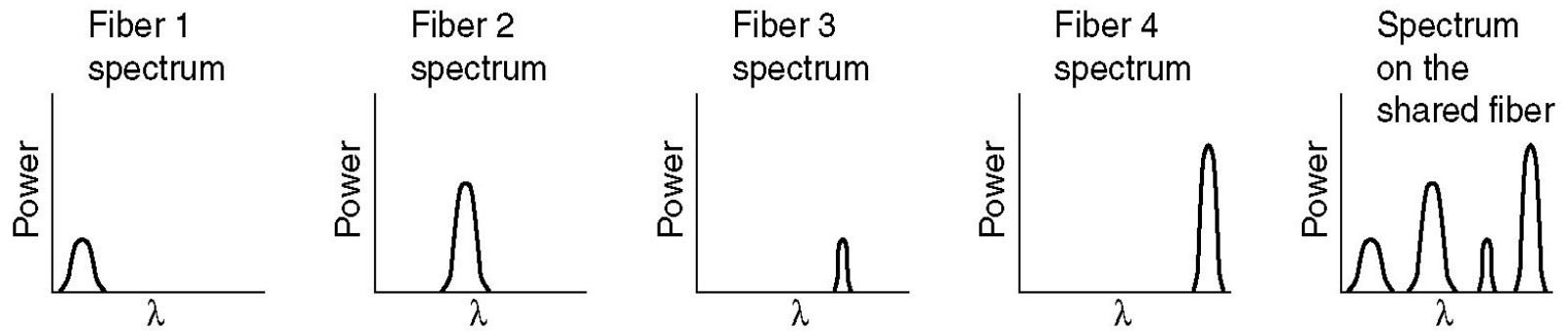
На фигурата по-долу лъчи от 4 влакна, всяко с различна λ постъпват в призма или дифракционна решетка.

Четири лъча се обединяват в един лъч, който се пренася по общо FO.

В точката на приемане става разцепване в обратна посока.

Сега се използва Dense wavelength division multiplexing (DWDM). Измества остарелите SONET/SDH оптически-електрически-оптически (ОЕО) регенератори.

Wavelength Division Multiplexing



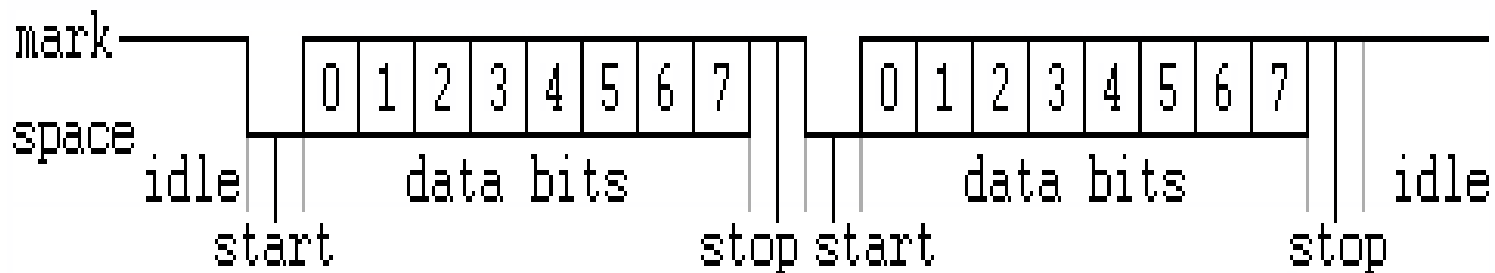
$\Delta f / \text{влякно} \approx 25000\text{GHz}$. Т.е мултиплексират се огромен брой канали на големи разстояния.

Time Division Multiplexing (TDM)

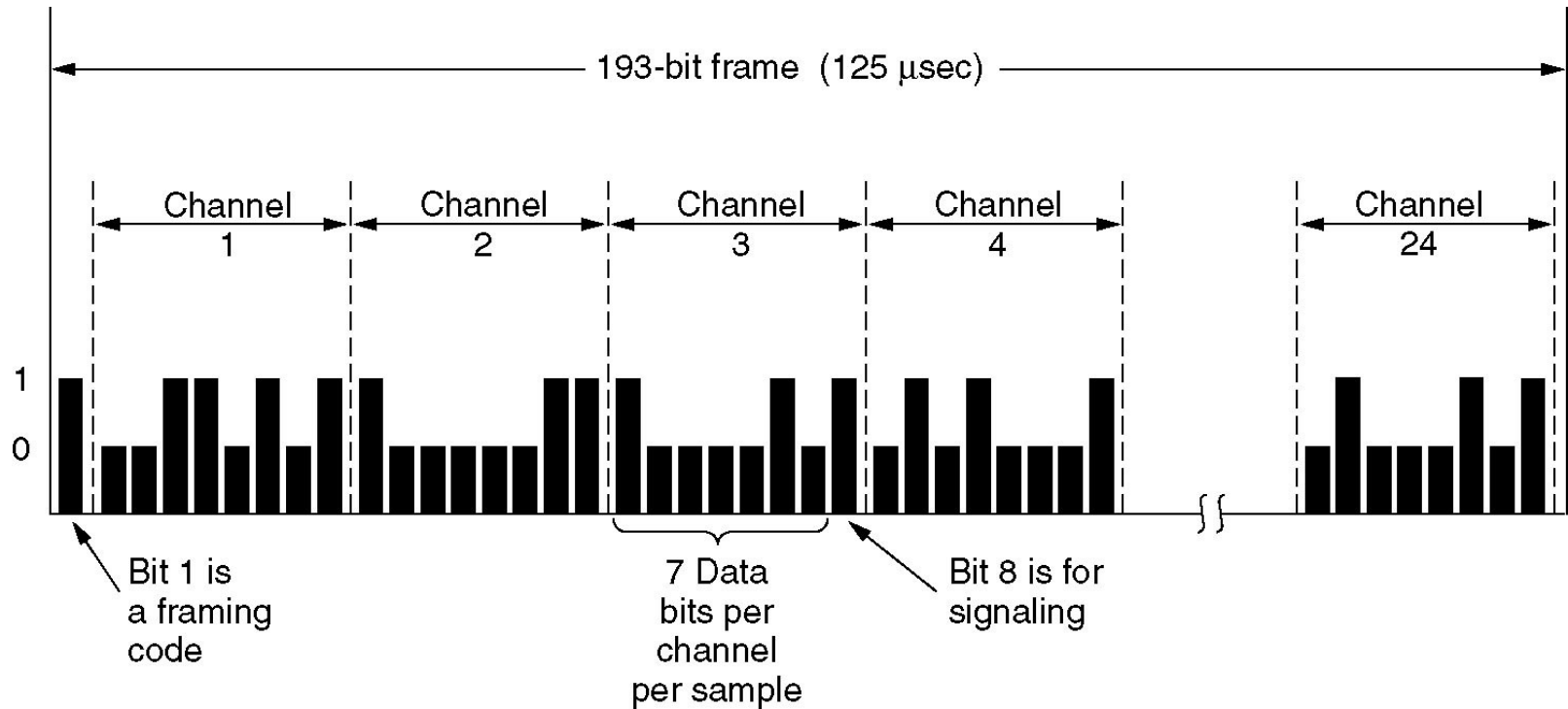
Мультиплексиране чрез времеразделяне (**TDM**). За всеки източник от информация се предвижда определен интервал от време (**time slot**), през който той разполага с канала.

