

# 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  $a$  и  $b$  се намират от следните интеграли:

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

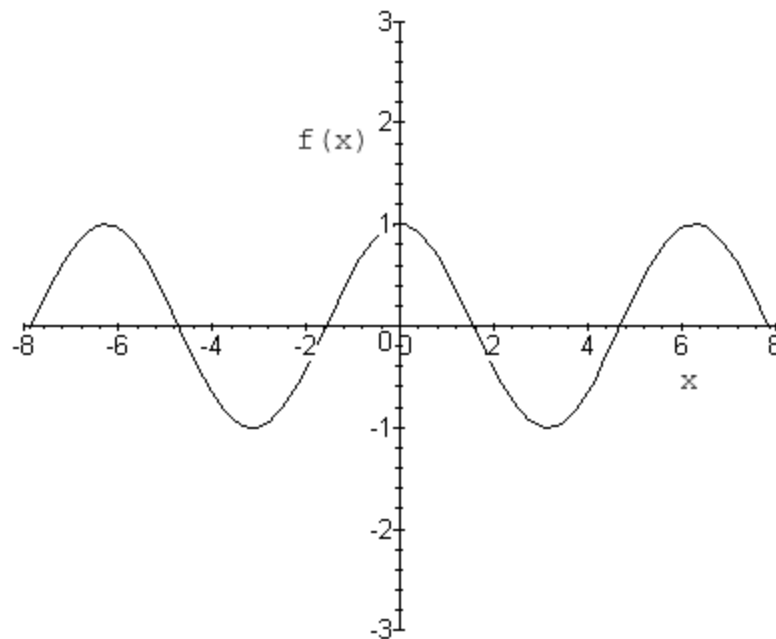
$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) dt$$

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

# Ред на Фурие. Четна функция.

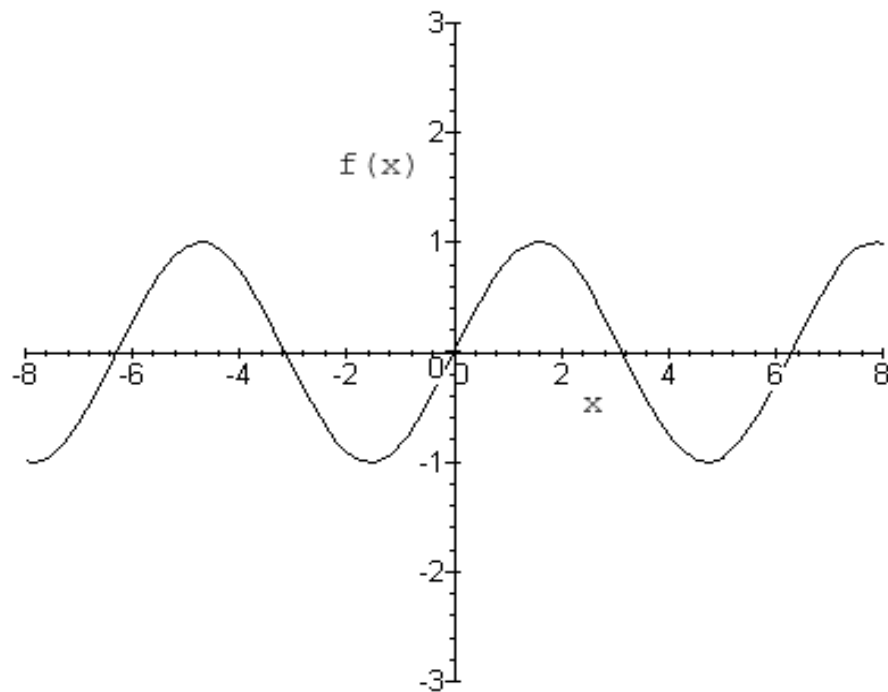
Ако една функция е **четна**, то всички коефициенти  $b_n$  са **нула**, и ако функцията е **нечетна**, то коефициентите  $a_n$  са **нула**.

Четна функция  $f(x) = \cos(x)$ :



# Ред на Фурие. Нечетна функция.

Нечетна функция  $f(x) = \sin(x)$ :



# Ред на Фурие. Пример.

За пример да разгледаме функцията:

$$f(x) = -1, x \in [-\pi, 0]$$

$$f(x) = 1, x \in [0, \pi]$$

Функцията е **нечетна**, то всички коефициенти  $a_n$  са нула и:

$$b_n = \frac{1}{\pi} \left[ \int_{-\pi}^0 -\sin(nx) dx + \int_0^{\pi} \sin(nx) dx \right] = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(nx) dx = \frac{2}{n\pi} (1 - \cos n\pi)$$



# Ред на Фурие. Пример.

или

$b_n=0, n=2,4,6..$

$$b_n = \frac{4}{n\pi}, n=1,3,5..$$

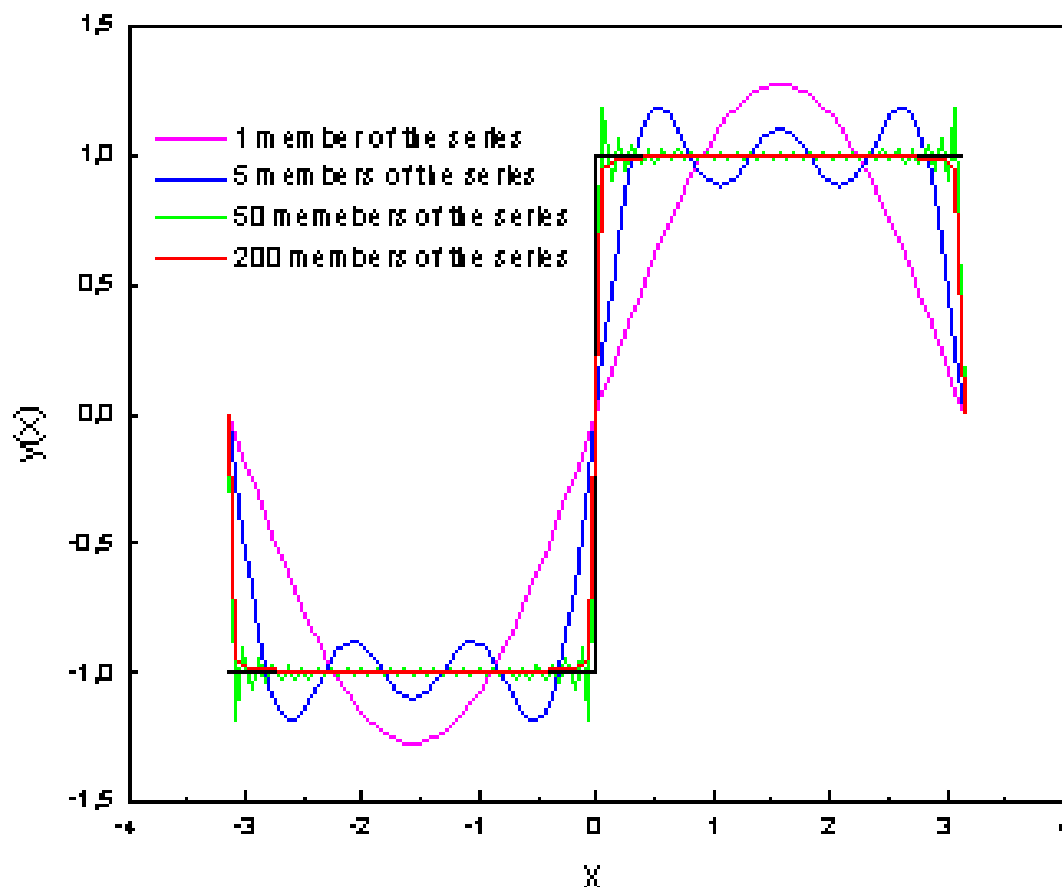
# Ред на Фурие. Пример.

Отдачно е показана

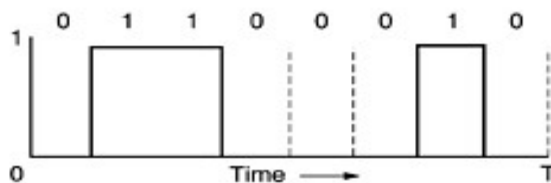
апроксимацията на  
функцията с различен  
брой членове.

С увеличаването на броя на  
членовете осцилациите  
на реда намаляват и той  
се доближава до  
стойностите на  
функцията в точките на  
непрекъснатост.

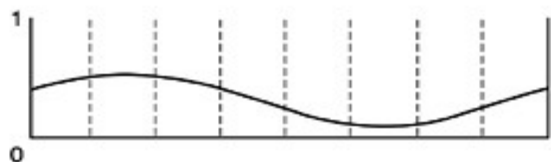
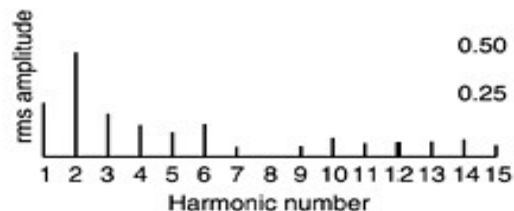
Approximation of the step function by a Fourier series



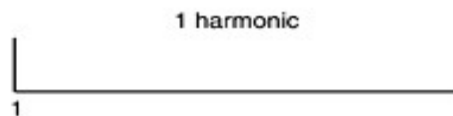
# Буква b в ASCII код



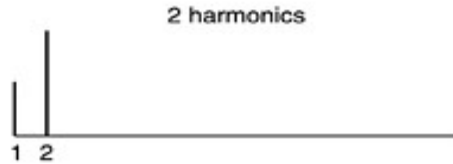
(a)



(b)



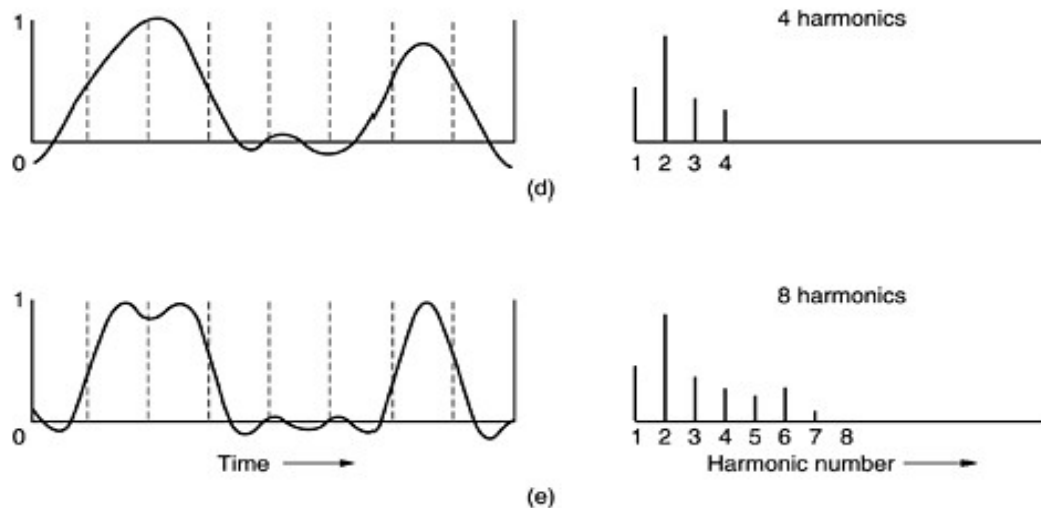
(c)



Буквата **b** като 8-битов ASCII символ:

(b) апроксимация с първа хармонична сигнал  $\neq$  оригинал

# Буква b в ASCII код



(с) – (е) аппроксимация с по-голям брой честоти: сигнал  $\approx$  оригинал

# 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,  $B = 3100 \text{ Hz}$  (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

# Бод и бит

Времето  $t$  за предаване на един бит зависи от метода на кодиране и честотната лента.

Броят на превключванията на стойностите на един цифров сигнал се измерва в **бодове**. По време на 1 бод (**baud**) се предава един СИМВОЛ:

Но:  $b$  бода не винаги  $= b$  bit/s

В един цифров сигнал **информация** за  $> 1$  бит.

Например, ако цифровият сигнал има 8 нива на напрежение (0, 1, ..., 7), то с един символ се предават 3 бита информация и тогава скоростта на линията ще бъде **3 символа/s = 3 bit/s**.

Ако се използват само 2 нива за 0 и 1 (20 mV и 3V), то:

$b$  бода  $= b$  bit/s



# 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:  
 $\rho = 0.016 [\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]$ ;
- 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)

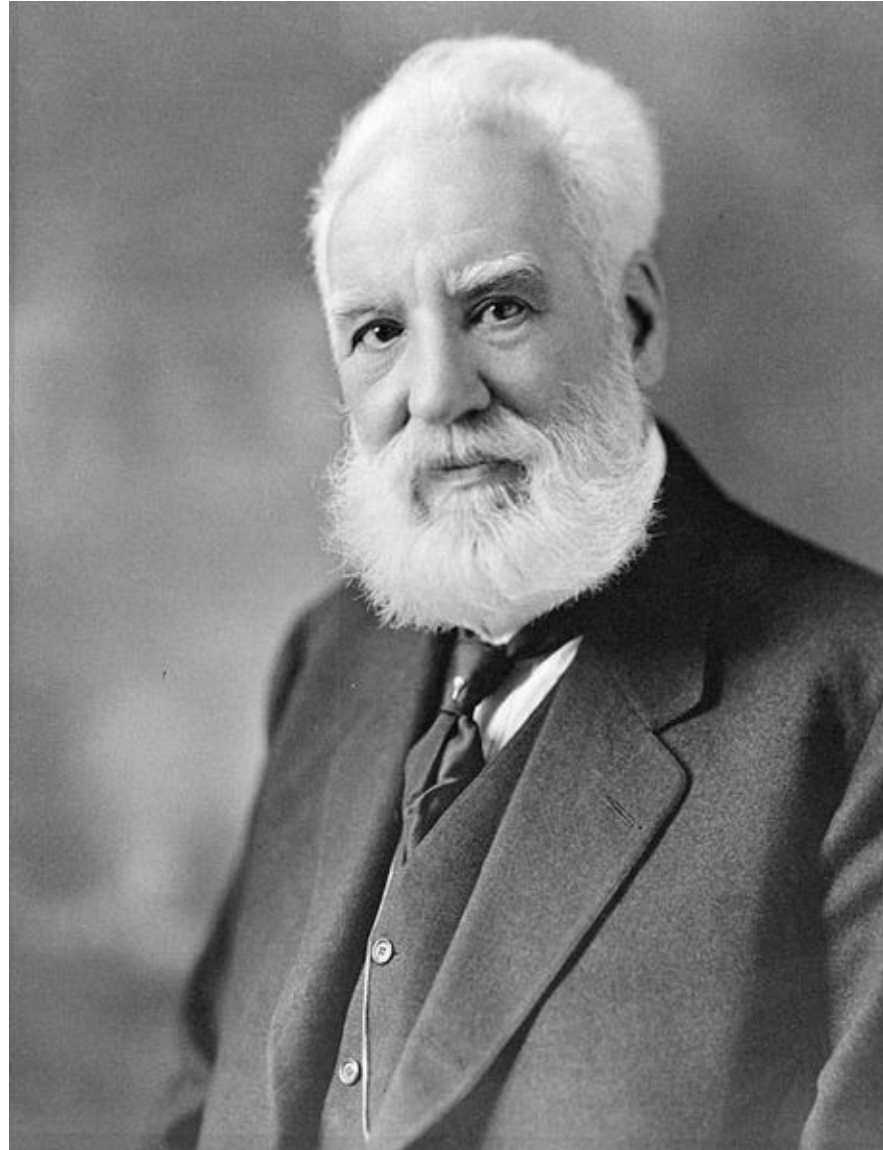
При кабелите тип “усукана двойка” (Twisted Pair) два проводника (прав и обратен) са усукани така, че да се **анулира** или **подтисне** електромагнитната интерференция (electromagnetic interference - **EMI**) на външни източници:

