

4. Физическо ниво

Теоретически основи и среди
за предаване

Какво ще научим

Аналогов и цифров сигнал

В компютрите и мрежите работим с дискретни (т.е цифрови) стойности – “0” и “1”. Как ги представяме по комуникационните линии. Тук има много математика – непрекъснати и дискретни функции, ред на Фурие и др.

Малко за цифровизацията.

Среди за пренос на данни:

- жични (медни и влакнесто-оптически)
- безжични (по въздуха и електрозахранващата мрежа)

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 интеграли:

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

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

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

Фурие и комуникациите

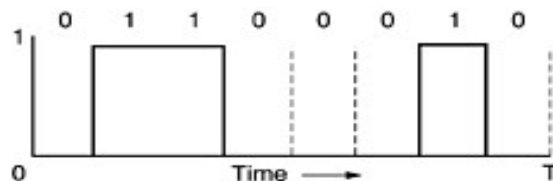
Да разгледаме примера:

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

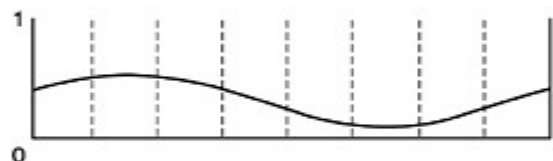
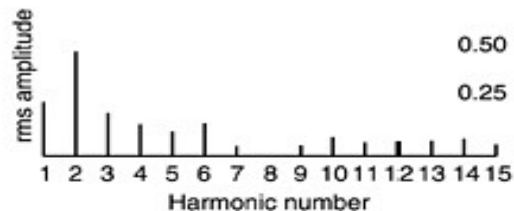
Илюстрация на Фуриеров синтез на периодична функция:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fourier_synthesis_square_wave_animated.gif

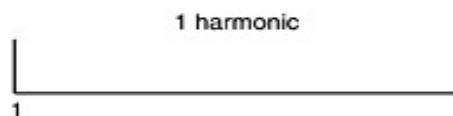
Буква b в ASCII код



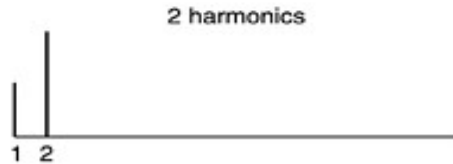
(a)



(b)

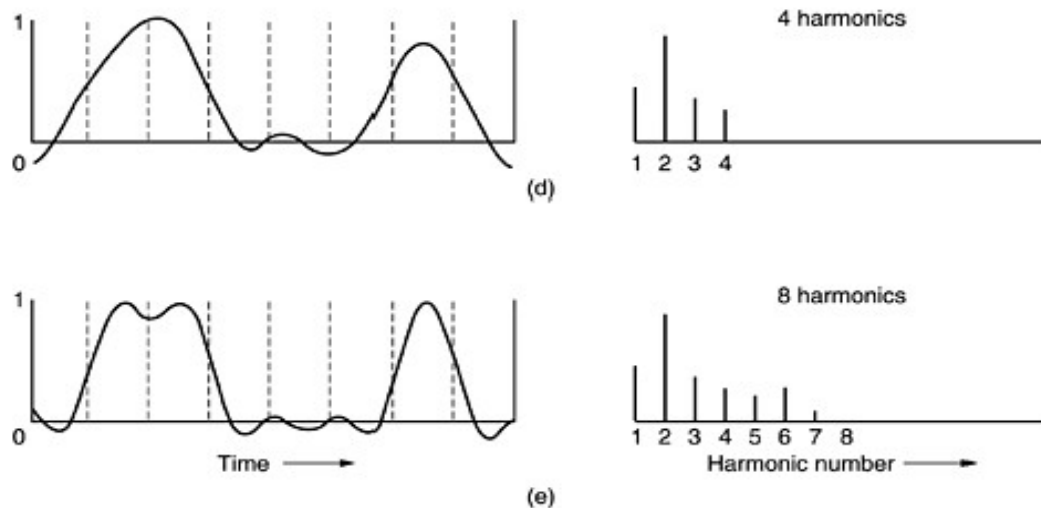


(c)



(b) апроксимация с първа хармонична сигнал \neq оригинал

Буква b в ASCII код



(с) – (е) апроксимация с по-голям брой честоти: сигнал \cong оригинал

Фурие 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.

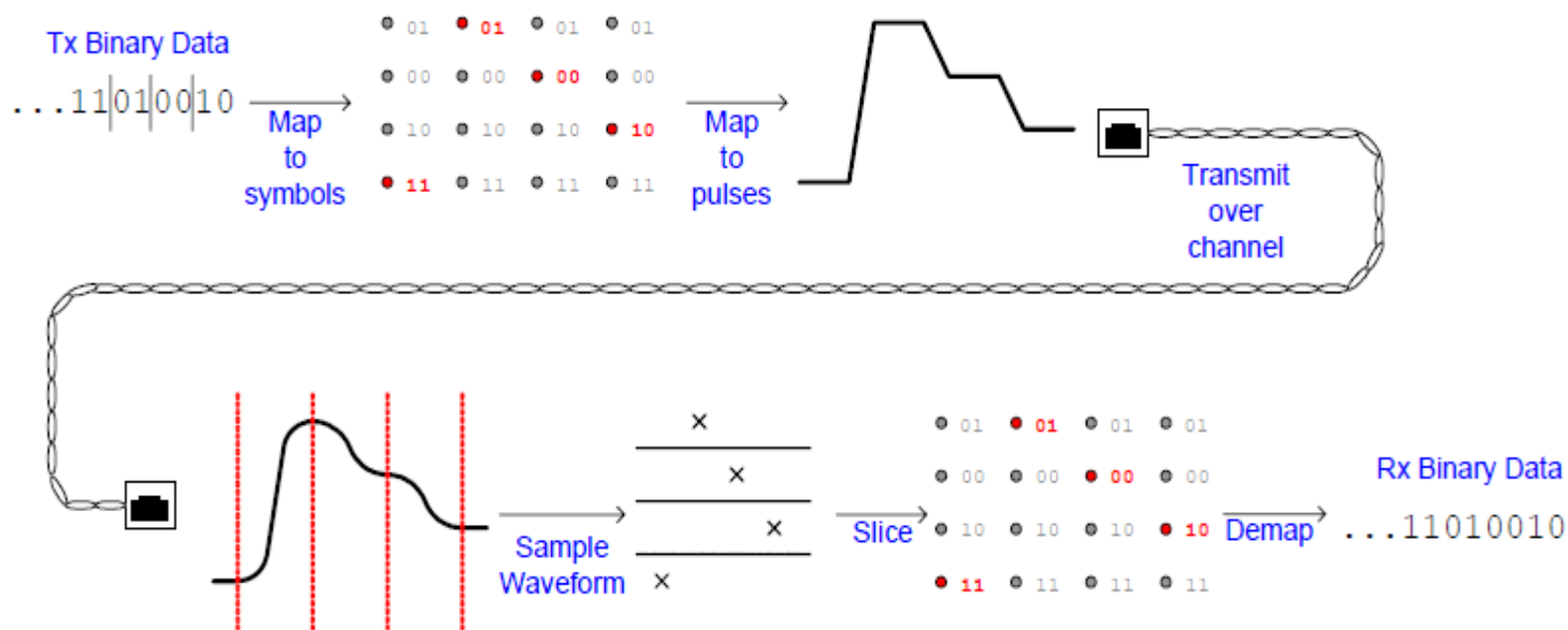
Амплитдите се предават без намаление при честоти от 0 до f_c [cycles/sec или Hertz (Hz)], над която сигналът отслабва.