Два режима на предаване:

- **Синхронен** – всеки източник ползва достъп до канала през строго фиксирани интервали от време;
- **Асинхронен** - всеки източник има случаен достъп. Прилагаше се при бавните **dial-up** модеми.



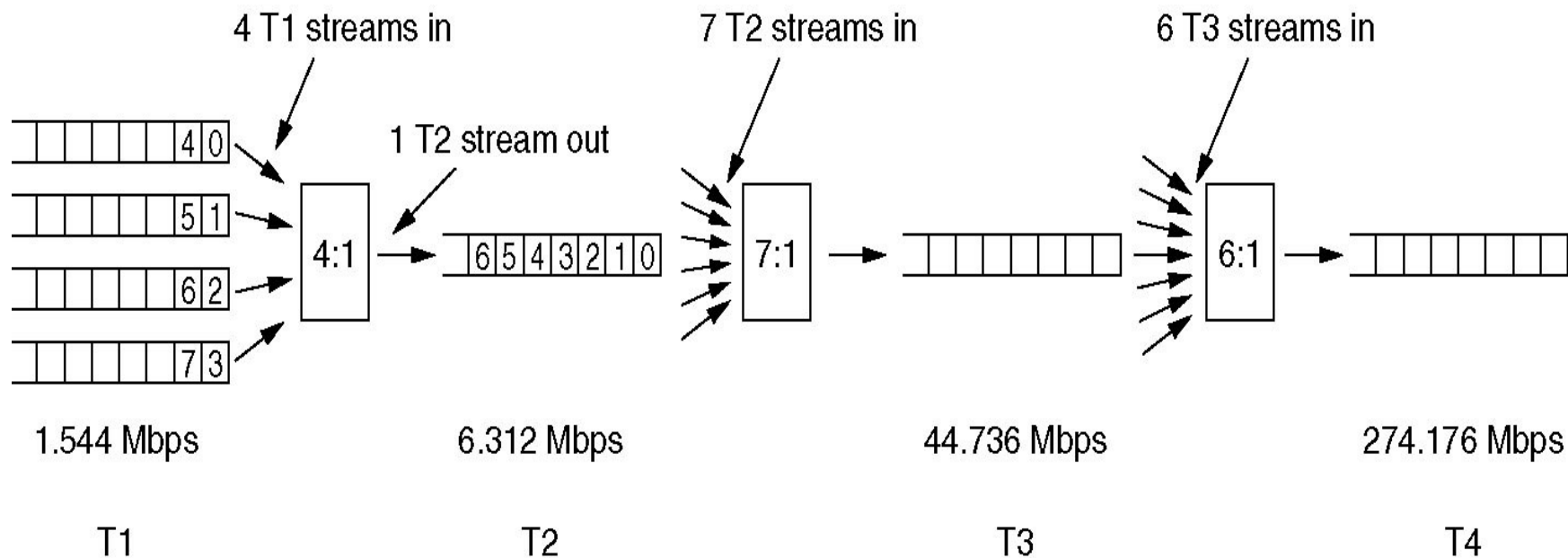
TDM. (T1 - 1.544 Mbps)



Прилага се в Северна Америка, Япония, Корея.

$(7 \times 8000 = 56,000 \text{ bps}$ данни) + $(1 \times 8000 = 8000 \text{ bps})$ сигнална информация

TDM. Мультиплексиране на T1 ПОТОЦИ.



SONET/SDH

През 1985 г. в резултат от усилията за стандартизация на оптичните TDM системи на различни компании се появи **SONET** (Synchronous Optical Network).

Включва се и Международния съюз по телекомуникации (CCITT, днес ITU), който утвърждава SONET стандарта и свързани с него препоръки (G.707, G.708 и G.709) – 1989.