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

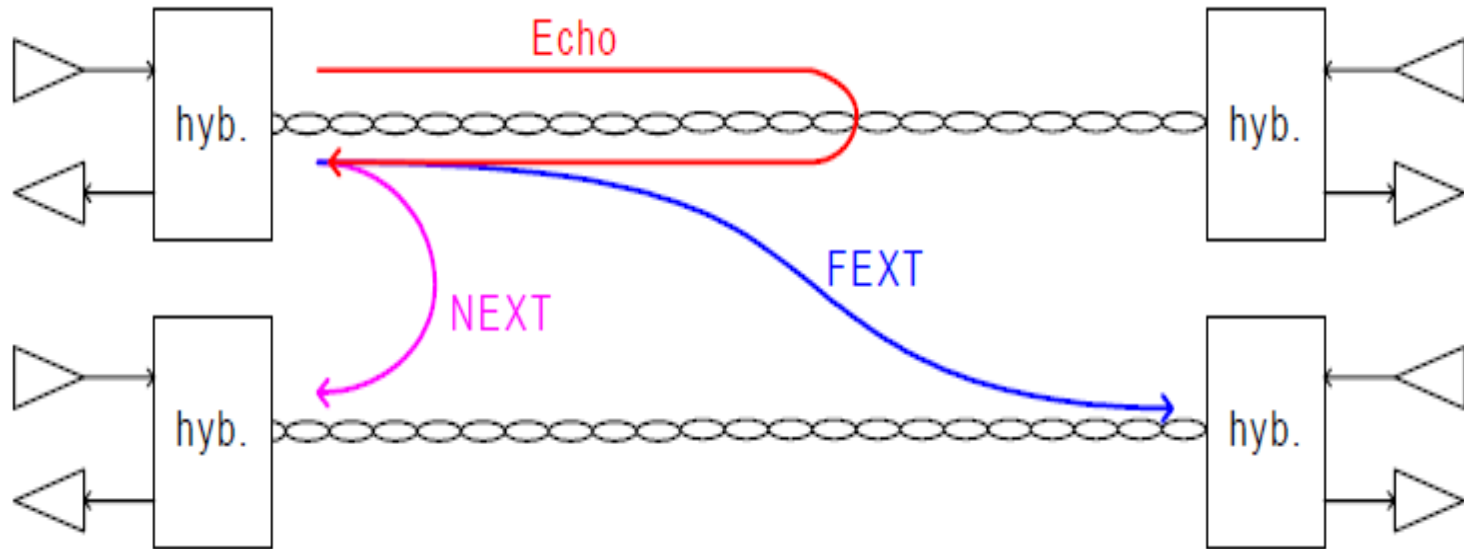
Изобретен от **Alexander Graham Bell** и патентован с **US patent 244,426 Telephone-circuit** (1881).

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

# Alexander Graham Bell



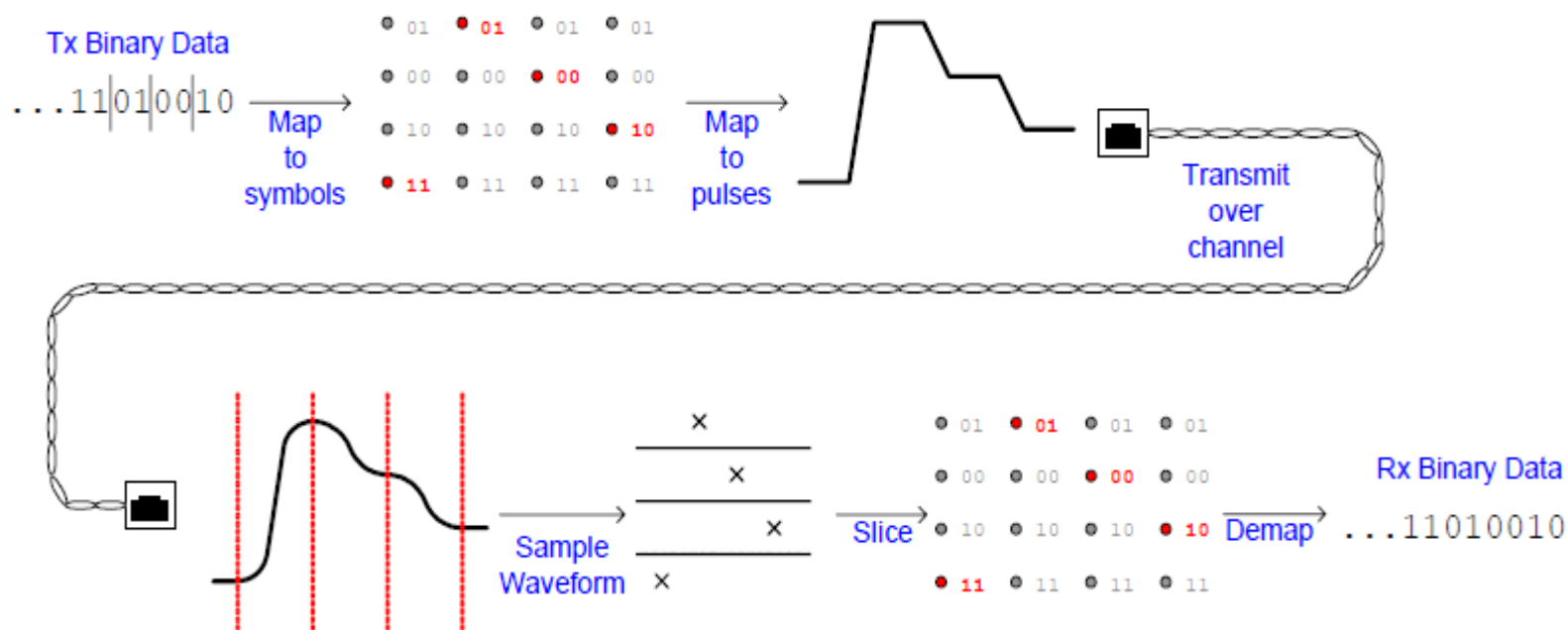
# NEXT. FEXT. Echo.



Near-end crosstalk (**NEXT**)

Far-end crosstalk (**FEXT**)

# Влияние на преносната среда



“Размиване” (изкривяване) на сигнала.

# Диференциален режим

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

В крайната точка се приема разликата между двата:

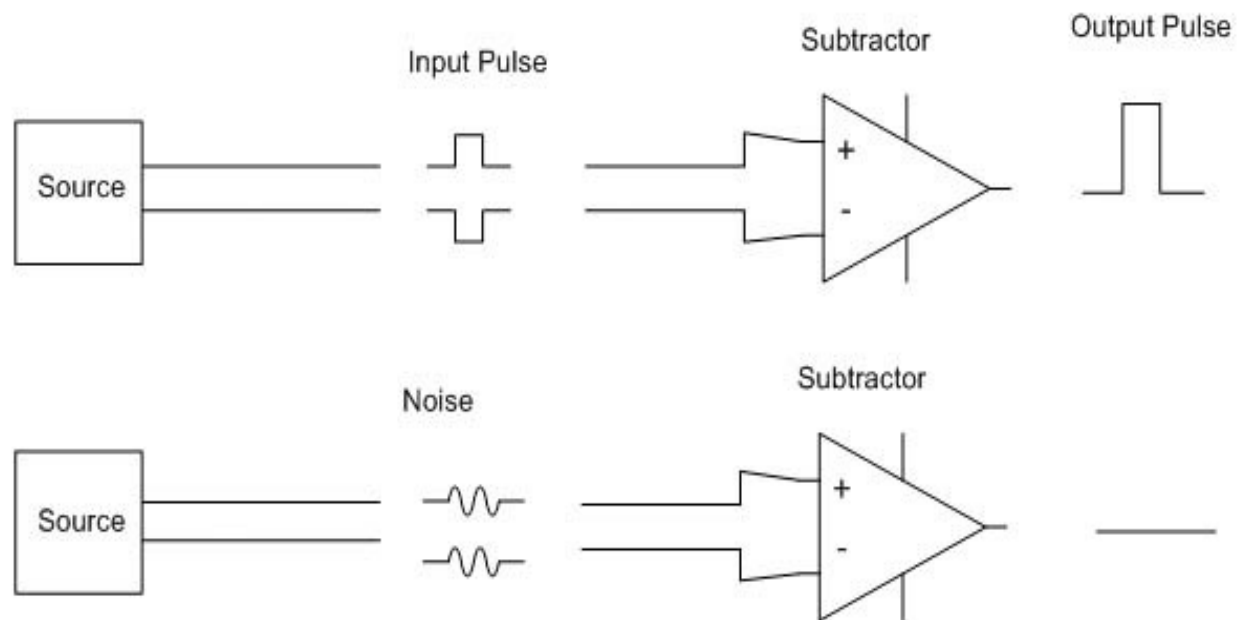
$$S - (-S) = 2 * S$$

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

$$N - N = 0$$

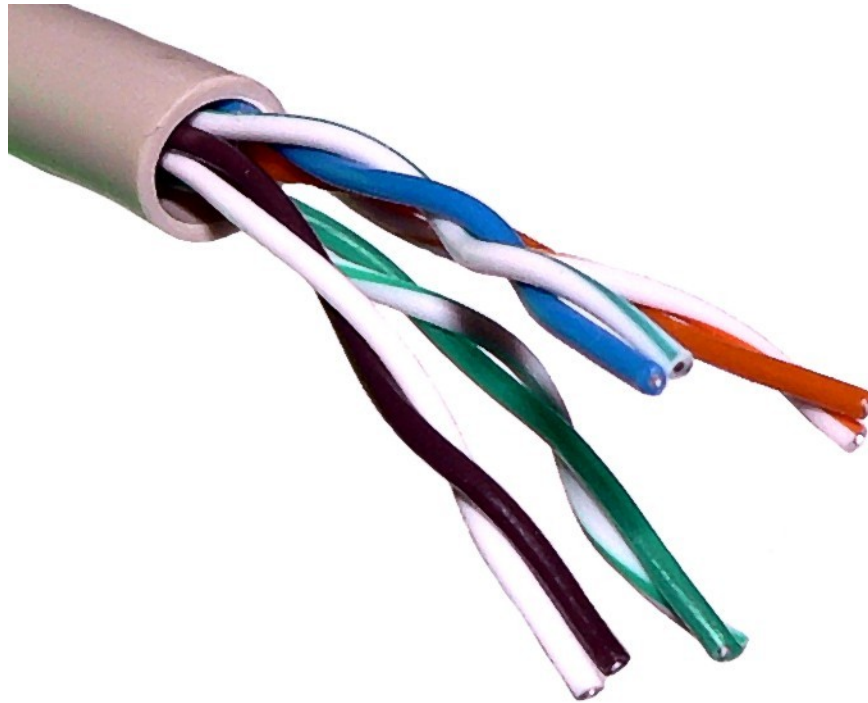


# Диф. режим. Схема.

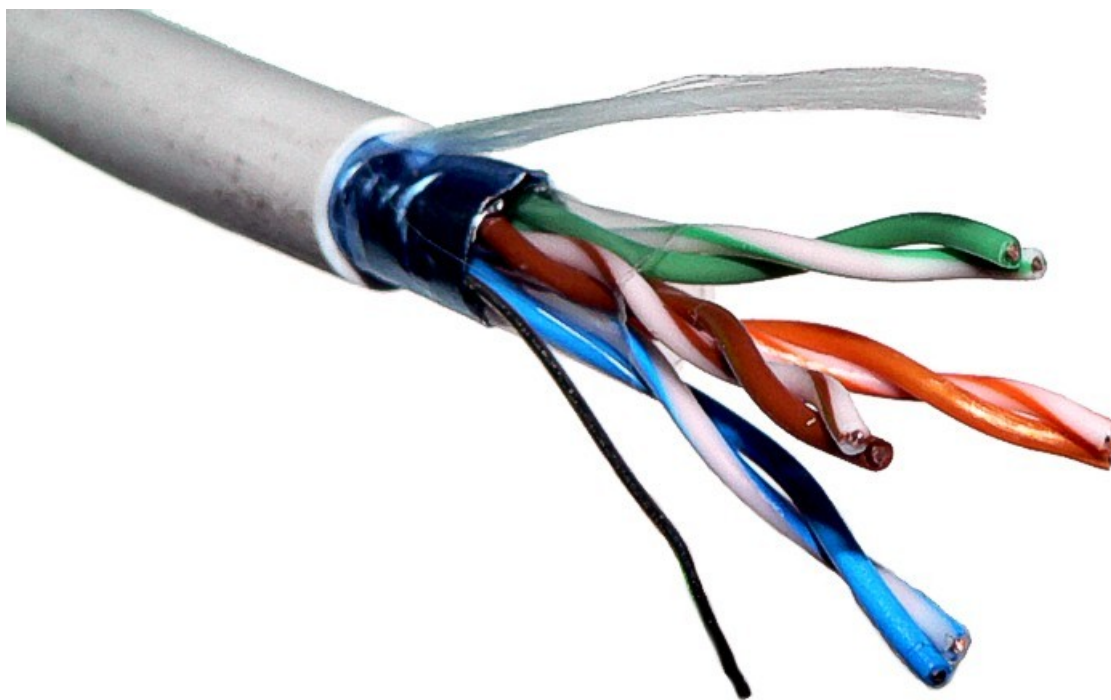


# Unshielded twisted pair (UTP)

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)



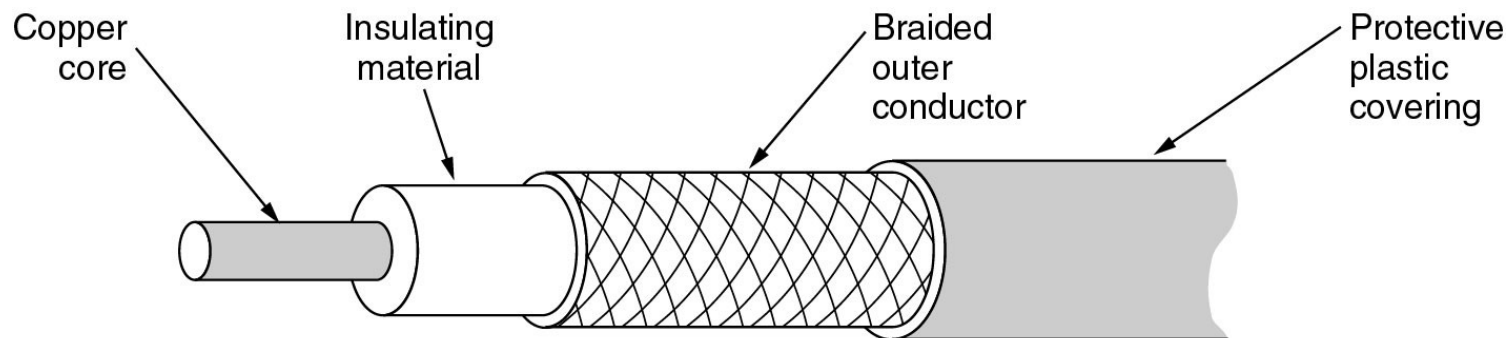
(b)

- (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

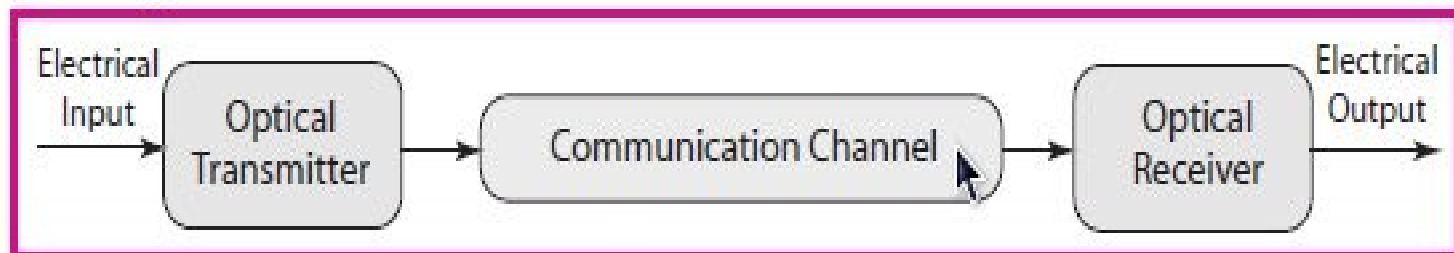
# Коаксиален кабел



Класическият Ethernet –  $50\ \Omega$  (тънък); CATV -  $75\ \Omega$  (дебел).