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

bandwidth зависи от конструкция, дебелина и дължина на средата.

От слайд 16 и 17: 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, $B = 3100 \text{ Hz}$ (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**:

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

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

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

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

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)

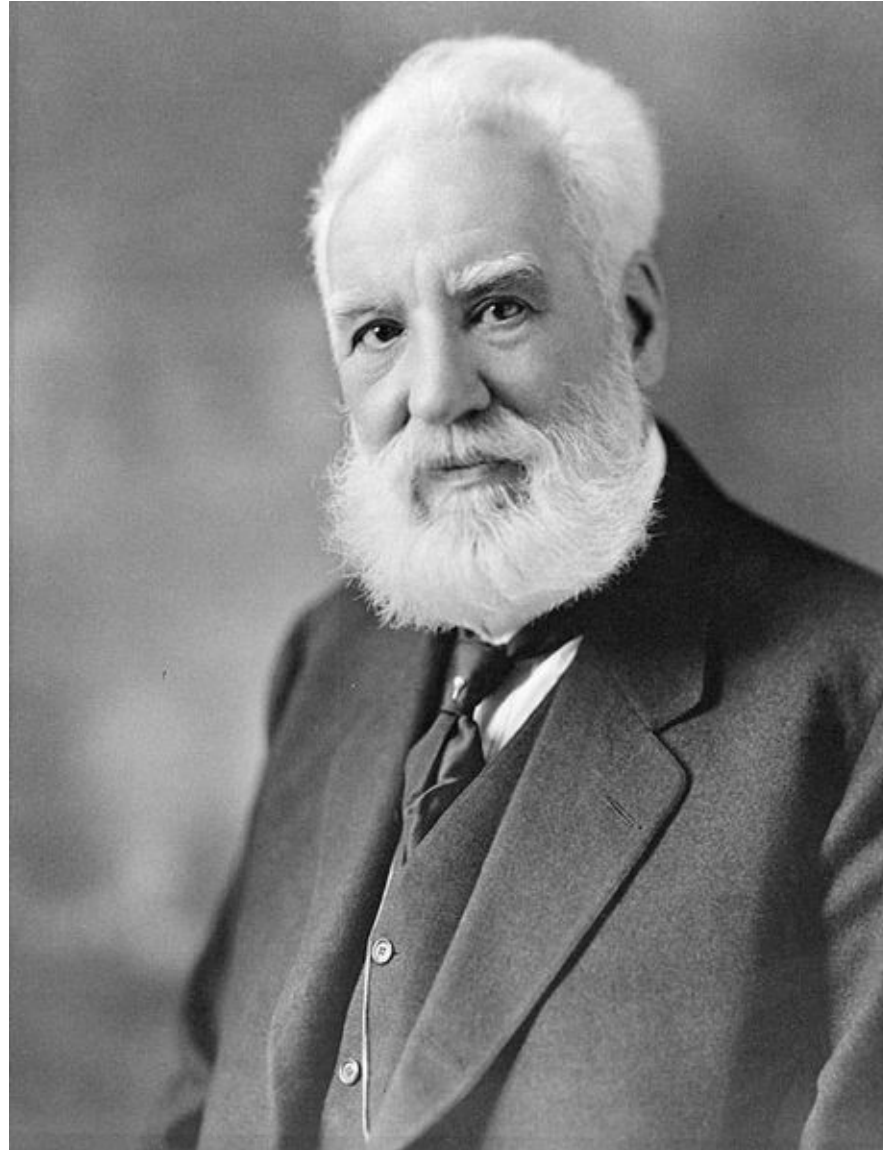
При кабелите тип “усукана двойка” (Twisted Pair) два проводника (прав и обратен) са усукани така, че да се **анулира** или **подтисне** електромагнитната интерференция (electromagnetic interference - **EMI**) на външни източници:

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

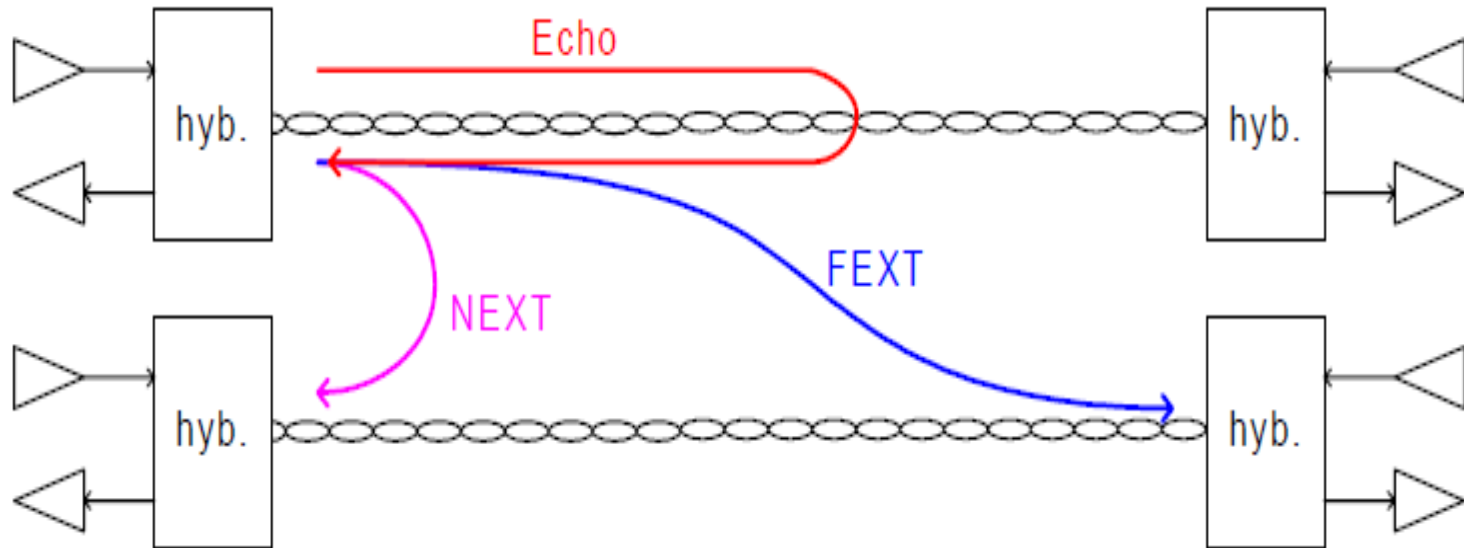
Изобретен от **Alexander Graham Bell** и патентован с **US patent 244,426 Telephone-circuit** (1881).

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

Alexander Graham Bell



NEXT. FEXT. Echo.