Препоръките на CCITT (recommendations) се наричат **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy), но малко се различават от SONET.

SONET/SDH мултиплексиране

SONET		SDH	Data rate (Mbps)		
Electrical	Optical	Optical	Gross	SPE	User
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008	445.824
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016	891.648
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688	1188.864
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032	1783.296
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28	9621.504	9510.912

STS-1 (Synchronous Transport Signal-1);

SPE (Synchronous Payload Envelope).

Безжични комуникации (Wireless)

Бъдещето принадлежи на оптичните и безжичните комуникации.

Последните с основно предимство – нулеви разходи за преносна среда.

Достатъчна е точно оразмерена антена, прикрепена към съответната електроника (предавател) и информацията се носи от електромагнитните вълни. Посреща я също антена, прикрепена към приемник.

Покриваното разстояние зависи от честота, релеф, атмосферни условия.

Електромагнитни вълни

Във вакуум електромагнитните вълни се разпрострат със скоростта на светлината:

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

В медни жици и стъклени влакна тази скорост е около $2/3$ от тази стойност и е честотно зависима.

Връзката между честотата f и дължината на вълната λ се определя от формулата:

$$\lambda * f = C$$

Честотна лента на електромагнитните вълни

Количеството информация, което може да пренесе електромагнитна вълна, има отношение към честотната лента. От горното уравнение, ако диференцираме по отношение на λ :

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

Ако заместим диференциалите с крайни разлики и отчетем само абсолютните стойности:

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

Честотна лента на електромагнитните вълни

Честотната лента е **обратно пропорционална** на дължината на **вълната** и **право пропорционална** на **C** и диапазона, в който се изменя дължината на вълната.

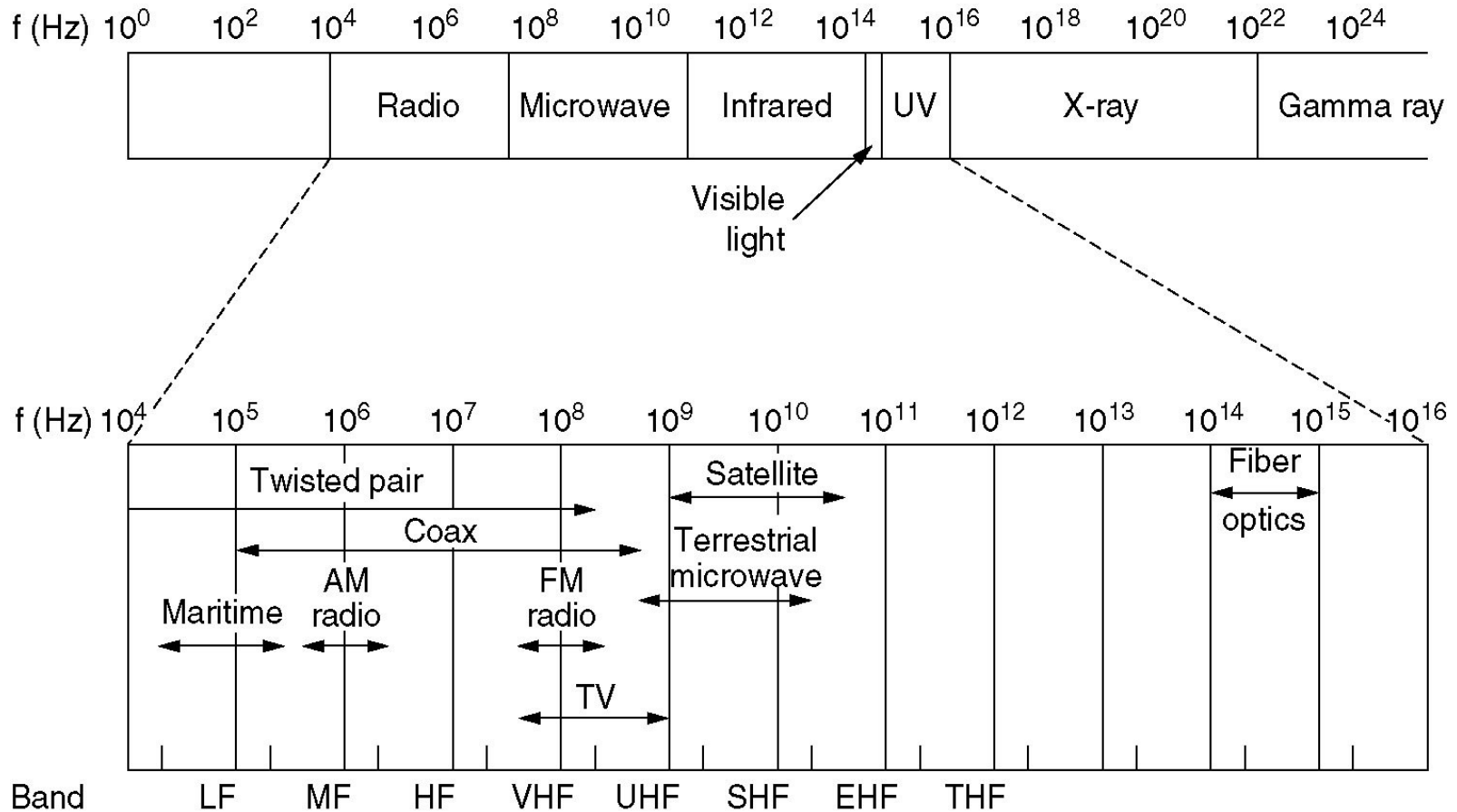
Например, **1.30 μm FO** обхват:

$\lambda = 1.3 \times 10^{-6}$ и $\Delta\lambda = 0.17 \times 10^{-6}$, следователно: **$\Delta f \approx 30$ THz.**

При **8 bits/Hz**: **240 Tbps.**

Спектърът на електромагнитните вълни е показан в следващия слайд.