# Влакнеста оптика. Принципи.



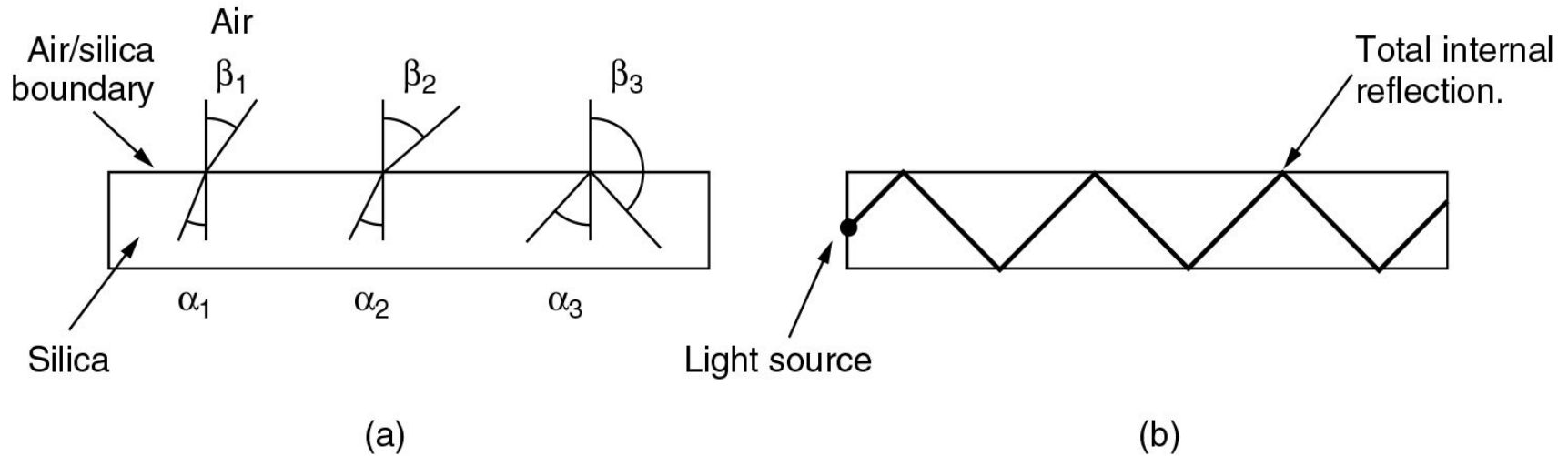
Една оптическа комуникационна система (Fiber Optics – FO):

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.

# Влакнестоптически кабели (Fiber Optics)

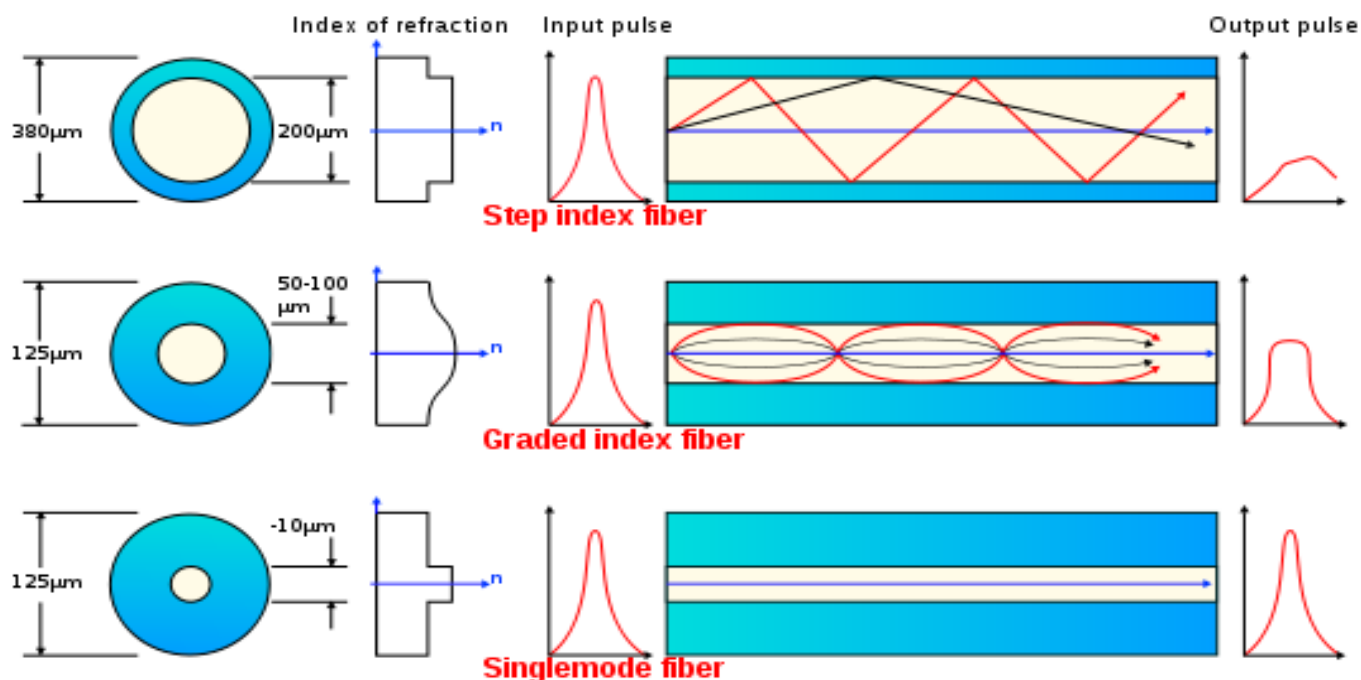


(a) Светлинният лъч пада под различен ъгъл на границата “въздух-силиций”.

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

Дължина на вълната  $\lambda$  – 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

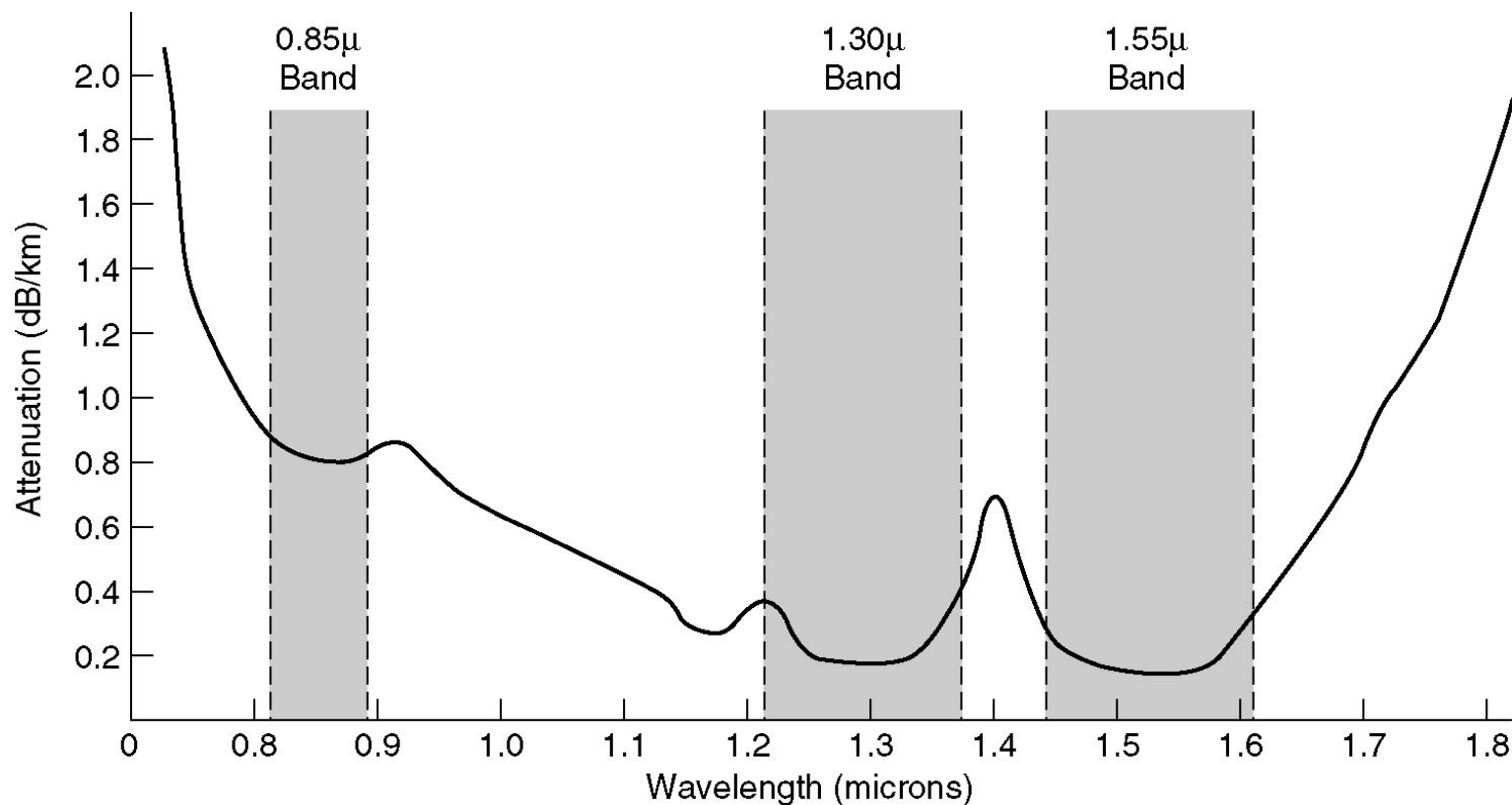
**ММ** влакната със стъпаловиден профил на коефициента на пречупване имат пълно вътрешно отражение на няколко дължини на вълната.

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

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

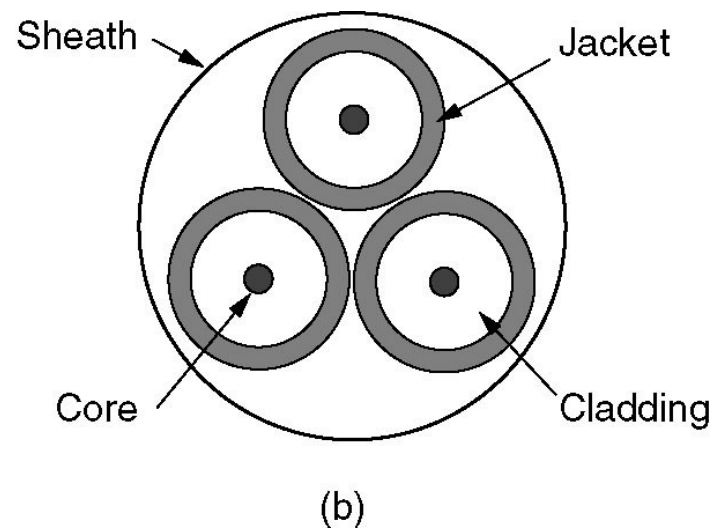
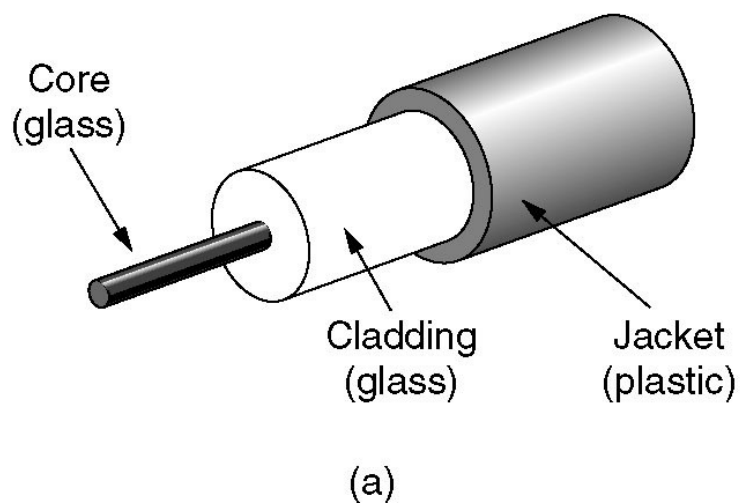
**Основно предимство: не се влияе от външни шумове (ЕМІ, влага и др.)**

# Честотни обхвати



Според **коефициента на затихване** във ФО комуникациите имаме три честотни обхвата, центрирани около дължини на вълната 0.85, 1.30 и 1.55  $\mu\text{m}$  (**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 $\mu\text{m}$ или 62.5/125 $\mu\text{m}$	10/125 $\mu\text{m}$
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**.