Near-end crosstalk (**NEXT**)

Far-end crosstalk (**FEXT**)

Диференциален режим

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

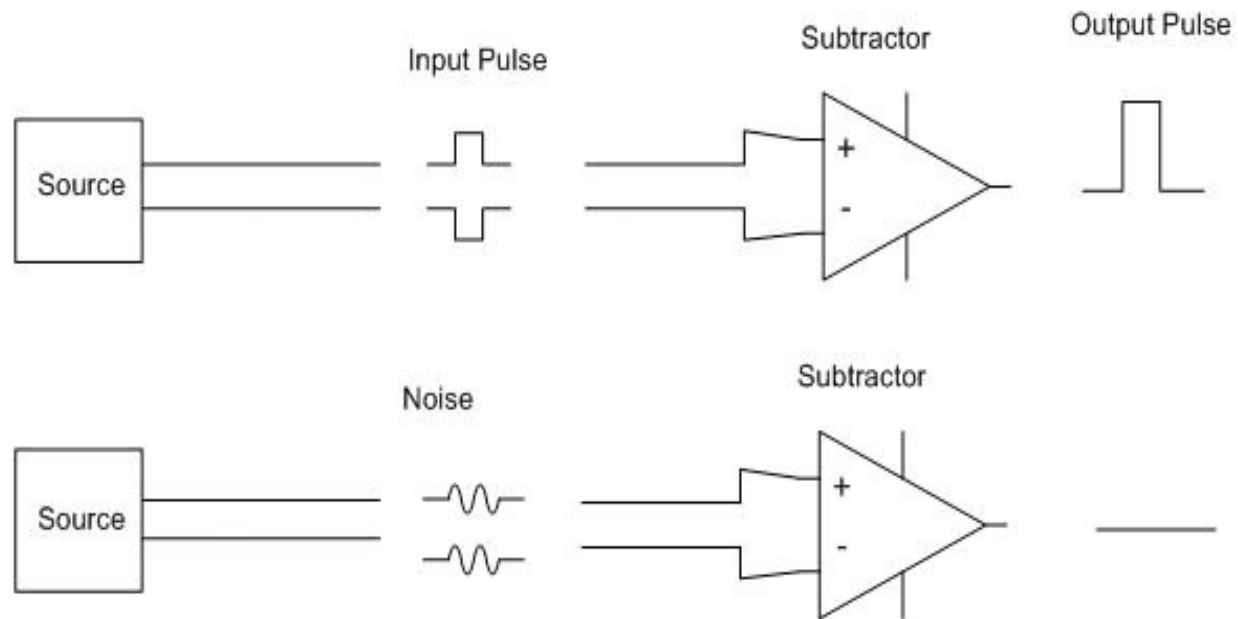
В крайната точка се приема разликата между двата:

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

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

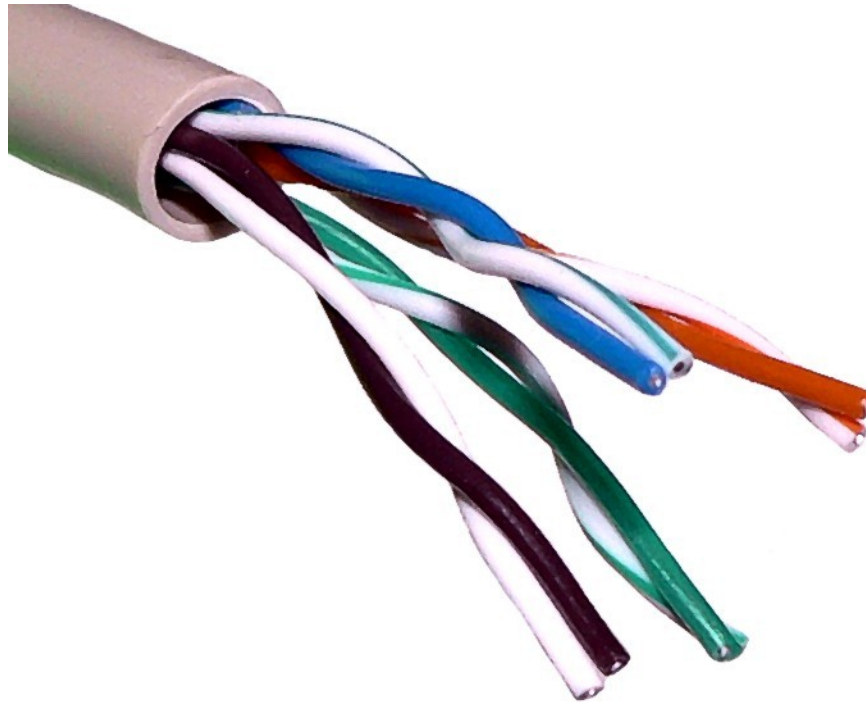
$$N - N = 0$$

Диф. режим. Схема.

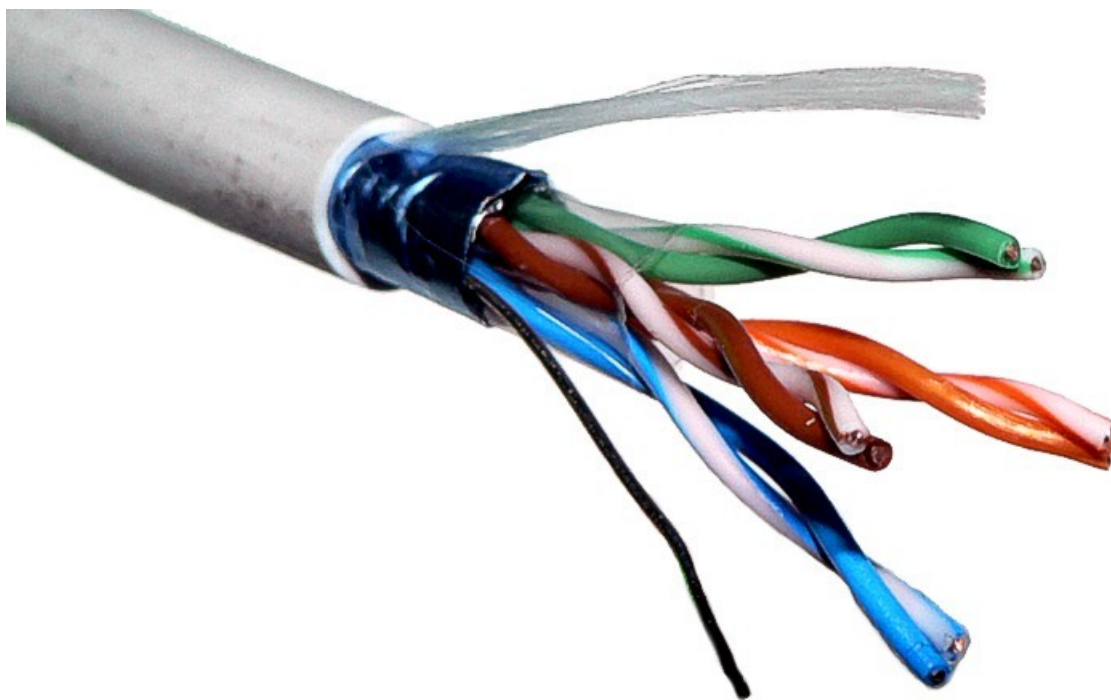


Unshielded twisted pair (UTP)