Спектър на електромагнитните ВЪЛНИ



Спектър на електромагнитните ВЪЛНИ

За предаване на информация чрез вече известните модуляции се използват радио, микровълнов, инфрачервен и обхвата на видимата светлина от спектъра.

Ултравиолетови, рентгенови (X-rays) и гама лъчите са даже по-добри (високи честоти), но са опасни за здравето.

В долната част на фигурата: имена на обхватите според ITU.

Разпределение на честотния спектър

За да се предотврати хаос, съществуват национални и международни споразумения за това кой и как да използва конкретни честоти:

За АМ и FM радио, ТВ, мобилни телефони, полиция, военни и т.н.

В глобален мащаб **ITU-R** координира.

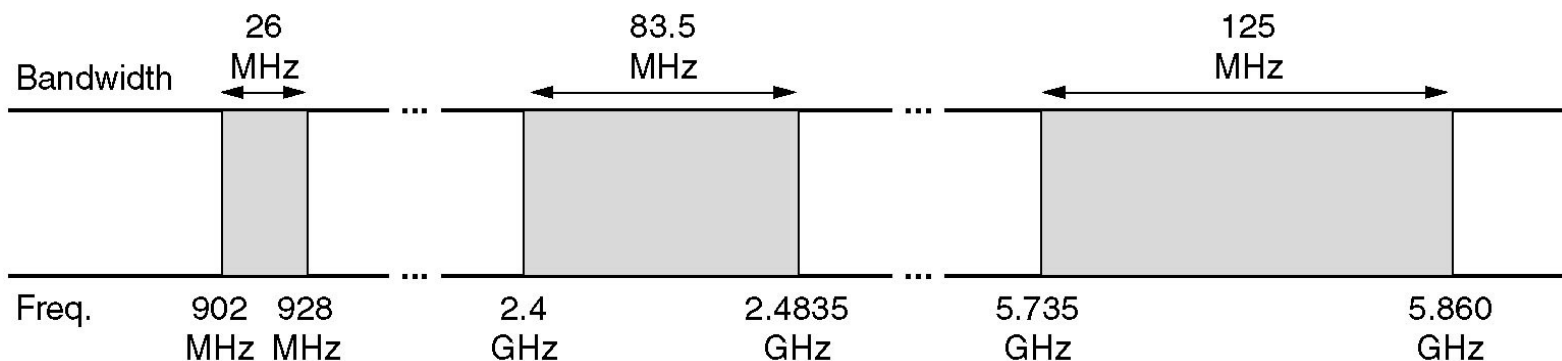
Всяка страна си има такава организация:

FCC (Federal Communication Commission) в САЩ;

КРС (Комисия за регулиране на съобщенията) у нас.

Имаме си “**Национален план за разпределение на радиочестотния спектър**” (<http://normabg.com/normativi/drugi/razni/1522.php>)

Нелицензирани обхвати



Според “План за...”, заб. 67:

Ленти 26.957 - 27.283 MHz, 40.660 - 40.700 MHz, 433.050 - 434.790 MHz, **2400 - 2483.5 MHz**, **5725 - 5875 MHz**, 24 - 24.25 GHz, 120.06 - 126 GHz и 241 - 248 GHz се използват за устройства за промишлени, научни и медицински цели (**ISM**). (Това са **нелицензираните обхвати**)

Според заб. 77: 900+ MHz е даден на GSM операторите. (на фиг. важи за САЩ)

Безжични мрежи в нелицензираните обхвати

Wireless local area network (**WLAN**): популярна като **WiFi** (стандарти на работна група **IEEE 802.11**).

Wireless **PAN** (Personal Area Network): най-популярна **Bluetooth** (стандарти на работна група **IEEE 802.15**).

IEEE 802.11

802.11 network standards v · d · e

[\[hide\]](#)

802.11 Protocol	Release ^[7]	Freq. (GHz)	Bandwidth (MHz)	Data rate per stream (Mbit/s) ^[8]	Allowable MIMO streams	Modulation	Approximate Indoor range ^[citation needed]		Approximate Outdoor range ^[citation needed]	
							(m)	(ft)	(m)	(ft)
-	Jun 1997	2.4	20	1, 2	1	DSSS, FHSS	20	66	100	330
a	Sep 1999	5	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1	OFDM	35	115	120	390
		3.7 ^[y]					--	--	5,000	16,000 ^[y]
b	Sep 1999	2.4	20	5.5, 11	1	DSSS	38	125	140	460
g	Jun 2003	2.4	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1	OFDM, DSSS	38	125	140	460
n	Oct 2009	2.4/5	20	7.2, 14.4, 21.7, 28.5, 43.3, 57.8, 65, 72.2 ^[z]	4	OFDM	70	230	250	820 ^[9]
			40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150 ^[z]			70	230	250	820 ^[9]

Gigabit Wi-Fi: 802.11ac и 802.11ad

IEEE 802.11ac в момента се разработва.