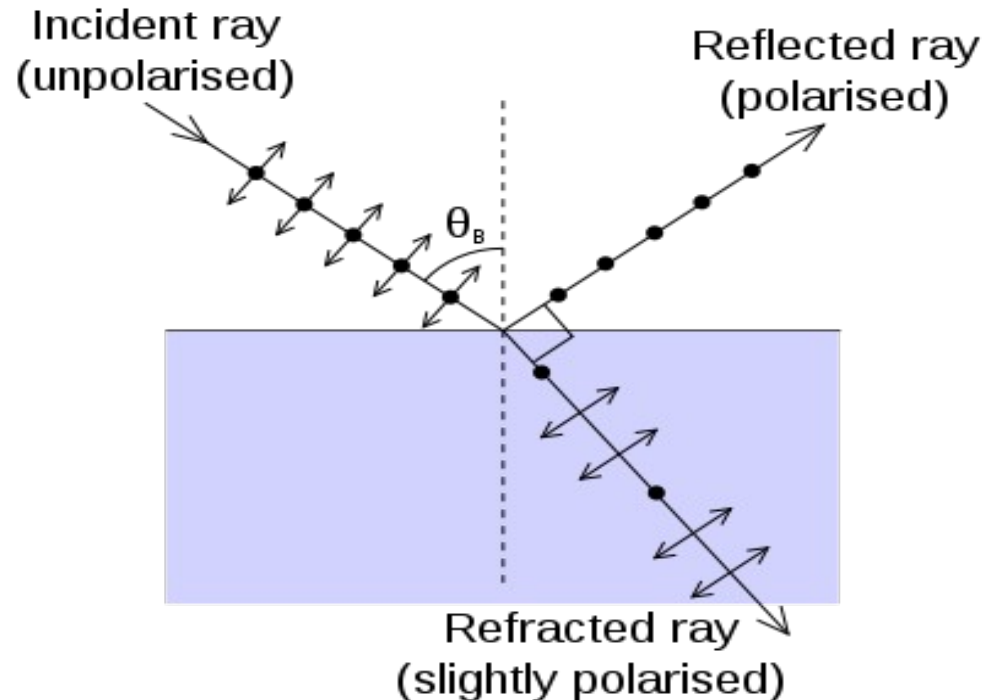
Сигналите към провайдера (**Upstream**) се мултиплексират с помощта на протокол за **множествен достъп**, какъвто е time division multiple access (**TDMA**).

# 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,  $\theta_B$** .

# Мультиплексиране

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;
- ➔ Широколентов режим (**broadband**) – наличната честотна лента се разделя на определен брой подканални, всеки с част от общата честотна лента. Прилага се **мультиплексиране и модулация**.

# Модулация

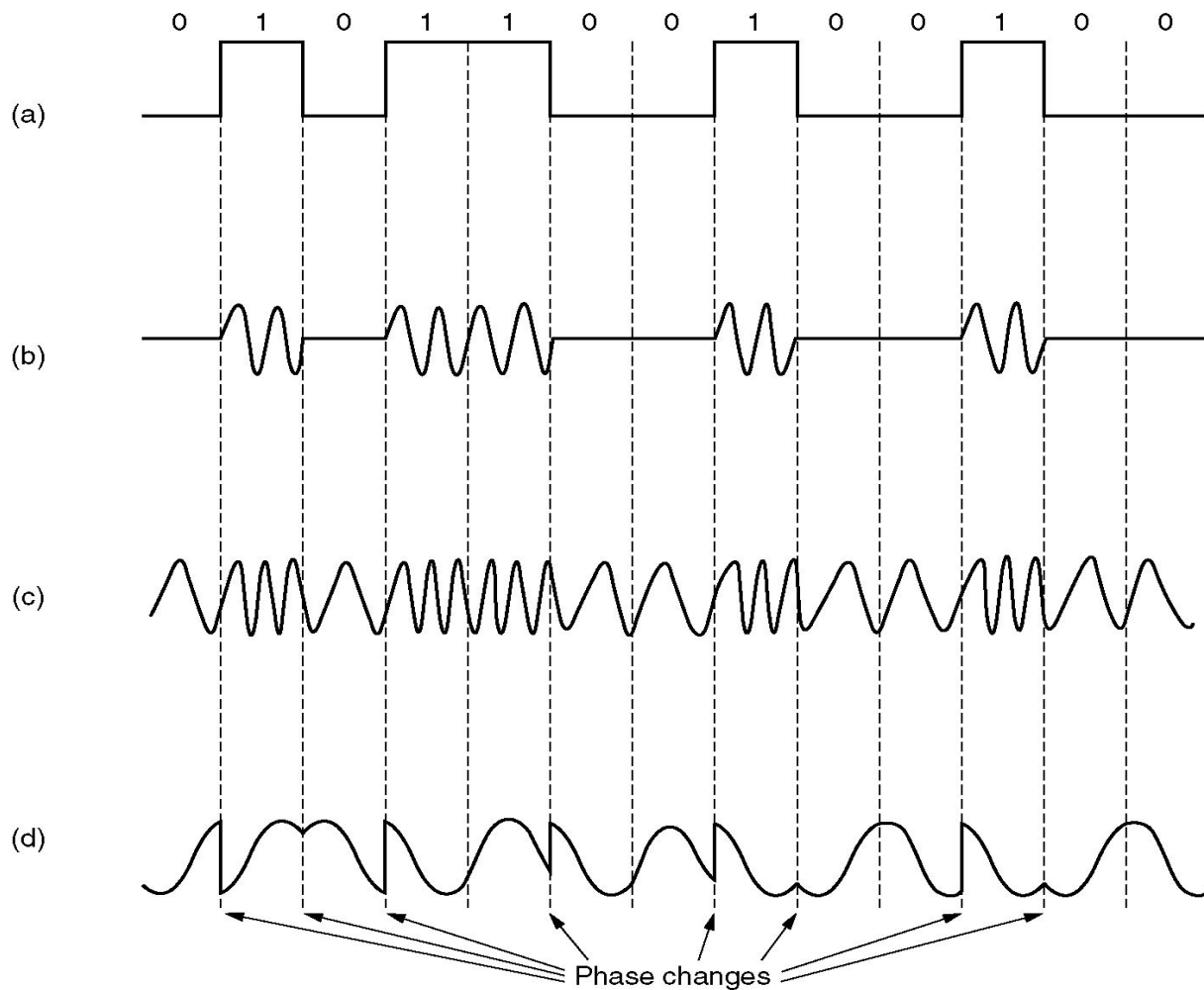
При тясна честотна лента (например при телефонните линии) цифровите сигнали не могат да се предават точно, поради което се използва **модулация**.

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.



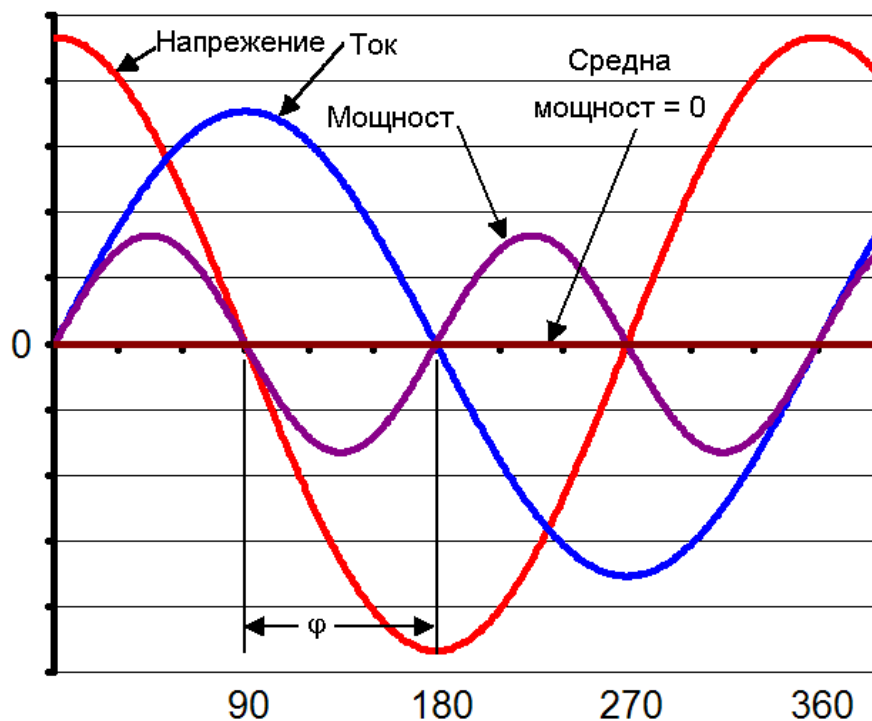
(a) двоичен сигнал

(b) амплитудна модулация

(c) честотна модулация

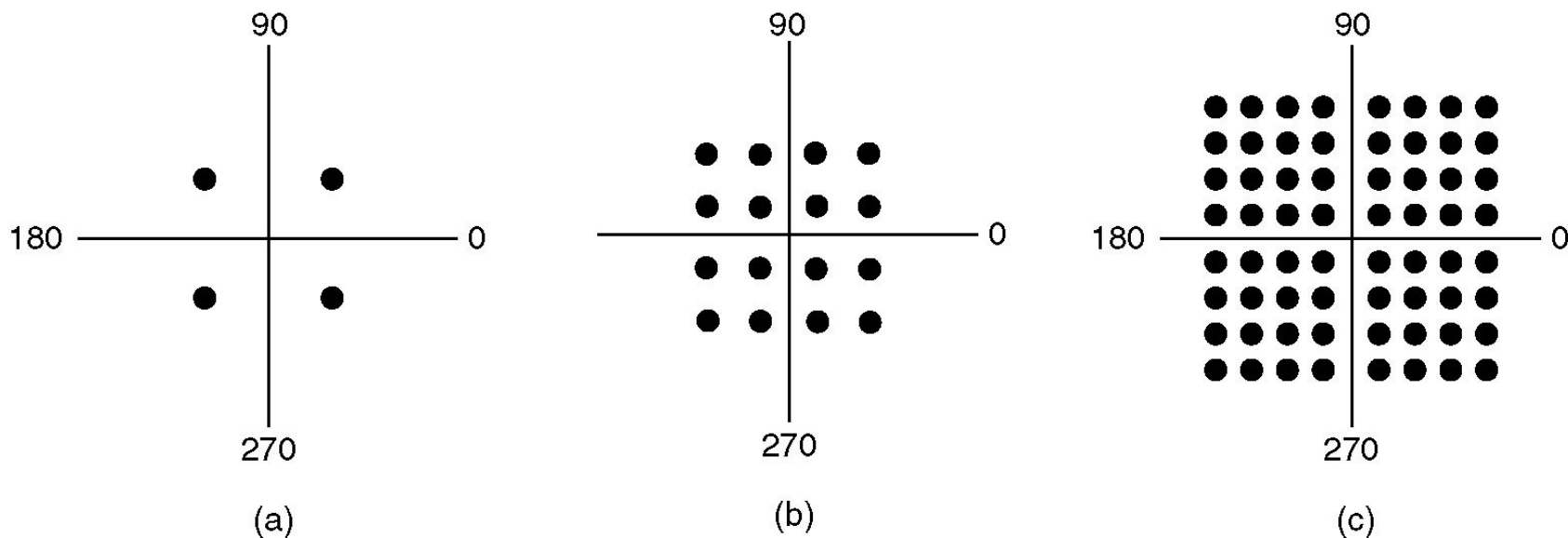
(d) фазова модулация

# Фаза (пример). Модем.



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

# По-сложни модуляции



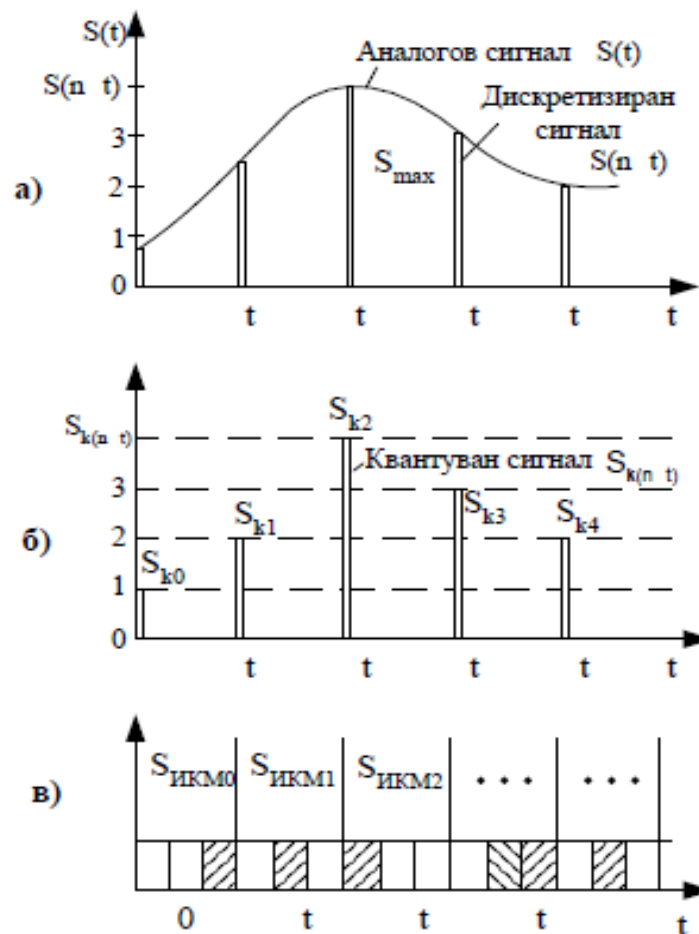
- (a) QPSK. **4** валидни комбинации, предават се **2 бита/символ**
- (b) QAM-16 (Quadrature Amplitude Modulation). **16** комбинации, **4 бита/символ**
- (c) QAM-64. **64** комбинации, **6 бита/символ**



# Импульсно-кодова модуляция (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.

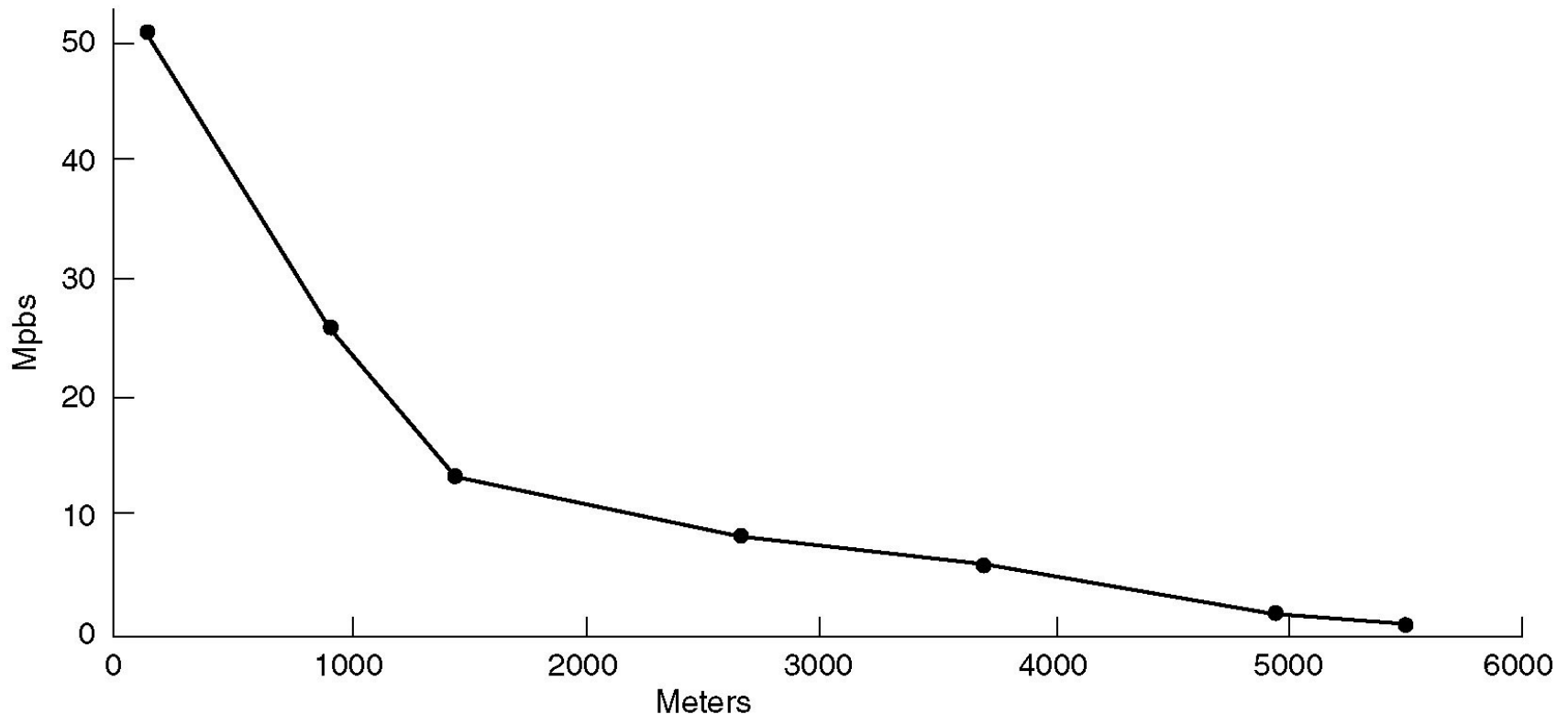
Аналоговите сигнали се цифровизират с помощта на кодек (**coder-decoder**).