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



Екранирани 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 |

Cat 8 меден кабел за Data Center

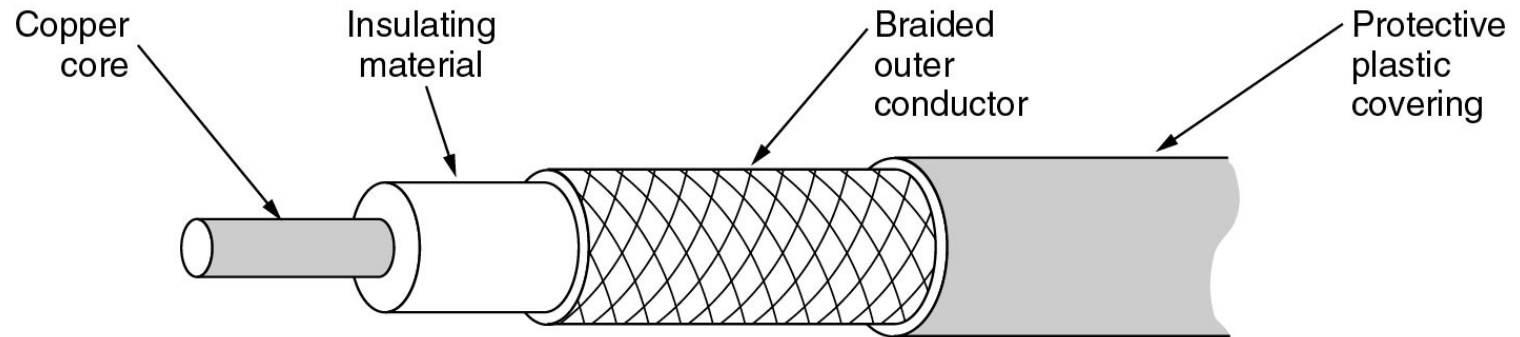


Although the standards have not been finalized, it is important for data center managers and suppliers to have a good sense of what Category 8 will look like, and how it will affect the data center infrastructure.

Bw: 2 GHz, за скорости от 40 Gbps в Data Center;

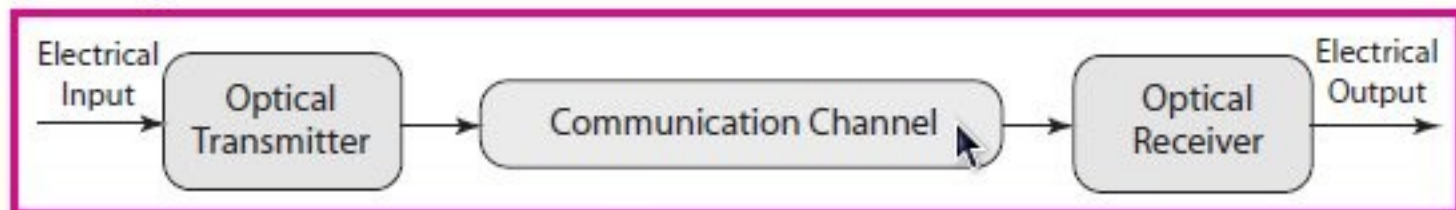
Конектор RJ-45 – подобен, обратно съвместим с Cat 6A, 7A.

Коаксиален кабел



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

Влакнеста оптика. Принципи.



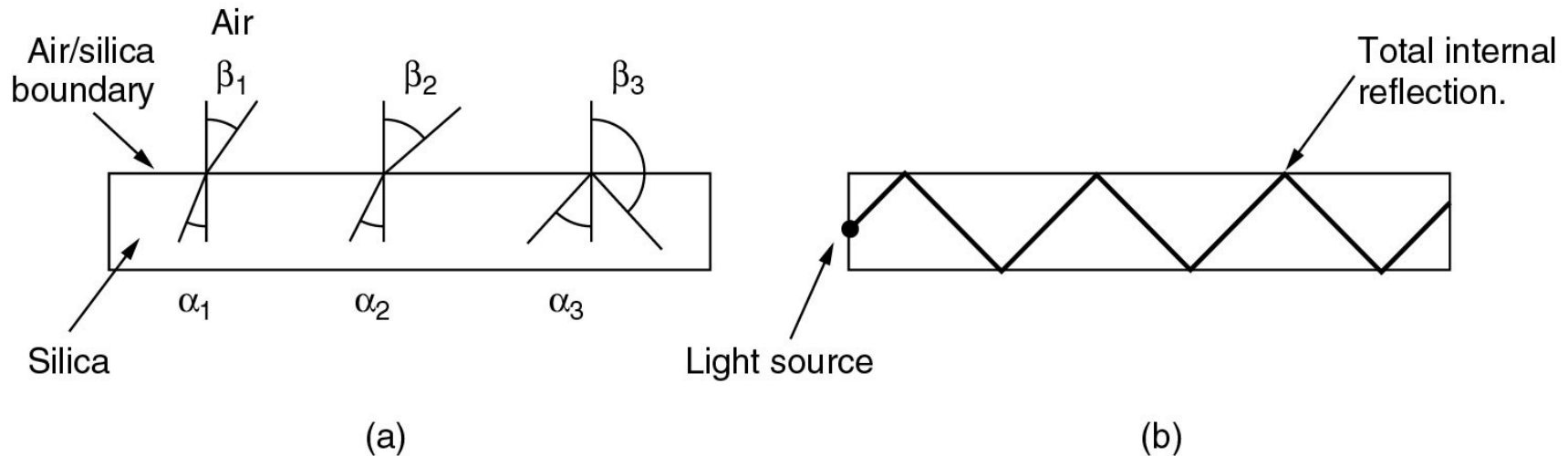
Една оптическа комуникационна система (Fiber Optics – FO):

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)