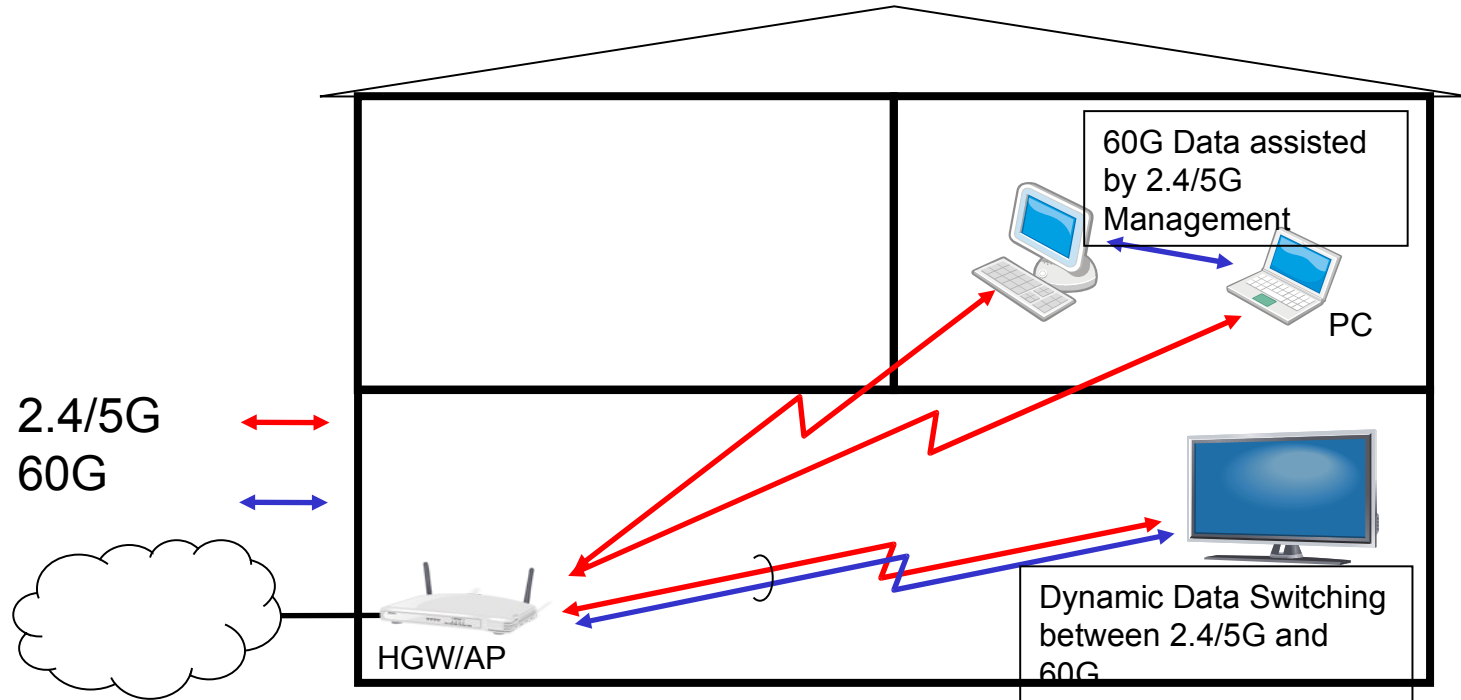
Предвиден е за **5 GHz** обхват. Теоретично ще поддържа до **1 Gbps**.

Разширява възможностите на безжичния интерфейс, заложен в **802.11n** (и е обратно съвместим):

- по-широка честотна лента (**до 160 MHz**),
- повече **MIMO** потоци (**до 8**),
- **OFDM** и **QAM-256** модулация на всеки канал.

Първите смартфони с 802.11ac към 2014 г., а **2016 г.**
- над **400 милиона** устройства.

802.11ad



802.11ad се предвижда за 60 GHz обхват. По-малко покритие, но “по-чист” ефир.

Скорост около 7 Gbps.

60GHz – широка приложимост – от file transfer до HD Video.

OFDM

OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) е проектирана за “сурови” условия: затихване вследствие на дълги линии, интерференция и др.

OFDM е **spread spectrum** технология – един предавател използва множество честотно мултиплексирани сигнали.

Тези сигнали са честотно отделени един от друг, така че да се гарантира “**ортогоналността**”:

- при демодулация да се получи точната честота на полезния сигнал, да няма отклонения и изкривявания.
- следствие от различни пътища на сигналите и т.н.

OFDM. Приложения.

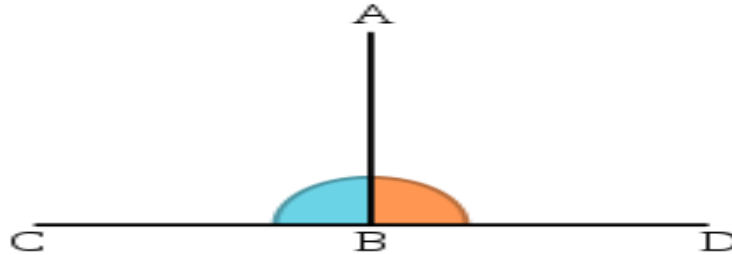
Цифровая ТВ

ADSL

WiFi

WiMAX

Ортогоналност



В **компютърните науки**: промяна в поведението на даден компонент нито създава, нито прехвърля странични ефекти към други компоненти от системата.

Ортогонален набор от инструкции: всяка инструкция може да използва всеки регистър във всякакъв адресен режим.

В **комуникациите** схемите с множествен достъп (**multiple-access**) са ортогонални, когато идеалният приемник може да отхвърли паразитните сигнали.

Примери: **TDMA**, **OFDM**.

MIMO-OFDM

MIMO (Multiple-Inputs Multiple-Outputs)-OFDM.