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

Кодекът произвежда **8000** отчета (samples) в секунда (**125  $\mu$ sec/sample**).

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

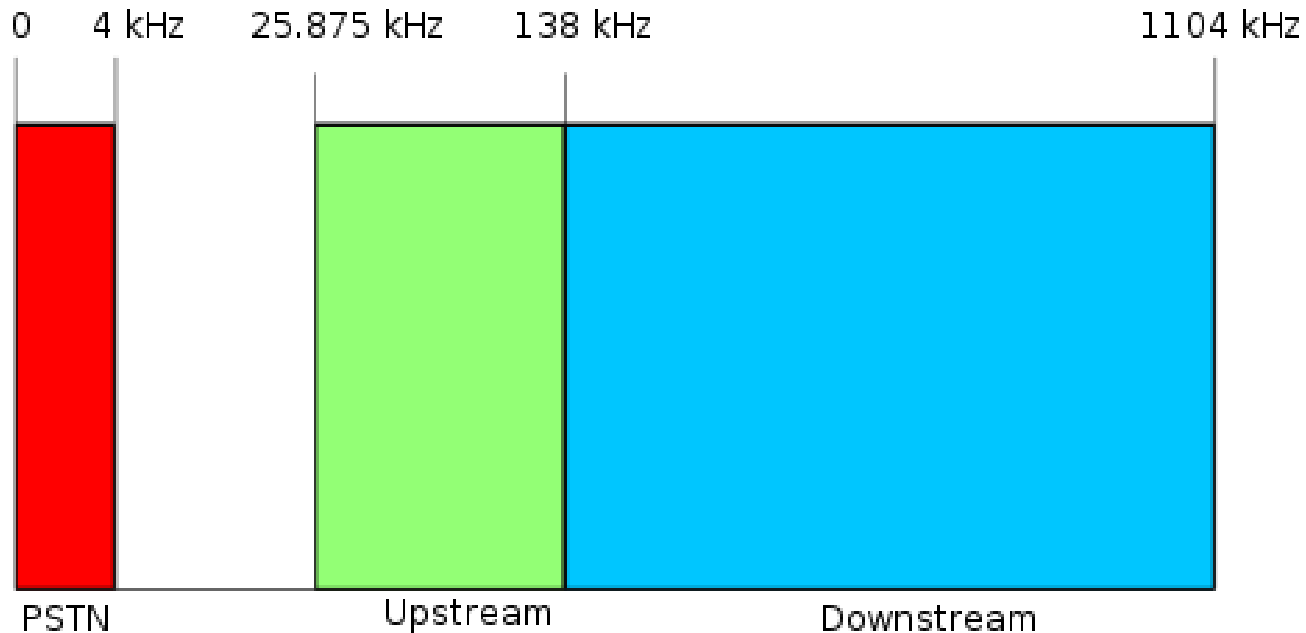
# Digital Subscriber Lines



Bandwidth vs. разстояние по category 3 UTP за DSL.

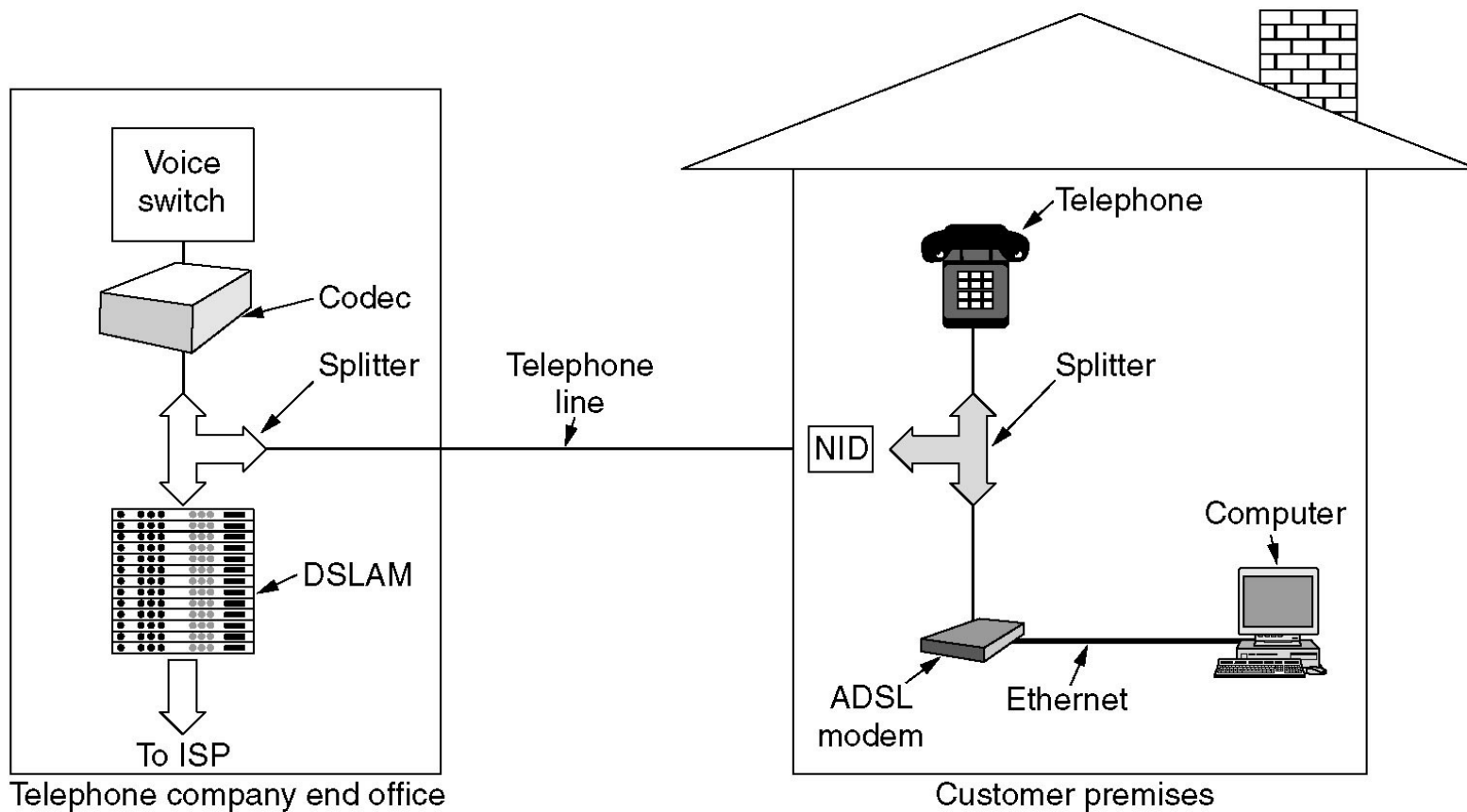
**xDSL** услугите: Да работят върху съществуващи category 3 кабели в последната миля. Да не пречат на съществуващи телефони. Да са по-бързи от 56 kbps. Да са постоянно включени.

# Digital Subscriber Lines (2)



**ADSL** изпользвайки модуляция: discrete multitone modulation.

# Digital Subscriber Lines (3)

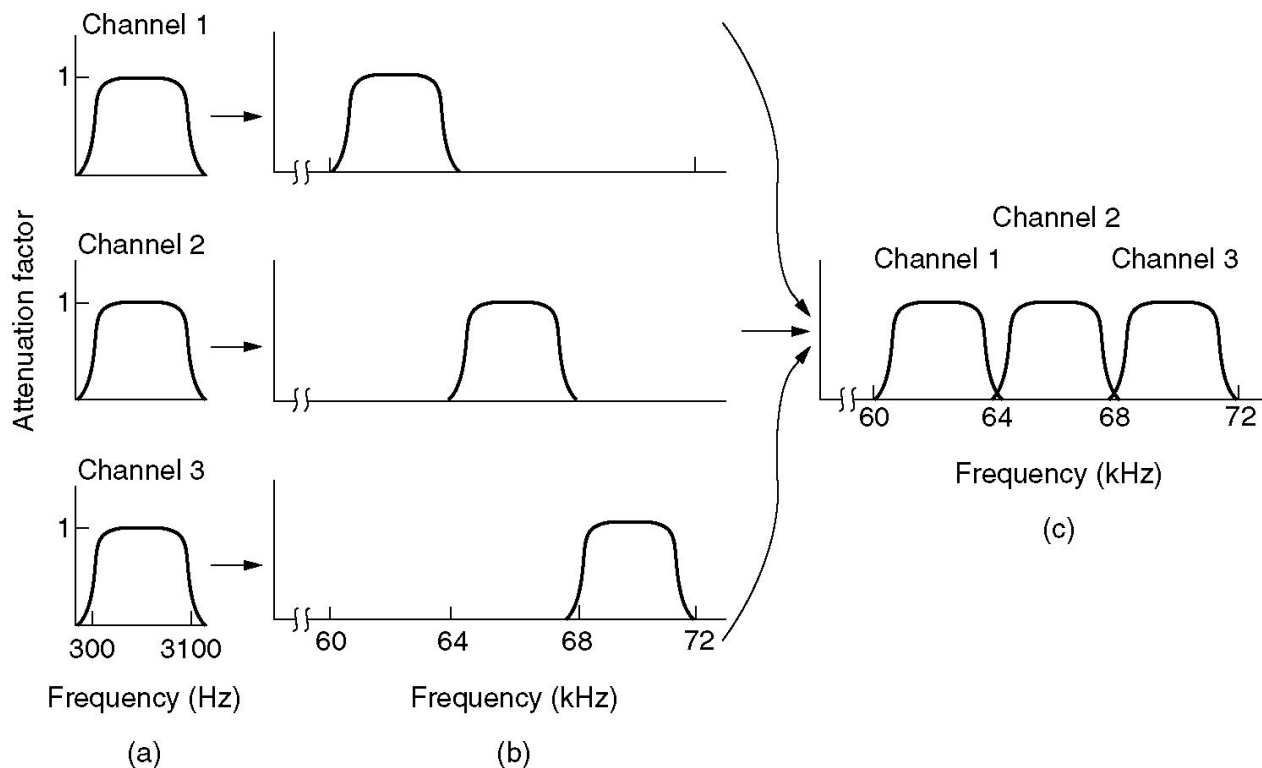


Типична ADSL конфигурация.

# 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

# Честотно мултиплексиране (Frequency Division Multiplexing - FDM)



- (a) Оригиналните телефонни канали ( $bw = 4000 \text{ Hz}$ ).
- (b) Каналите, отместени честотно.
- (b) Мултиплексираният канал.

# Wavelength Division Multiplexing (WDM)

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

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

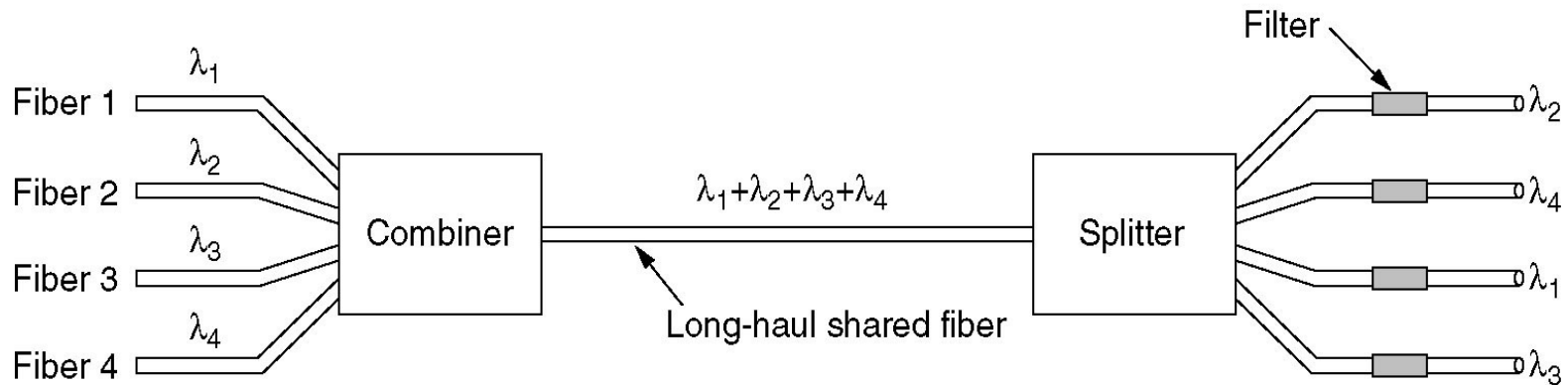
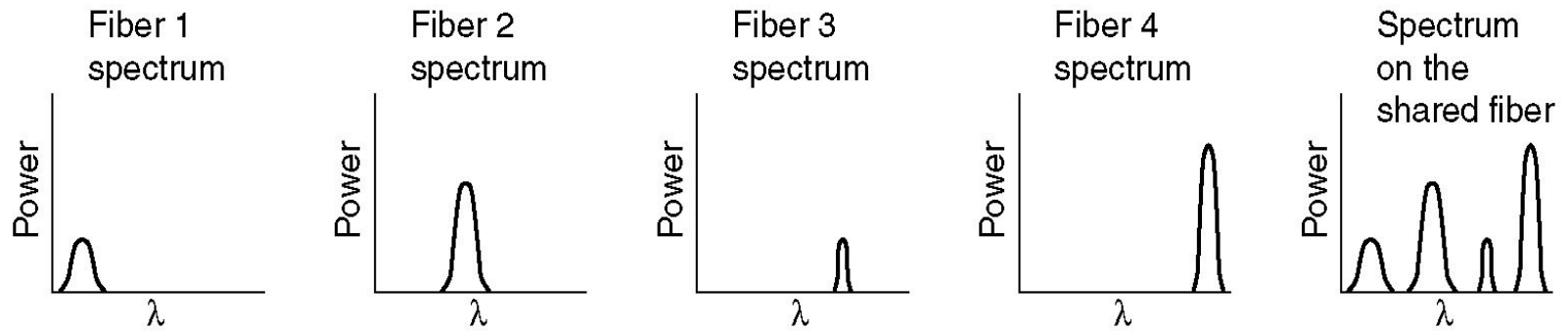
Четири лъча се обединяват в един лъч, който се пренася по общо ФО.

В точката на приемане става разцепване в обратна посока.