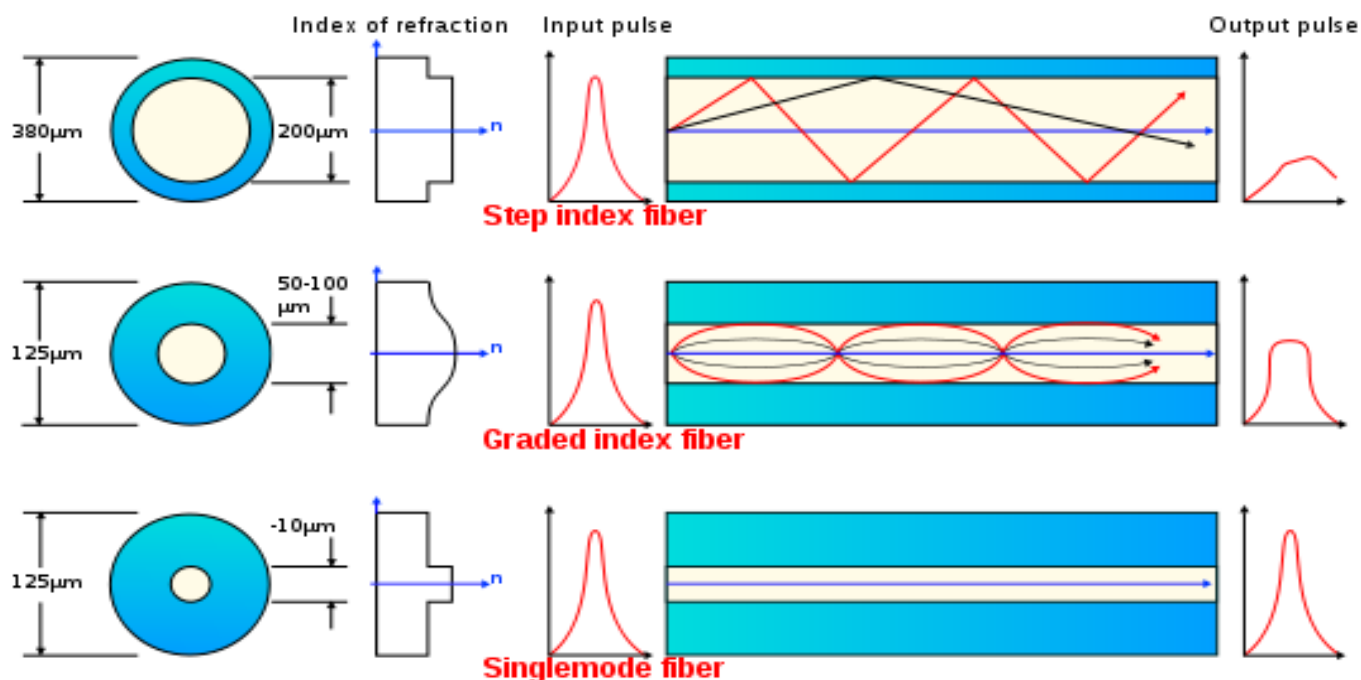


(a) Светлинният лъч пада под различен ъгъл на границата “въздух-силиций”.

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

Дължина на вълната 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

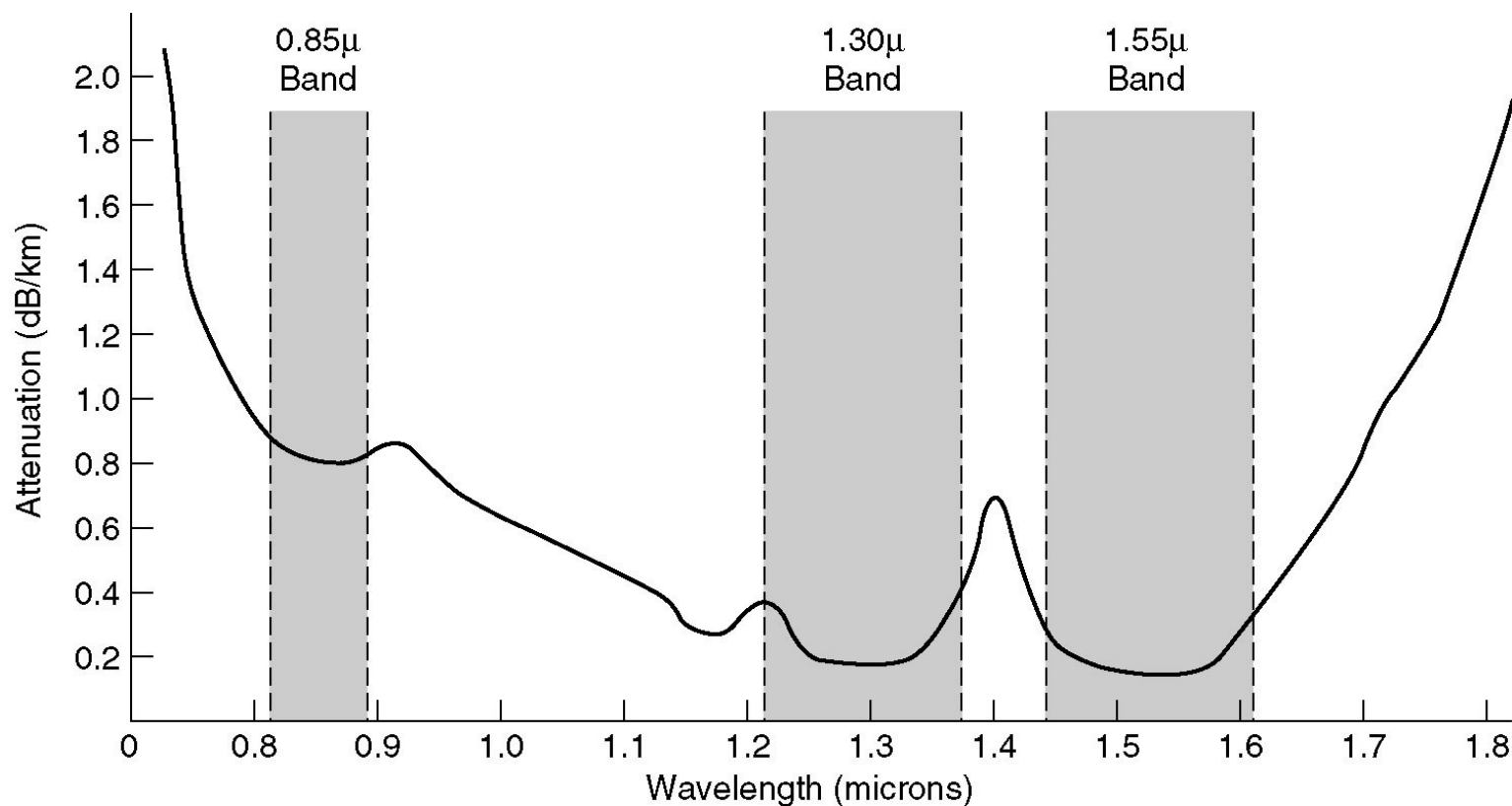
ММ влакната със стъпаловиден профил на коефициента на пречупване имат пълно вътрешно отражение на няколко дължини на вълната.

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

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

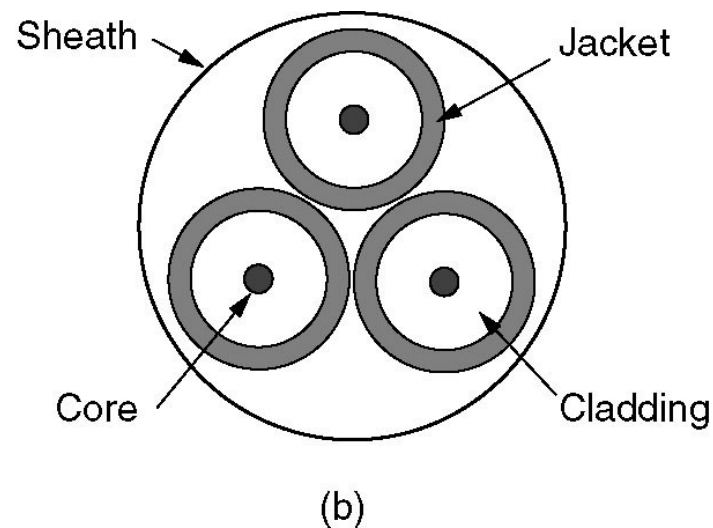
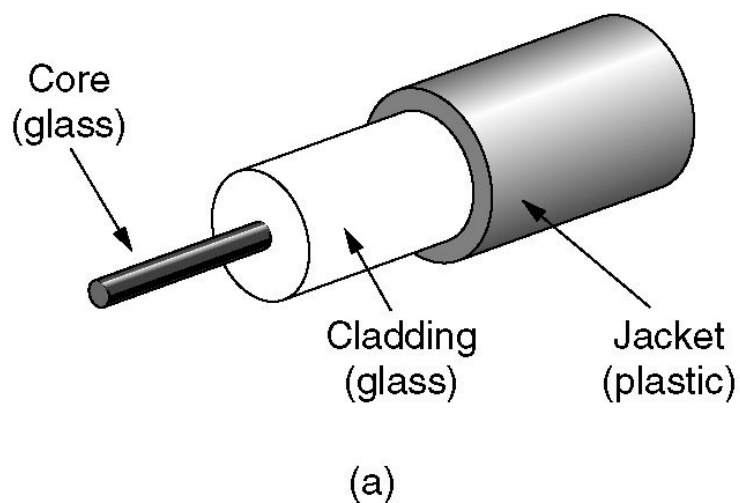
Основно предимство: не се влияе от външни шумове (ЕМІ, влага и др.)