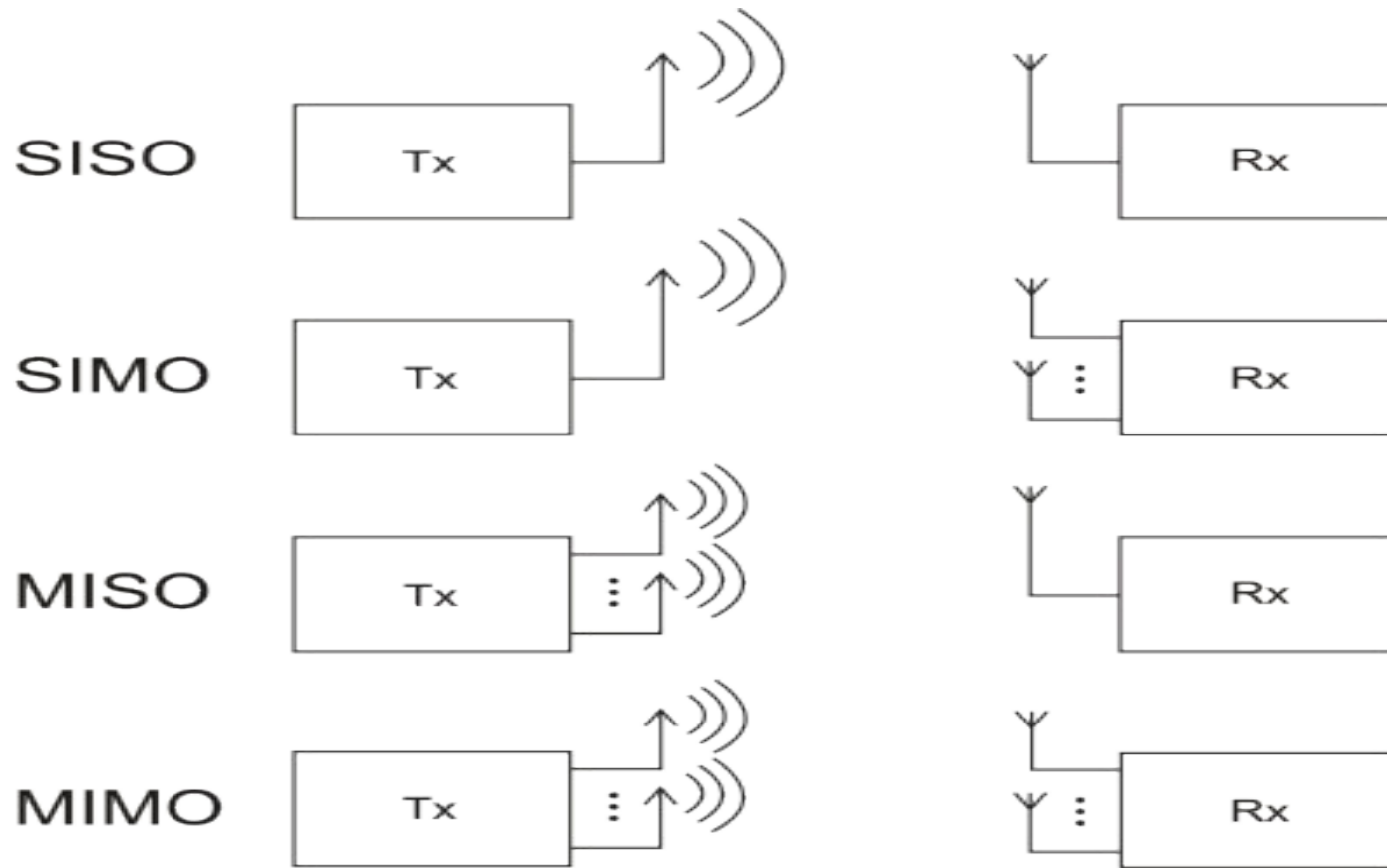
Използва **множество антени** за едновременно предаване на данни на малки порции.

Приемникът възстановява данните в оригиналния им вид.

Този процес се нарича още „**пространствено мултиплексиране**“.

Вдига скоростта на предаване **пропорционално на броя на антените**.

MIMO-OFDM



Прилага се и при 802.11n, 802.11ac/ad и 802.16e (WiMAX).

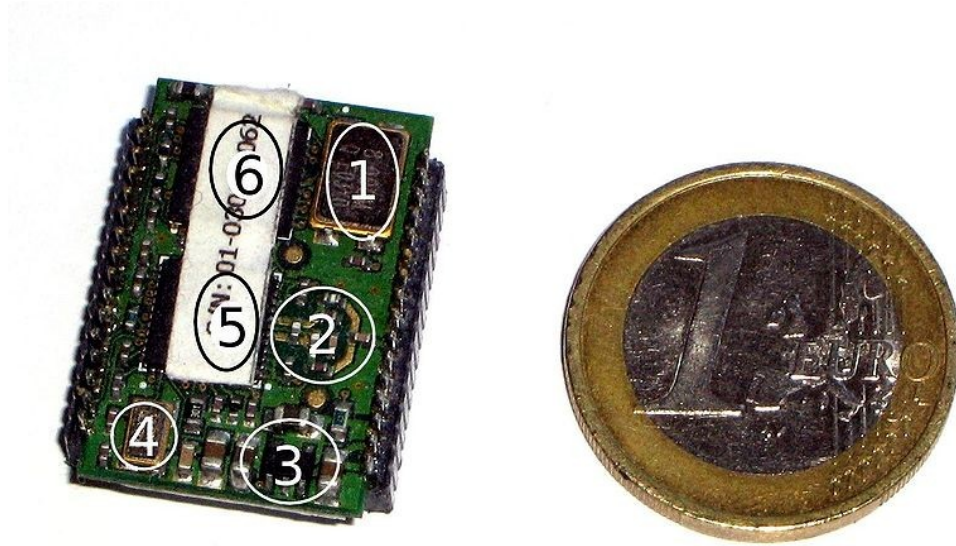
IEEE 802.15. Bluetooth, и др.