Разликата с другите методи е, че (де)мултиплексирането се извършва от пасивни устройства (решетката не се захранва с ел. ток).



# Wavelength Division Multiplexing



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

# Dense WDM

Dense wavelength division multiplexing (**DWDM**):

мултиплексиране на оптически сигнали в **1550 nm** обхват, съобразени с качествата на мултиплексори за дължини на вълните между **1525-1565 nm** (C обхват) или **1570-1610 nm** (L обхват).

Цели да измести остарелите SONET/SDH оптически-електрически-оптически (OEO) регенератори.

Тези мултиплексори имат много добри качества на усилване.

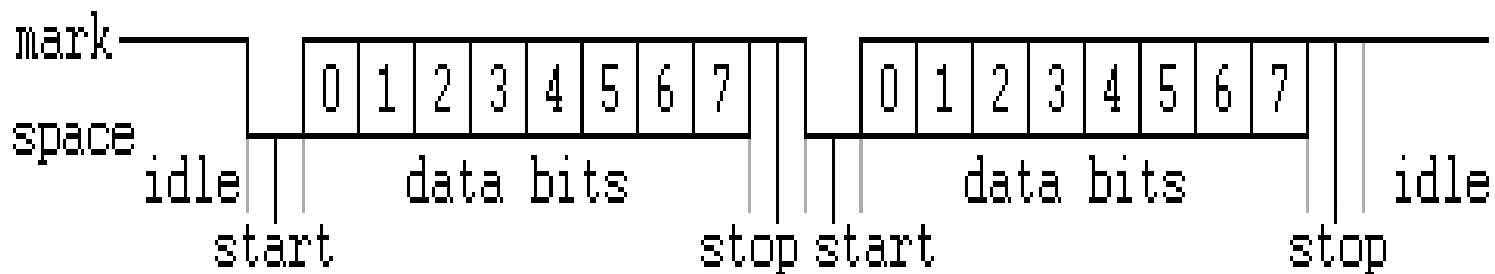
Скоростта на един оптически канал може да бъде повишавана само с помяна на крайно оборудване, без да се пипат мултиплексорите по средата.

# Time Division Multiplexing (TDM)

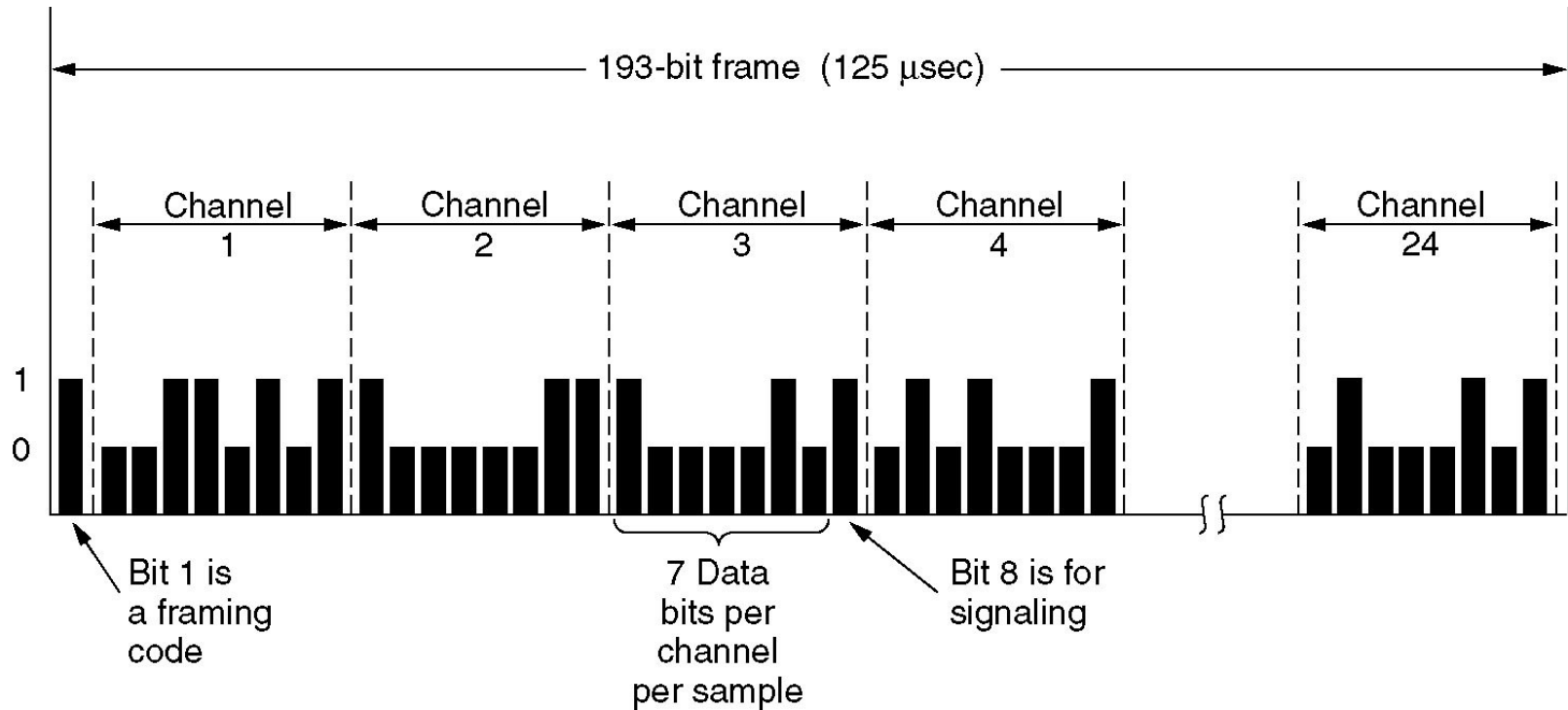
Мультиплексиране чрез времеразделяне (**TDM**). За всеки източник от информация се предвижда определен интервал от време (**time slot**), през който той разполага с канала.

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.



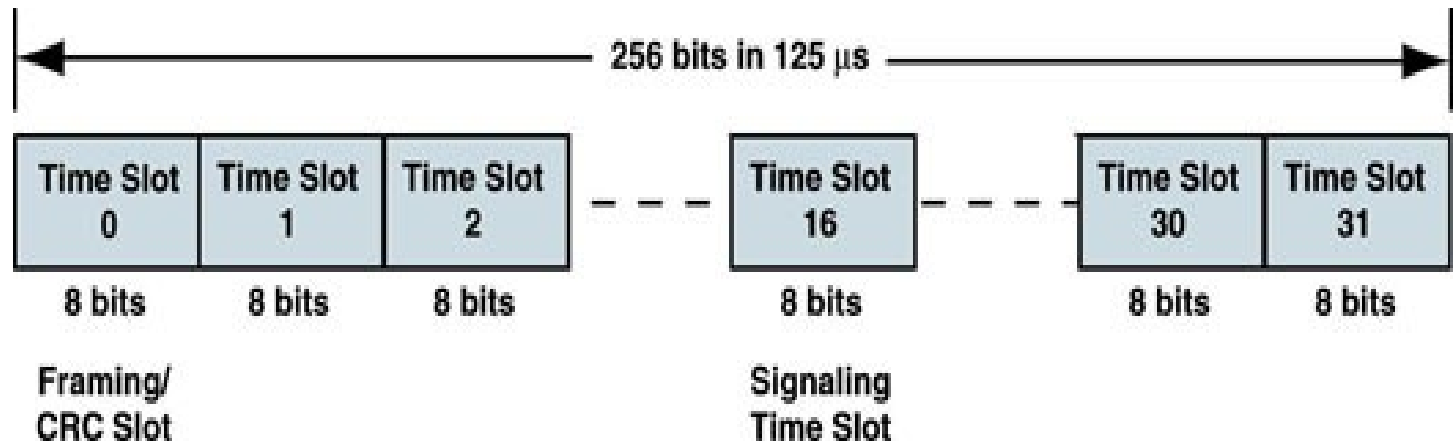
# TDM. (T1 - 1.544 Mbps)



Прилага се в Северна Америка, Япония, Корея.

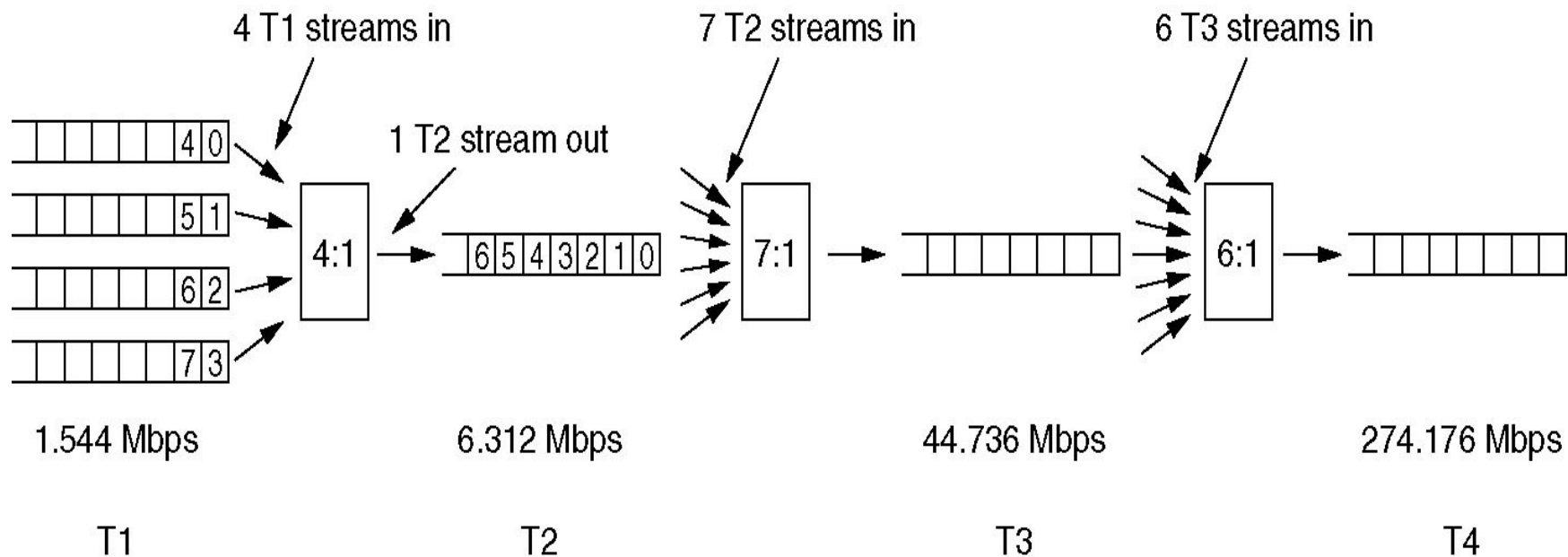
(7 x 8000 = 56,000 bps данни) + (1 x 8000 = 8000 bps) сигнална информация

# TDM в Европа. ( E1 - 2.048 Mbps)



E0	64 kbit/s
E1	2.048 Mbit/s
E2	8.448 Mbit/s
E3	34.368 Mbit/s
E4	139.264 Mbit/s
E5	564.992 Mbit/s

# TDM. Мультиплексиране на T1 ПОТОЦИ.



# SONET/SDH

През 1985 г. в резултат от усилията за стандартизация на оптическите 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 оптическите 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  $\lambda$  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  $\lambda$ :

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

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.

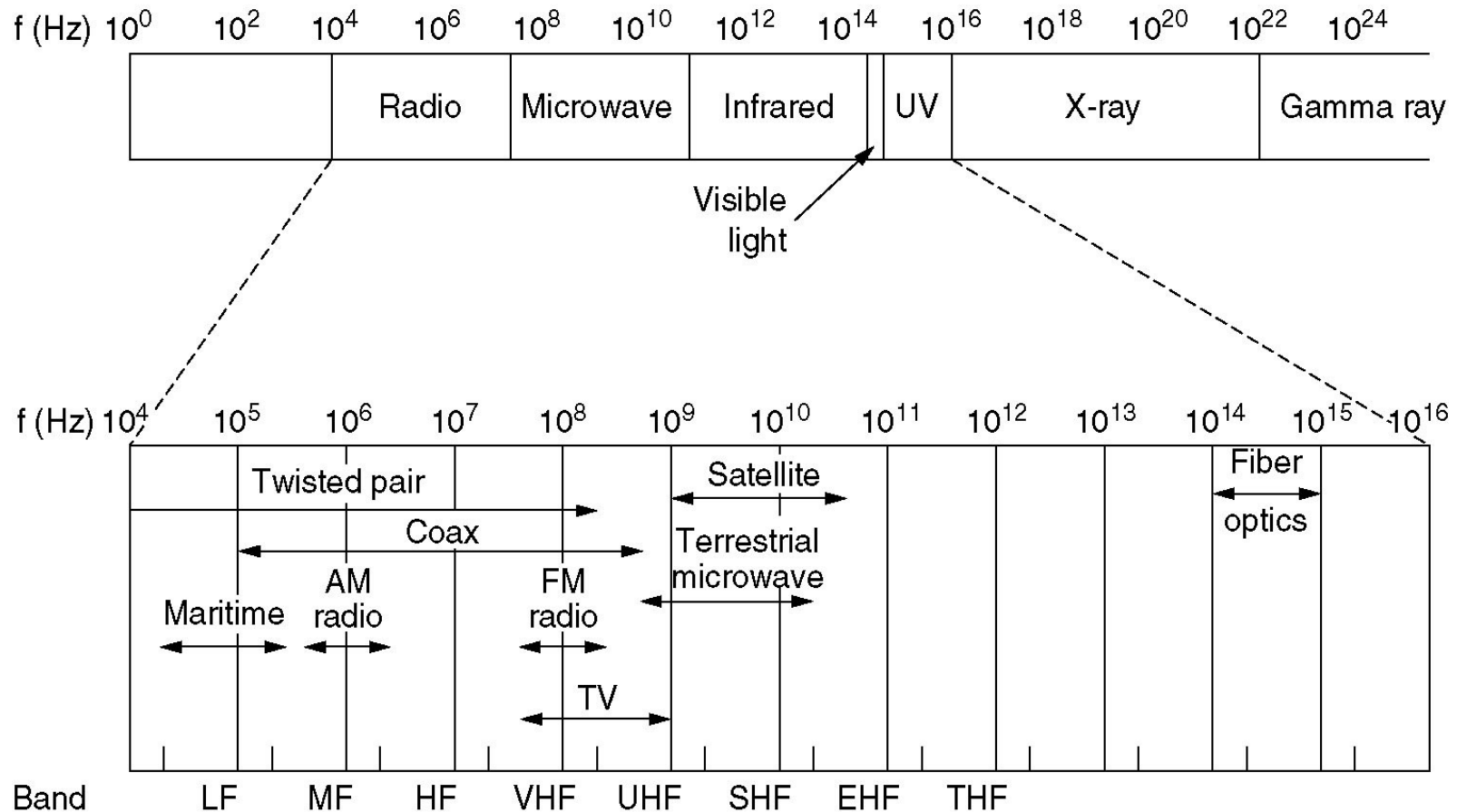
Например, **1.30  $\mu\text{m}$  FO** обхват:

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

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, TV, мобилни телефони, полиция, военни и т.н. В глобален мащаб **ITU-R** координира.