Честотни обхвати



Според **коефициента 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**.

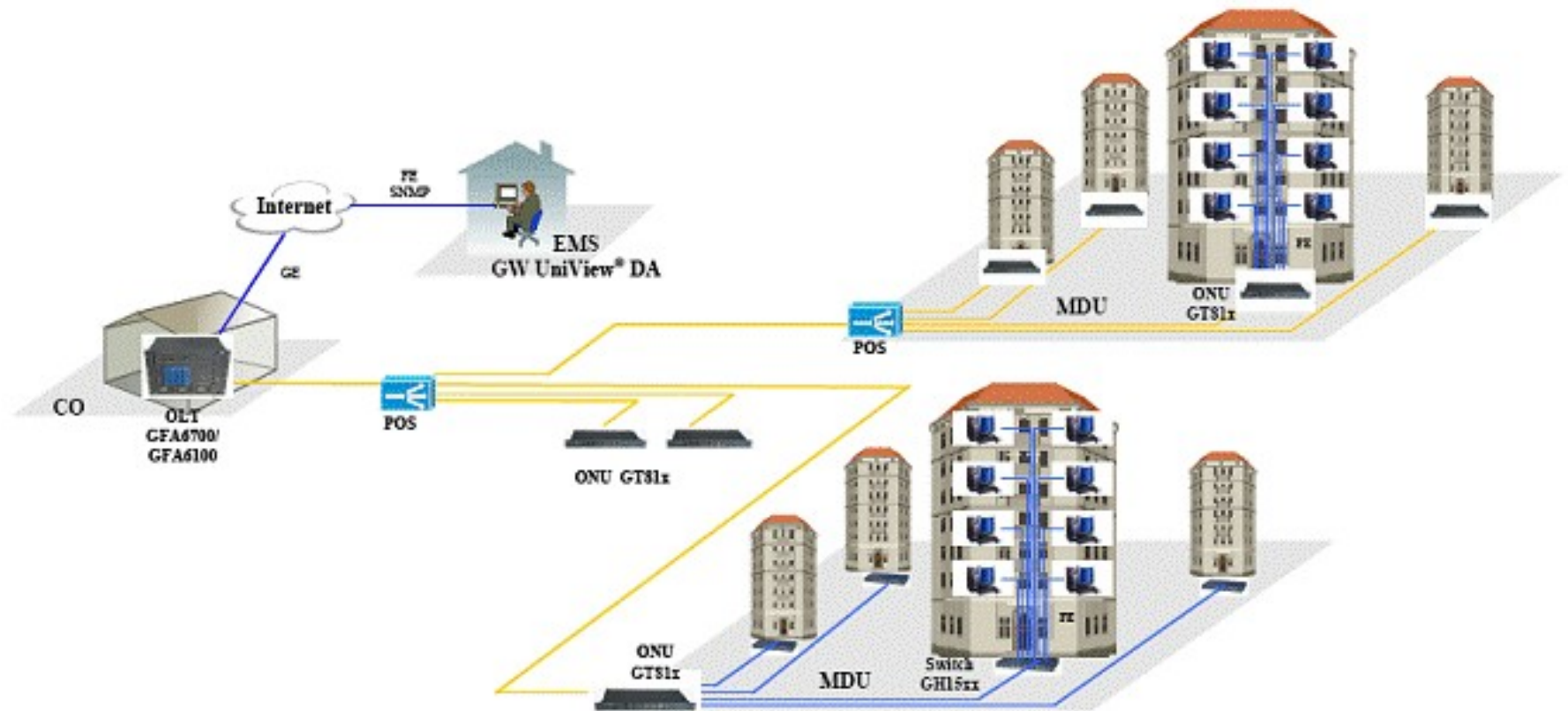
Пасивни сплитери, прилагащи “**ъгъла на Brewster**”, позволяват едно влакно да обслужва 32-128 крайни точки.

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

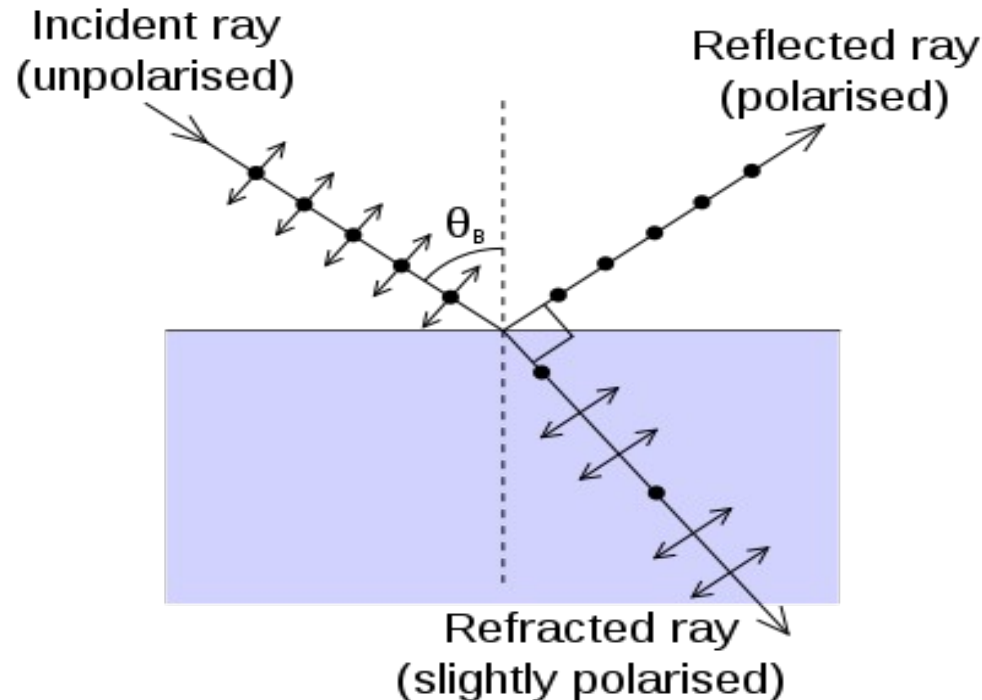


Passive optical network

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** .

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

Модулация. Обяснение.