IEEE 802.15. Task Group	Пояснение
1 (WPAN/Bluetooth)	Безжичен RS-232. ISM 2.4 GHz. V. 1.2: 1 Mbit/s; V. 2.0 + EDR: 3 Mbit/s; V. 3.0 + HS: 24 Mbit/s. Class 1: ~100 m; Class 2: ~10 m; Class 3: ~1 m
2 (Coexistence)	Взаимодействие на WPAN с други ISM WLANs.
3 (High Rate WPAN)	Високоскоростни (11 to 55 Mbit/s) WPANs.
4 (Low Rate WPAN - WHANs)	С дълготрайни батерии (месеци-години). Примери: ZigBee и 6LoWPAN
5 (Mesh Networking)	Нискоскоростни и високоскоростни.
6 Body Area Network (BAN)	BAN: ниска мощност, нискочестотни мрежи на късо разстояние.
7 Visible Light Communications (VLC)	Видима светлина 400 THz (780 nm) и 800 THz (375 nm). Флуоресцентни лампи - 10 kbit/s; LEDs - до 500 Mbit/s; RONJA - 10 Mbit/s).

Bluetooth устройство



ZigBee



В “mesh network” за интелигентен контрол на устройства в индустрията, сенсори, медицината, противопожарна и охранителна техника, в дома и др.

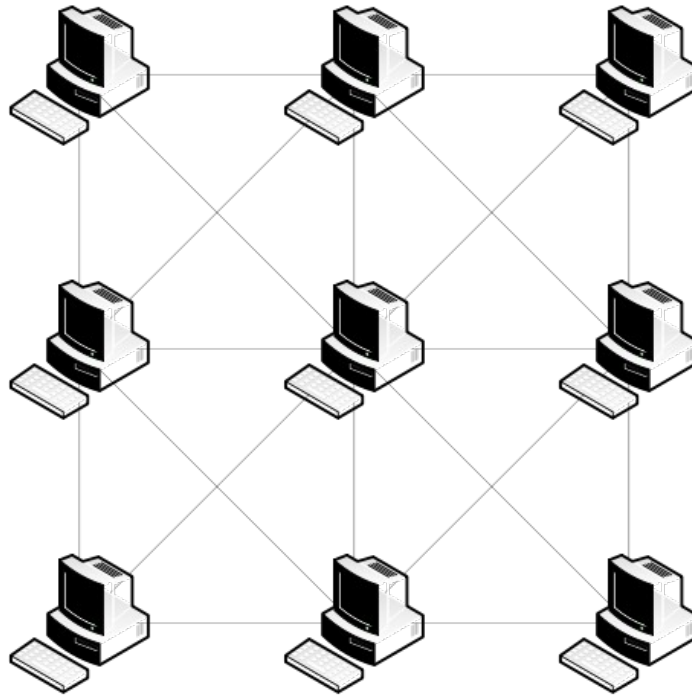
6LoWPAN

6lowpan, IPv6 over LoW Power wireless Area Networks.

Работната група на IETF дефинира енкапсулация и компресиране на заглавната част ([RFC4944](#)), за да могат по IEEE 802.15.4 мрежи да се изпращат IPv6 пакети.

Ще намери приложение в [Smart Grid](#) – интелигентно управление и измерване на електрически уреди. В момента основен приоритет в САЩ. Един от основните фактори за въвеждане на IPv6.

Mesh networking



Mesh networking – всеки възел в мрежата си е самостоятелен маршрутизатор (рутер). Гарантира непрекъсваемост на връзката чрез заобикаляне на прекъснати или блокирани пътища.

RONJA



RONJA (Reasonable Optical Near Joint Access) е устройство, излъчващо в открито небе. Изобретено е в Чехия. Предава данни със скорост **10 Mbit/s full duplex Ethernet point-to-point** (точка-точка).

WiMAX и IEEE 802.16

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) е телекомуникационен протокол за широколентов (broadband) фиксиран и мобилен достъп до internet.

Технология за последната миля, безжична алтернатива на кабелните модеми и DSL.

Стандартизиран е от работна група IEEE 802.16.

В момента WiMAX (IEEE 802.16e) осигурява до 70 Mbit/s на разстояния до 24 km.

С обновяването на IEEE 802.16m (**WiMAX 2**) ще достигне 1 Gbit/s фиксирана скорост.

IEEE 802.16: обхвати 10–63 GHz и 2–11 GHz, които трябва да са лицензирани за съответната държава. WiMAX Forum препоръчва: 2.3 GHz, 2.5 GHz and 3.5 GHz.

WiMAX мрежа



4G: WiMAX vs. LTE

4G – 4-то поколение клетъчни бързични комуникации.

1981 аналогови (1G); 1992 цифрови (2G)

2002 3G мултимедия, “spread spectrum”, поне 200 kbit/s

4G е изцяло IP решение: IP телефония, свръх широколентов достъп до Internet, онлайн игри, мултимедия по поръчка. **Най-вече IPv6.**

4G - IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications Advanced), дефиниран от ITU-R. ≈ 100 Mbit/s за мобилен достъп и ≈ 1 Gbit/s за по-стационарен.

За 4G в САЩ се бореха **WiMAX** (налагана от Sprint Telecom) и **LTE** (налагана от AT&T и Verizon).