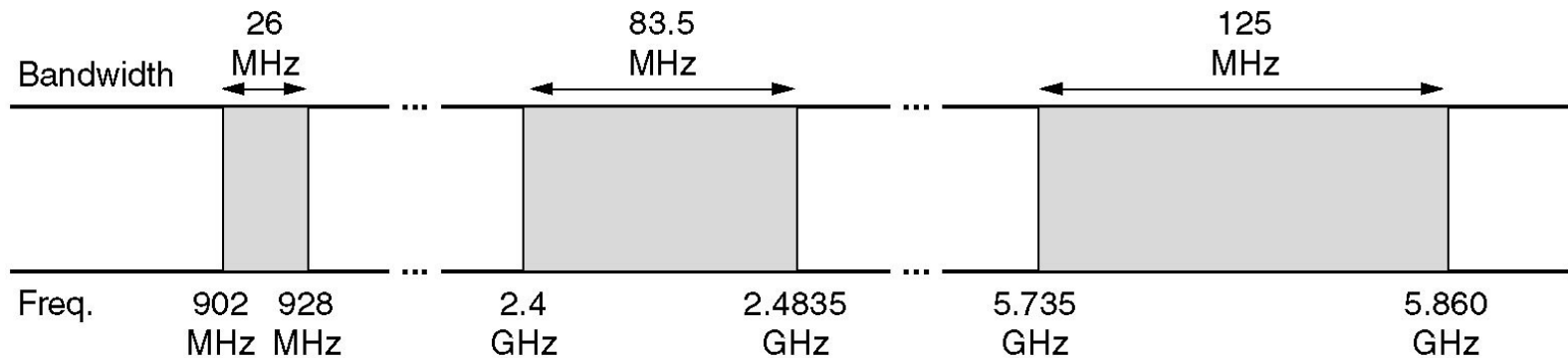
Всяка страна си има такава организация:

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

[V](#) [IEEE 802.11-2008](#) [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) [6](#) [7](#) [8](#) [9](#) [10](#) [11](#) [12](#) [13](#) [14](#) [15](#) [16](#) [17](#) [18](#) [19](#) [20](#) [21](#) [22](#) [23](#) [24](#) [25](#) [26](#) [27](#) [28](#) [29](#) [30](#) [31](#) [32](#) [33](#) [34](#) [35](#) [36](#) [37](#) [38](#) [39](#) [40](#) [41](#) [42](#) [43](#) [44](#) [45](#) [46](#) [47](#) [48](#) [49](#) [50](#) [51](#) [52](#) [53](#) [54](#) [55](#) [56](#) [57](#) [58](#) [59](#) [60](#) [61](#) [62](#) [63](#) [64](#) [65](#) [66](#) [67](#) [68](#) [69](#) [70](#) [71](#) [72](#) [73](#) [74](#) [75](#) [76](#) [77](#) [78](#) [79](#) [80](#) [81](#) [82](#) [83](#) [84](#) [85](#) [86](#) [87](#) [88](#) [89](#) [90](#) [91](#) [92](#) [93](#) [94](#) [95](#) [96](#) [97](#) [98](#) [99](#) [100](#) [101](#) [102](#) [103](#) [104](#) [105](#) [106](#) [107](#) [108](#) [109](#) [110](#) [111](#) [112](#) [113](#) [114](#) [115](#) [116](#) [117](#) [118](#) [119](#) [120](#) [121](#) [122](#) [123](#) [124](#) [125](#) [126](#) [127](#) [128](#) [129](#) [130](#) [131](#) [132](#) [133](#) [134](#) [135](#) [136](#) [137](#) [138](#) [139](#) [140](#) [141](#) [142](#) [143](#) [144](#) [145](#) [146](#) [147](#) [148](#) [149](#) [150](#) [151](#) [152](#) [153](#) [154](#) [155](#) [156](#) [157](#) [158](#) [159](#) [160](#) [161](#) [162](#) [163](#) [164](#) [165](#) [166](#) [167](#) [168](#) [169](#) [170](#) [171](#) [172](#) [173](#) [174](#) [175](#) [176](#) [177](#) [178](#) [179](#) [180](#) [181](#) [182](#) [183](#) [184](#) [185](#) [186](#) [187](#) [188](#) [189](#) [190](#) [191](#) [192](#) [193](#) [194](#) [195](#) [196](#) [197](#) [198](#) [199](#) [200](#) [201](#) [202](#) [203](#) [204](#) [205](#) [206](#) [207](#) [208](#) [209](#) [210](#) [211](#) [212](#) [213](#) [214](#) [215](#) [216](#) [217](#) [218](#) [219](#) [220](#) [221](#) [222](#) [223](#) [224](#) [225](#) [226](#) [227](#) [228](#) [229](#) [230](#) [231](#) [232](#) [233](#) [234](#) [235](#) [236](#) [237](#) [238](#) [239](#) [240](#) [241](#) [242](#) [243](#) [244](#) [245](#) [246](#) [247](#) [248](#) [249](#) [250](#) [251](#) [252](#) [253](#) [254](#) [255](#) [256](#) [257](#) [258](#) [259](#) [260](#) [261](#) [262](#) [263](#) [264](#) [265](#) [266](#) [267](#) [268](#) [269](#) [270](#) [271](#) [272](#) [273](#) [274](#) [275](#) [276](#) [277](#) [278](#) [279](#) [280](#) [281](#) [282](#) [283](#) [284](#) [285](#) [286](#) [287](#) [288](#) [289](#) [290](#) [291](#) [292](#) [293](#) [294](#) [295](#) [296](#) [297](#) [298](#) [299](#) [300](#) [301](#) [302](#) [303](#) [304](#) [305](#) [306](#) [307](#) [308](#) [309](#) [310](#) [311](#) [312](#) [313](#) [314](#) [315](#) [316](#) [317](#) [318](#) [319](#) [320](#) [321](#) [322](#) [323](#) [324](#) [325](#) [326](#) [327](#) [328](#) [329](#) [330](#) [331](#) [332](#) [333](#) [334](#) [335](#) [336](#) [337](#) [338](#) [339](#) [340](#) [341](#) [342](#) [343](#) [344](#) [345](#) [346](#) [347](#) [348](#) [349](#) [350](#) [351](#) [352](#) [353](#) [354](#) [355](#) [356](#) [357](#) [358](#) [359](#) [360](#) [361](#) [362](#) [363](#) [364](#) [365](#) [366](#) [367](#) [368](#) [369](#) [370](#) [371](#) [372](#) [373](#) [374](#) [375](#) [376](#) [377](#) [378](#) [379](#) [380](#) [381](#) [382](#) [383](#) [384](#) [385](#) [386](#) [387](#) [388](#) [389](#) [390](#) [391](#) [392](#) [393](#) [394](#) [395](#) [396](#) [397](#) [398](#) [399](#) [400](#) [401](#) [402](#) [403](#) [404](#) [405](#) [406](#) [407](#) [408](#) [409](#) [410](#) [411](#) [412](#) [413](#) [414](#) [415](#) [416](#) [417](#) [418](#) [419](#) [420](#) [421](#) [422](#) [423](#) [424](#) [425](#) [426](#) [427](#) [428](#) [429](#) [430](#) [431](#) [432](#) [433](#) [434](#) [435](#) [436](#) [437](#) [438](#) [439](#) [440](#) [441](#) [442](#) [443](#) [444](#) [445](#) [446](#) [447](#) [448](#) [449](#) [450](#) [451](#) [452](#) [453](#) [454](#) [455](#) [456](#) [457](#) [458](#) [459](#) [460](#) [461](#) [462](#) [463](#) [464](#) [465](#) [466](#) [467](#) [468](#) [469](#) [470](#) [471](#) [472](#) [473](#) [474](#) [475](#) [476](#) [477](#) [478](#) [479](#) [480](#) [481](#) [482](#) [483](#) [484](#) [485](#) [486](#) [487](#) [488](#) [489](#) [490](#) [491](#) [492](#) [493](#) [494](#) [495](#) [496](#) [497](#) [498](#) [499](#) [500](#) [501](#) [502](#) [503](#) [504](#) [505](#) [506](#) [507](#) [508](#) [509](#) [510](#) [511](#) [512](#) [513](#) [514](#) [515](#) [516](#) [517](#) [518](#) [519](#) [520](#) [521](#) [522](#) [523](#) [524](#) [525](#) [526](#) [527](#) [528](#) [529](#) [530](#) [531](#) [532](#) [533](#) [534](#) [535](#) [536](#) [537](#) [538](#) [539](#) [540](#) [541](#) [542](#) [543](#) [544](#) [545](#) [546](#) [547](#) [548](#) [549](#) [550](#) [551](#) [552](#) [553](#) [554](#) [555](#) [556](#) [557](#) [558](#) [559](#) [560](#) [561](#) [562](#) [563](#) [564](#) [565](#) [566](#) [567](#) [568](#) [569](#) [570](#) [571](#) [572](#) [573](#) [574](#) [575](#) [576](#) [577](#) [578](#) [579](#) [580](#) [581](#) [582](#) [583](#) [584](#) [585](#) [586](#) [587](#) [588](#) [589](#) [590](#) [591](#) [592](#) [593](#) [594](#) [595](#) [596](#) [597](#) [598](#) [599](#) [600](#) [601](#) [602](#) [603](#) [604](#) [605](#) [606](#) [607](#) [608](#) [609](#) [610](#) [611](#) [612](#) [613](#) [614](#) [615](#) [616](#) [617](#) [618](#) [619](#) [620](#) [621](#) [622](#) [623](#) [624](#) [625](#) [626](#) [627](#) [628](#) [629](#) [630](#) [631](#) [632](#) [633](#) [634](#) [635](#) [636](#) [637](#) [638](#) [639](#) [640](#) [641](#) [642](#) [643](#) [644](#) [645](#) [646](#) [647](#) [648](#) [649](#) [650](#) [651](#) [652](#) [653](#) [654](#) [655](#) [656](#) [657](#) [658](#) [659](#) [660](#) [661](#) [662](#) [663](#) [664](#) [665](#) [666](#) [667](#) [668](#) [669](#) [670](#) [671](#) [672](#) [673](#) [674](#) [675](#) [676](#) [677](#) [678](#) [679](#) [680](#) [681](#) [682](#) [683](#) [684](#) [685](#) [686](#) [687](#) [688](#) [689](#) [690](#) [691](#) [692](#) [693](#) [694](#) [695](#) [696](#) [697](#) [698](#) [699](#) [700](#) [701](#) [702](#) [703](#) [704](#) [705](#) [706](#) [707](#) [708](#) [709](#) [710](#) [711](#) [712](#) [713](#) [714](#) [715](#) [716](#) [717](#) [718](#) [719](#) [720](#) [721](#) [722](#) [723](#) [724](#) [725](#) [726](#) [727](#) [728](#) [729](#) [730](#) [731](#) [732](#) [733](#) [734](#) [735](#) [736](#) [737](#) [738](#) [739](#) [740](#) [741](#) [742](#) [743](#) [744](#) [745](#) [746](#) [747](#) [748](#) [749](#) [750](#) [751](#) [752](#) [753](#) [754](#) [755](#) [756](#) [757](#) [758](#) [759](#) [760](#) [761](#) [762](#) [763](#) [764](#) [765](#) [766](#) [767](#) [768](#) [769](#) [770](#) [771](#) [772](#) [773](#) [774](#) [775](#) [776](#) [777](#) [778](#) [779](#) [780](#) [781](#) [782](#) [783](#) [784](#) [785](#) [786](#) [787](#) [788](#) [789](#) [790](#) [791](#) [792](#) [793](#) [794](#) [795](#) [796](#) [797](#) [798](#) [799](#) [800](#) [801](#) [802](#) [803](#) [804](#) [805](#) [806](#) [807](#) [808](#) [809](#) [810](#) [811](#) [812](#) [813](#) [814](#) [815](#) [816](#) [817](#) [818](#) [819](#) [820](#) [821](#) [822](#) [823](#) [824](#) [825](#) [826](#) [827](#) [828](#) [829](#) [830](#) [831](#) [832](#) [833](#) [834](#) [835](#) [836](#) [837](#) [838](#) [839](#) [840](#) [841](#) [842](#) [843](#) [844](#) [845](#) [846](#) [847](#) [848](#) [849](#) [850](#) [851](#) [852](#) [853](#) [854](#) [855](#) [856](#) [857](#) [858](#) [859](#) [860](#) [861](#) [862](#) [863](#) [864](#) [865](#) [866](#) [867](#) [868](#) [869](#) [870](#) [871](#) [872](#) [873](#) [874](#) [875](#) [876](#) [877](#) [878](#) [879](#) [880](#) [881](#) [882](#) [883](#) [884](#) [885](#) [886](#) [887](#) [888](#) [889](#) [890](#) [891](#) [892](#) [893](#) [894](#) [895](#) [896](#) [897](#) [898](#) [899](#) [900](#) [901](#) [902](#) [903](#) [904](#) [905](#) [906](#) [907](#) [908](#) [909](#) [910](#) [911](#) [912](#) [913](#) [914](#) [915](#) [916](#) [917](#) [918](#) [919](#) [920](#) [921](#) [922](#) [923](#) [924](#) [925](#) [926](#) [927](#) [928](#) [929](#) [930](#) [931](#) [932](#) [933](#) [934](#) [935](#) [936](#) [937](#) [938](#) [939](#) [940](#) [941](#) [942](#) [943](#) [944](#) [945](#) [946](#) [947](#) [948](#) [949](#) [950](#) [951](#) [952](#) [953](#) [954](#) [955](#) [956](#) [957](#) [958](#) [959](#) [960](#) [961](#) [962](#) [963](#) [964](#) [965](#) [966](#) [967](#) [968](#) [969](#) [970](#) [971](#) [972](#) [973](#) [974](#) [975](#) [976](#) [977](#) [978](#) [979](#) [980](#) [981](#) [982](#) [983](#) [984](#) [985](#) [986](#) [987](#) [988](#) [989](#) [990](#) [991](#) [992](#) [993](#) [994](#) [995](#) [996](#) [997](#) [998](#) [999](#) [1000](#) [1001](#) [1002](#) [1003](#) [1004](#) [1005](#) [1006](#) [1007](#) [1008](#) [1009](#) [1010](#) [1011](#) [1012](#) [1013](#) [1014](#) [1015](#) [1016](#) [1017](#) [1018](#) [1019](#) [1020](#) [1021](#) [1022](#) [1023](#) [1024](#) [1025](#) [1026](#) [1027](#) [1028](#) [1029](#) [1030](#) [1031](#) [1032](#) [1033](#) [1034](#) [1035](#) [1036](#) [1037](#) [1038](#) [1039](#) [1040](#) [1041](#) [1042](#) [1043](#) [1044](#) [1045](#) [1046](#) [1047](#) [1048](#) [1049](#) [1050](#) [1051](#) [1052](#) [1053](#) [1054](#) [1055](#) [1056](#) [1057](#) [1058](#) [1059](#) [1060](#) [1061](#) [1062](#) [1063](#) [1064](#) [1065](#) [1066](#) [1067](#) [1068](#) [1069](#) [1070](#) [1071](#) [1072](#) [1073](#) [1074](#) [1075](#) [1076](#) [1077](#) [1078](#) [1079](#) [1080](#) [1081](#) [1082](#) [1083](#) [1084](#) [1085](#) [1086](#) [1087](#) [1088](#) [1089](#)