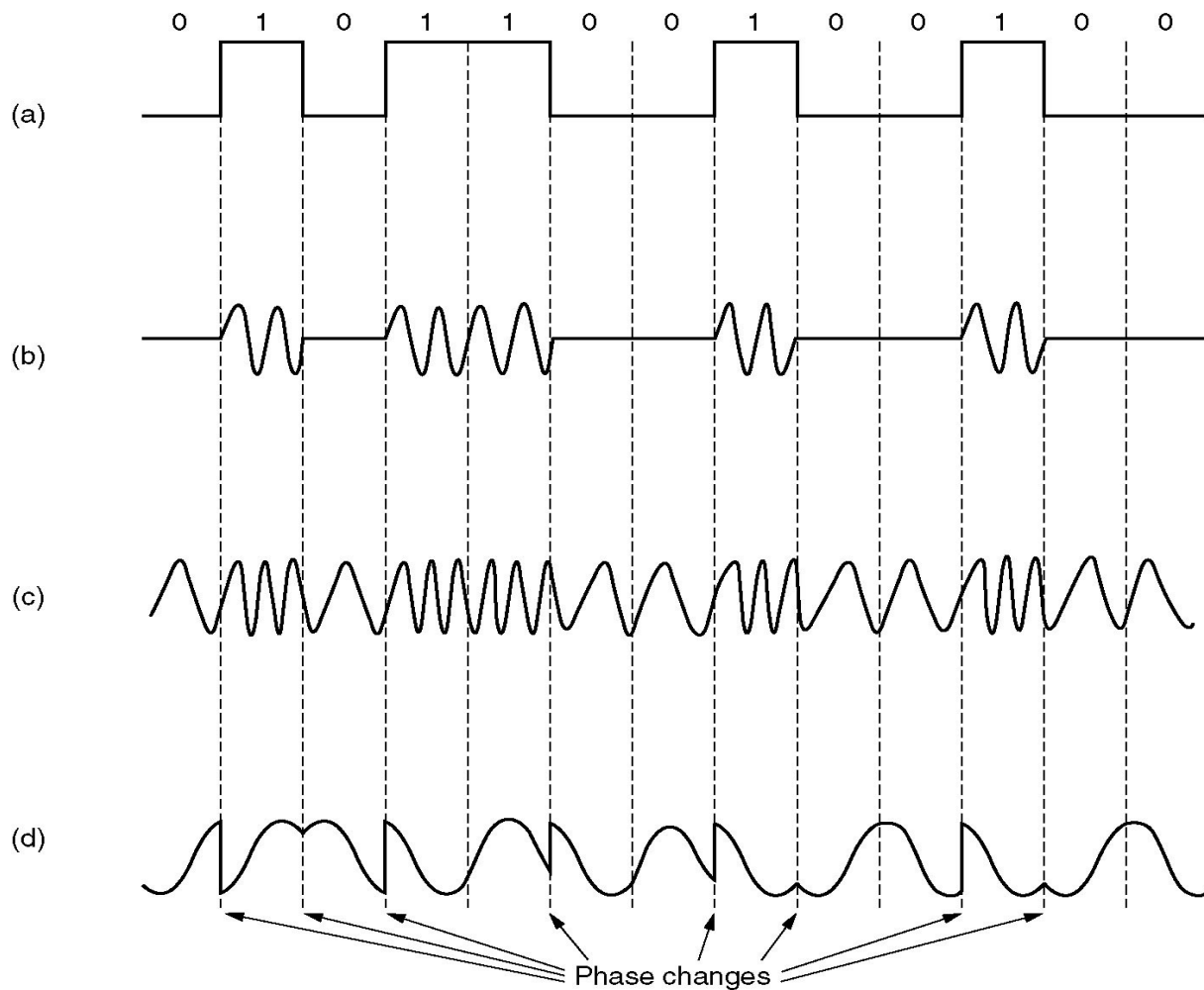
При тясна честотна лента (например при телефонните линии) цифровите сигнали не могат да се предават точно, поради което се използва **модулация**.

Въвежда се носещ сигнал (**носеца 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.



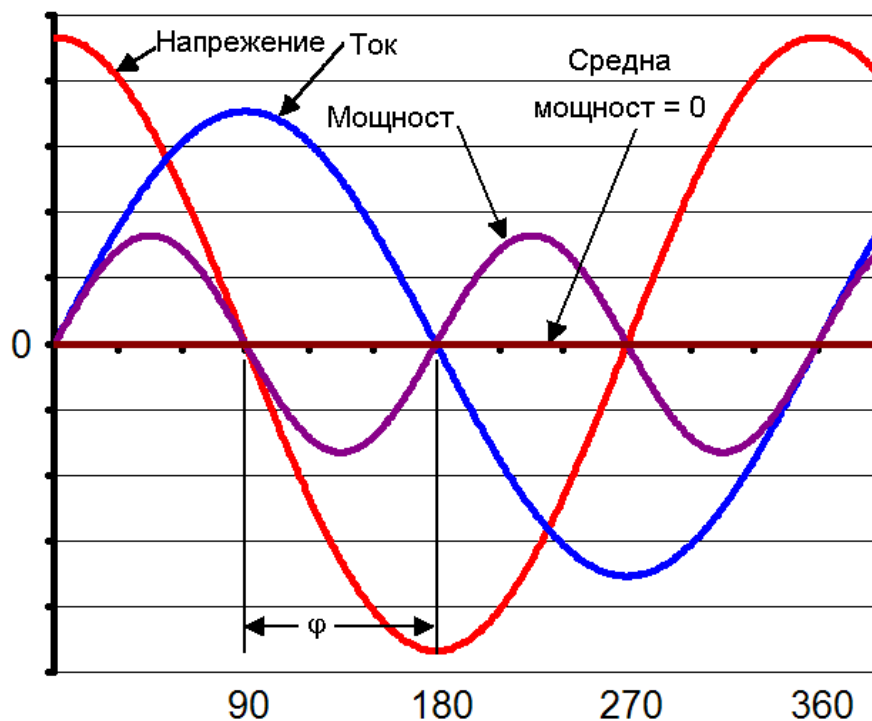
(a) двоичен сигнал

(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.

Wavelength Division Multiplexing (WDM)