WiMAX vs. LTE. LTE е победител.

- IEEE 802.16m (**WiMAX 2**);
- **LTE Advanced** (Long-term-evolution Advanced).

Verizon Wireless: в над 190 града.

Sprint Nextel: ще пуска LTE в Dallas, Houston, San Antonio (щата Texas) и в Atlanta,

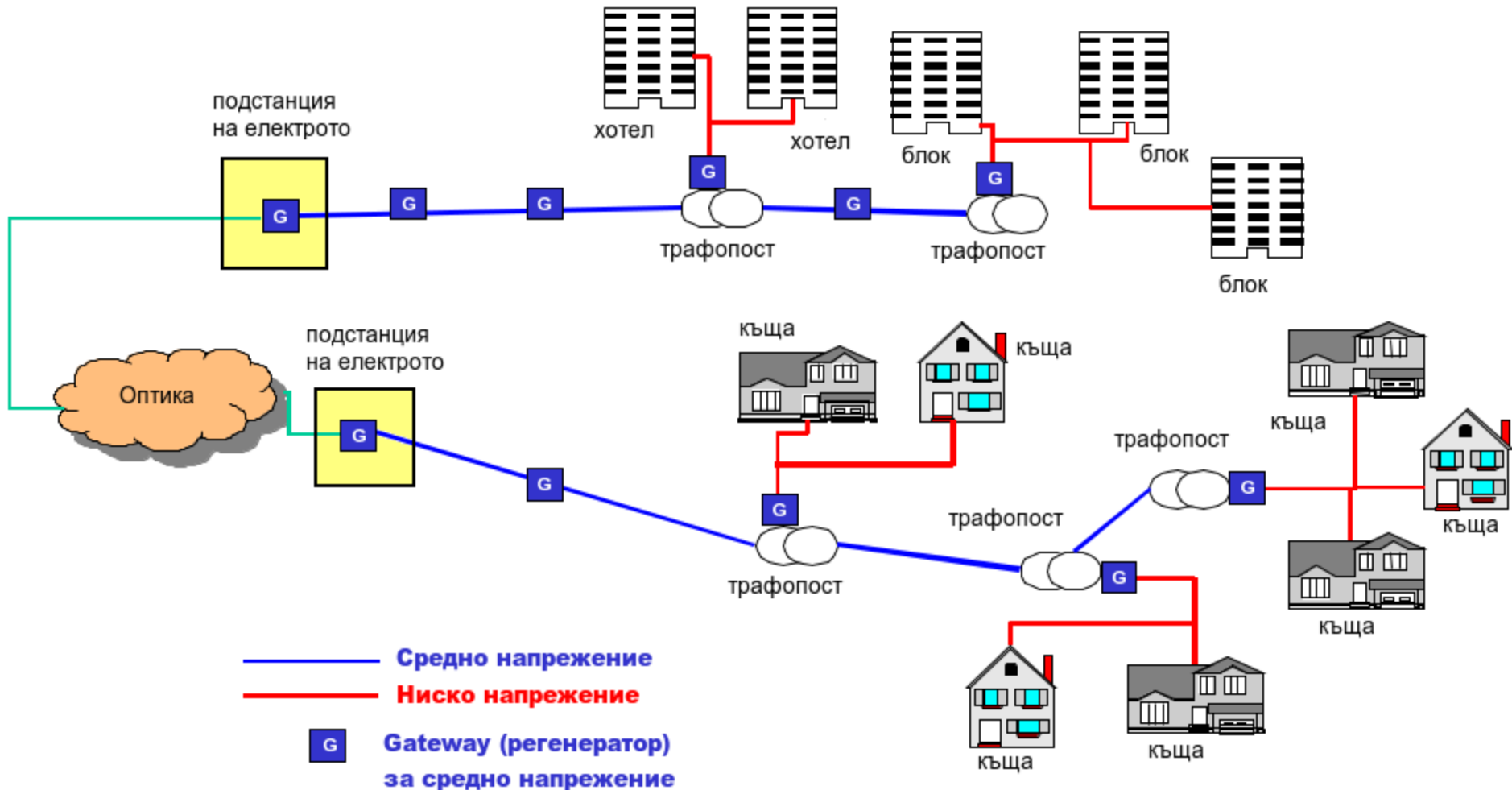


Power Line Communications

Power Line Communication (PLC) се развиват благодарение на технологии като OFDM модулацията, които позволяват по електрозахранващите мрежи със средно и ниско напрежение да се пренасят данни, видео и звук със скорости до 200 Mbps.

Зависи от много фактори (кабели, устройства по електрическата мрежа, съединения) и затова гарантираната скорост от производителя е 20 Mbps.

Топология на PLC мрежа



Топология на PLC мрежа

В подстанция на ЕРП влиза FO или друга стандартна мрежова свързаност и се прави конверсията към мрежата със средно напрежение с помощта на gateway (регенератор) за средно напрежение.

Такъв gateway заедно с филтри за шумоизолация и съединители, освен в подстанциите, се слага на всеки 400 метра кабел за ток със средно напрежение, както и в трафопостовете.

От трафопоста започва клиентската част на мрежата.

В контактите на крайния клиент се слагат адаптери.

Примерно крайно устройство

- 200 Mbit/s;
- QoS: поддържа данни, VoIP и др.
- конектори за Ethernet, USB и аналогов телефон.

HomePlug Powerline Alliance:

Работи върху HomePlug AV2
(Gbit/s);

Стандартът IEEE 1901

Broadband over Power Line
(BPL) бе финализиран през
декември, 2010.