# Gigabit Wi-Fi: 802.11ac и 802.11ad

**IEEE 802.11ac** в момента се разработва.

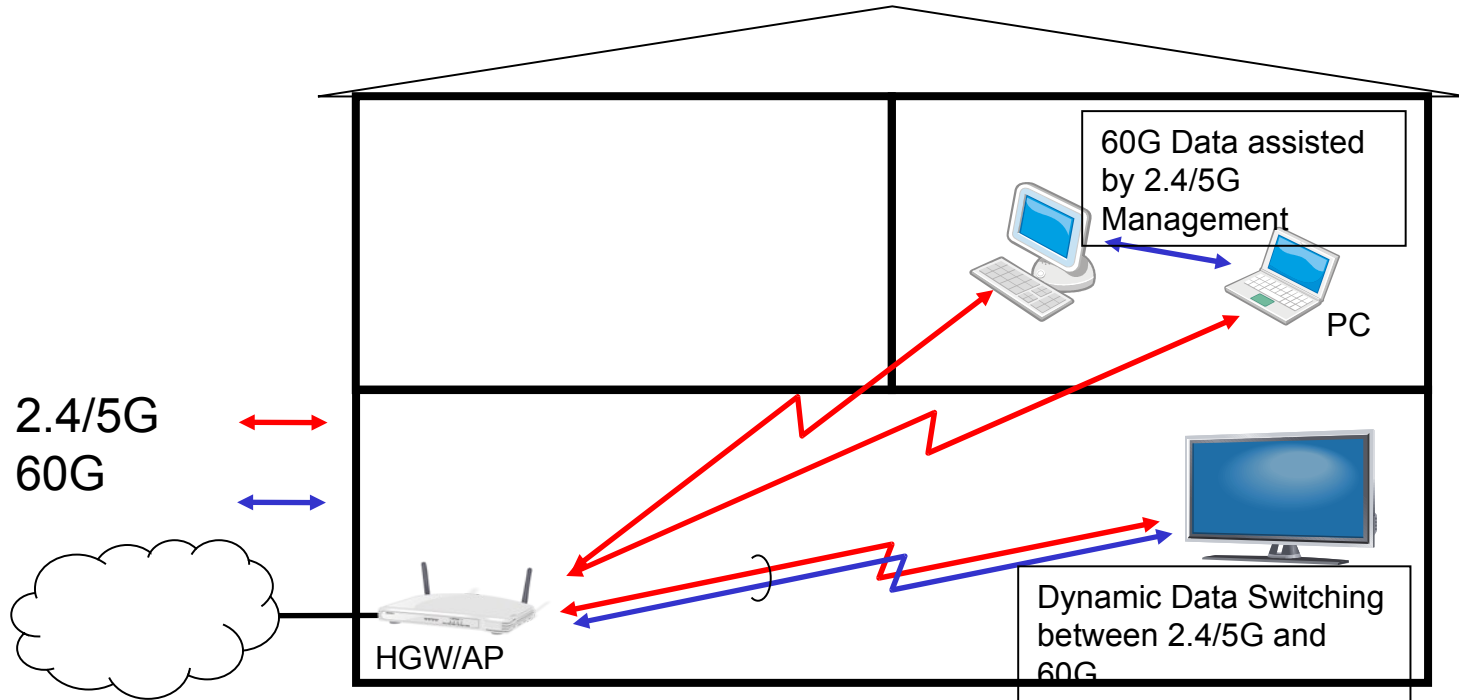
Предвиден е за **6 GHz** обхват. Теоретично ще поддържа **до 1 Gbps**.

**Разширява** възможностите на безжичния интерфейс, заложен в **802.11n**:

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

802.11ac устройствата ще се продават масово **към 2015 г.**

# 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.

Цифрова 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.

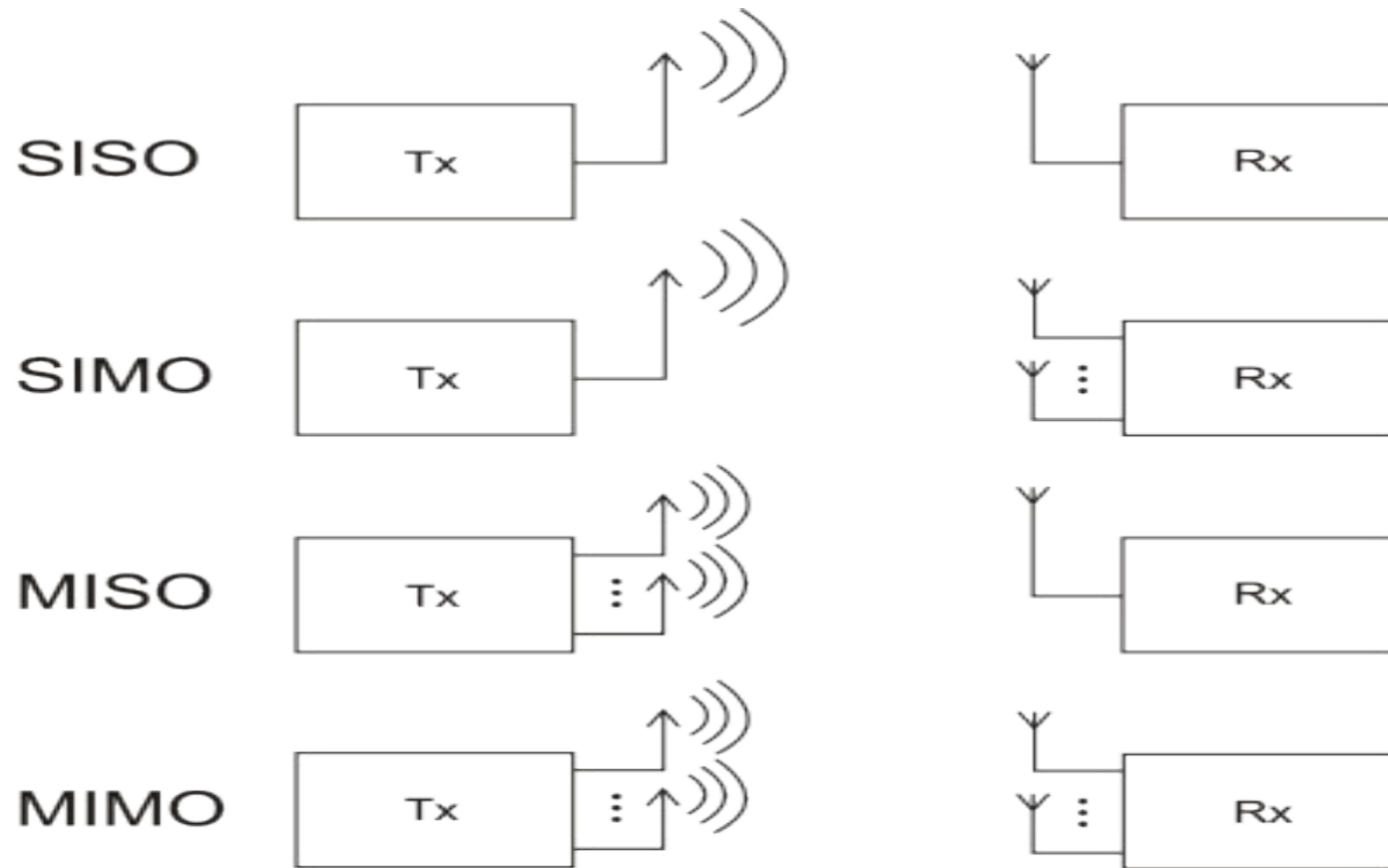
Приемникът възстановява данните в оригиналния им вид.

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).

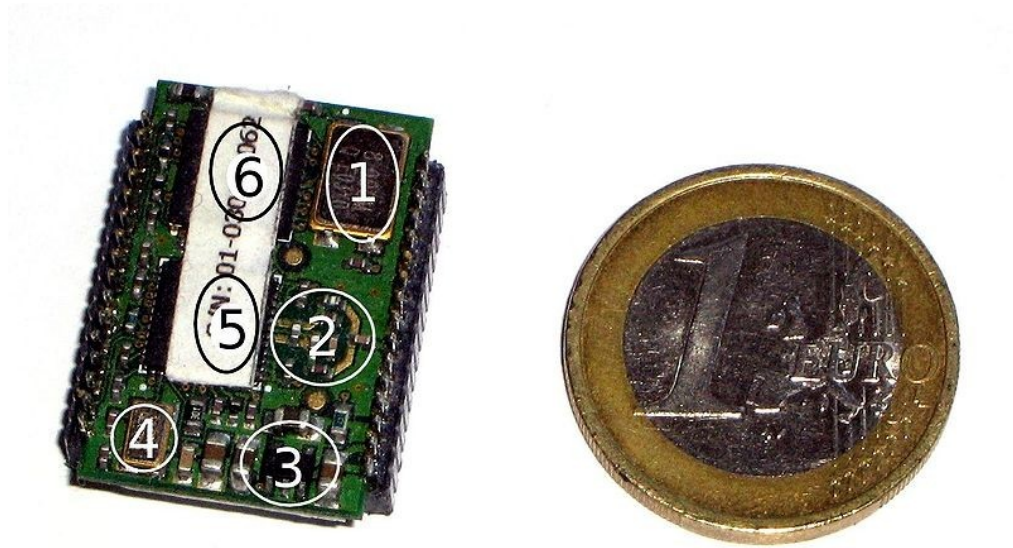
# IEEE 802.15. Bluetooth, и др.

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.

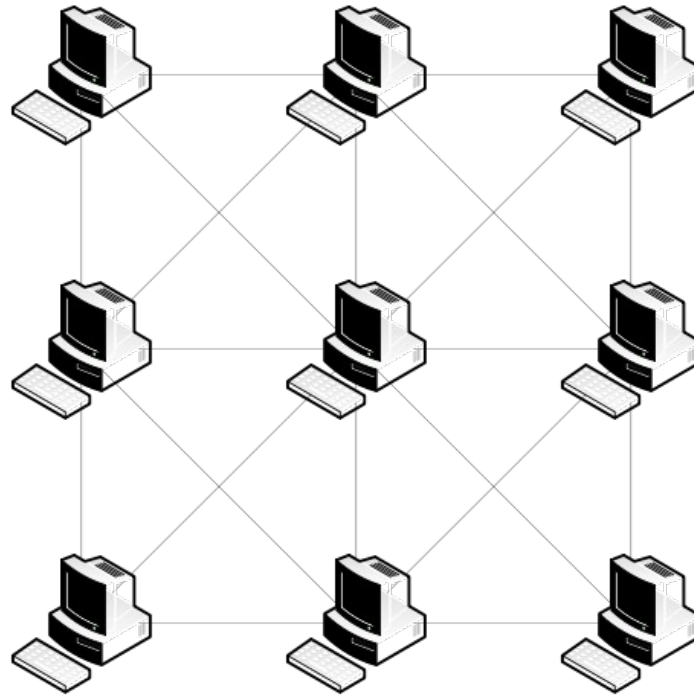
# 6LoWPAN

**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**.  $\approx 100 \text{ Mbit/s}$  за мобилен достъп и  $\approx 1 \text{ Gbit/s}$  за по-стационарен.

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

# WiMAX vs. LTE

С амбицията да изпълнят критериите на **IMT-Advanced** (1 Gbit/s за стационарно и 100 Mbit/s мобилно приемане):

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

**Verizon Wireless**: 38 града, вкл. LA, Chicago и San Francisco, ще имат **LTE** мрежа до края на 2010 г.

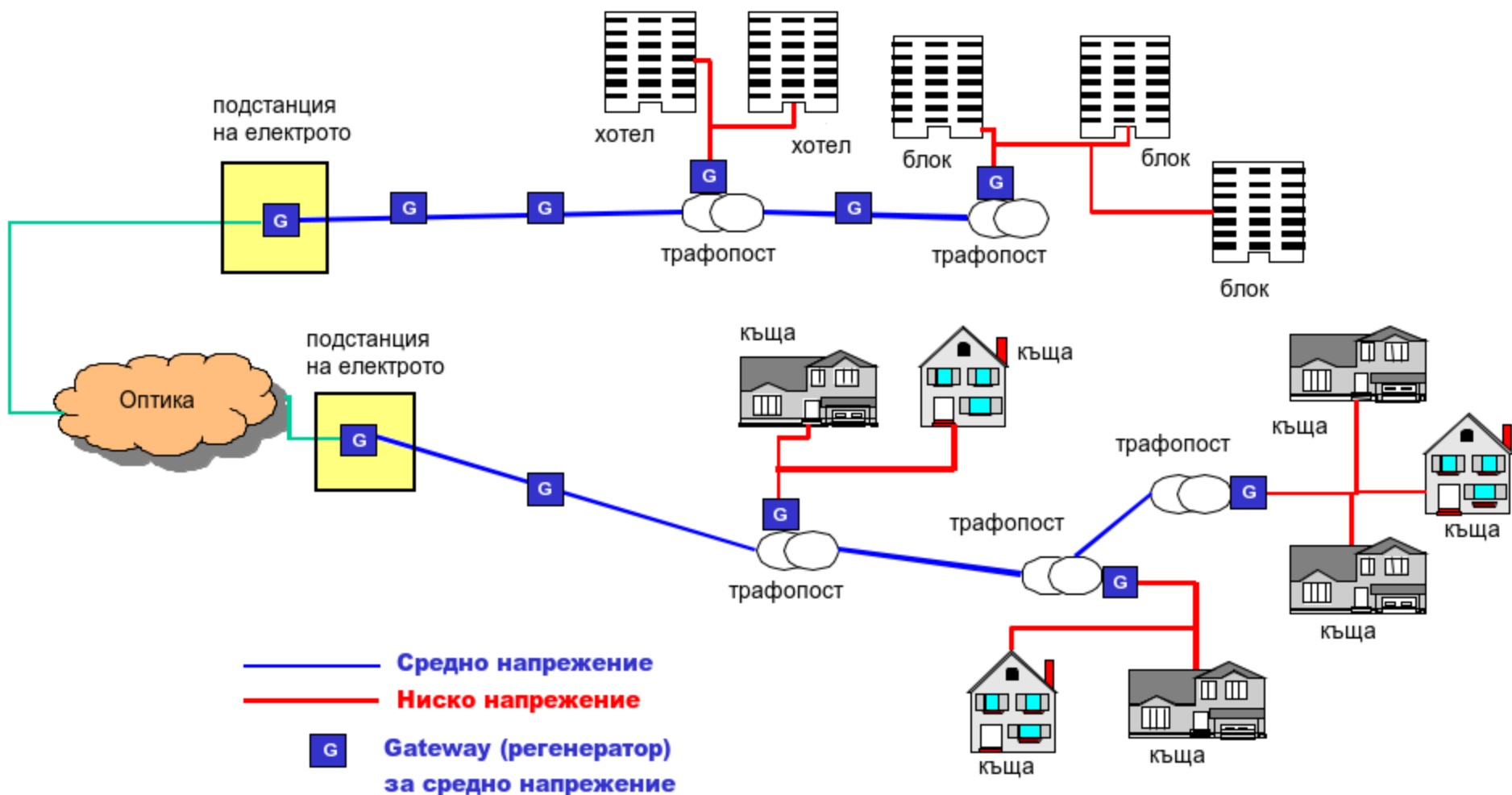


# Power Line Communications

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 трафопостовите.

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);

Бъдещ стандарт IEEE 1901.