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

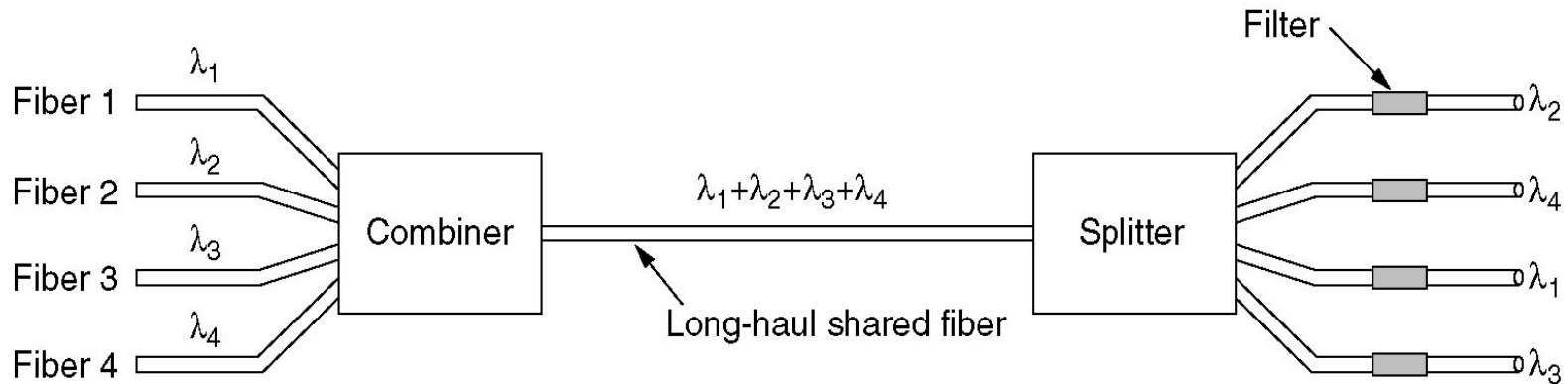
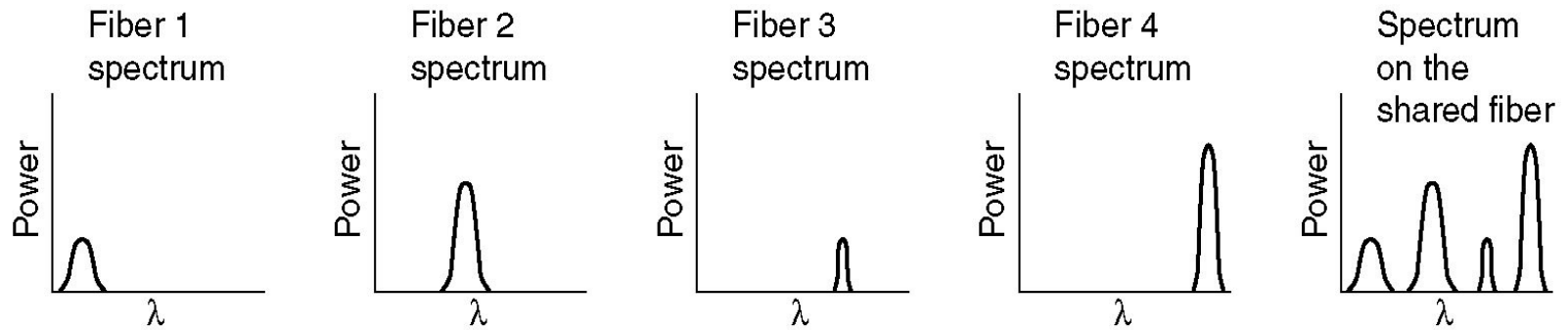
На фигурата по-долу лъчи от 4 влакна, всяко с различна λ постъпват в призма или дифракционна решетка.

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

В точката на приемане става разцепване в обратна посока.

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

Wavelength Division Multiplexing



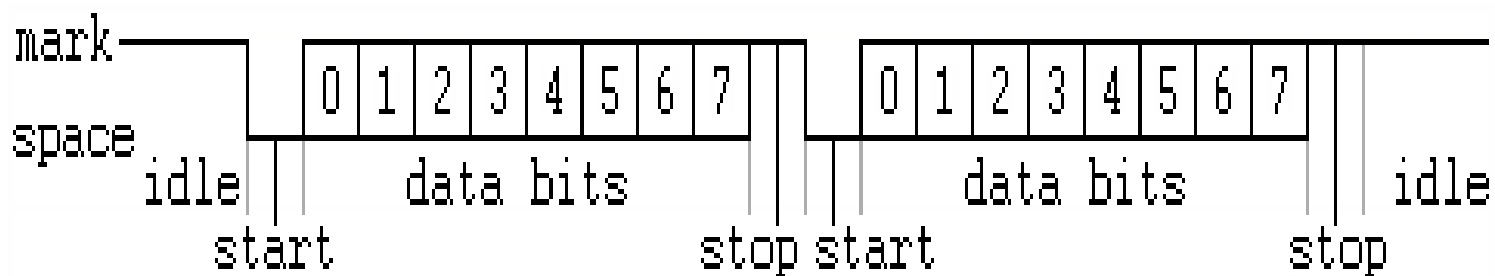
$\Delta f / \text{влякно} \approx 25000 \text{GHz}$. Т.е мултиплексират се огромен брой канали на големи разстояния.

Time Division Multiplexing (TDM)

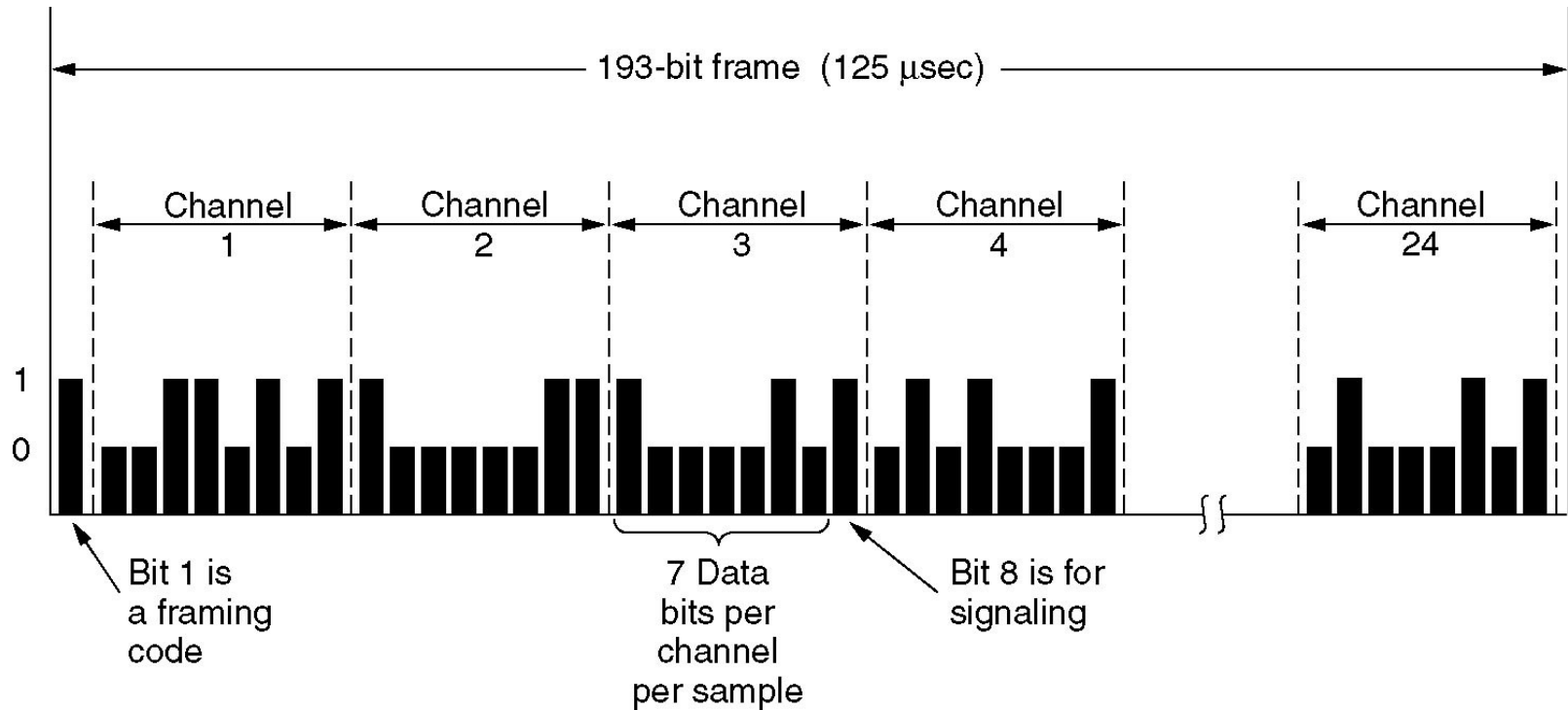
Мультиплексиране чрез времеразделяне (**TDM**). За всеки източник от информация се предвижда определен интервал от време (**time slot**), през който той разполага с канала.

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.



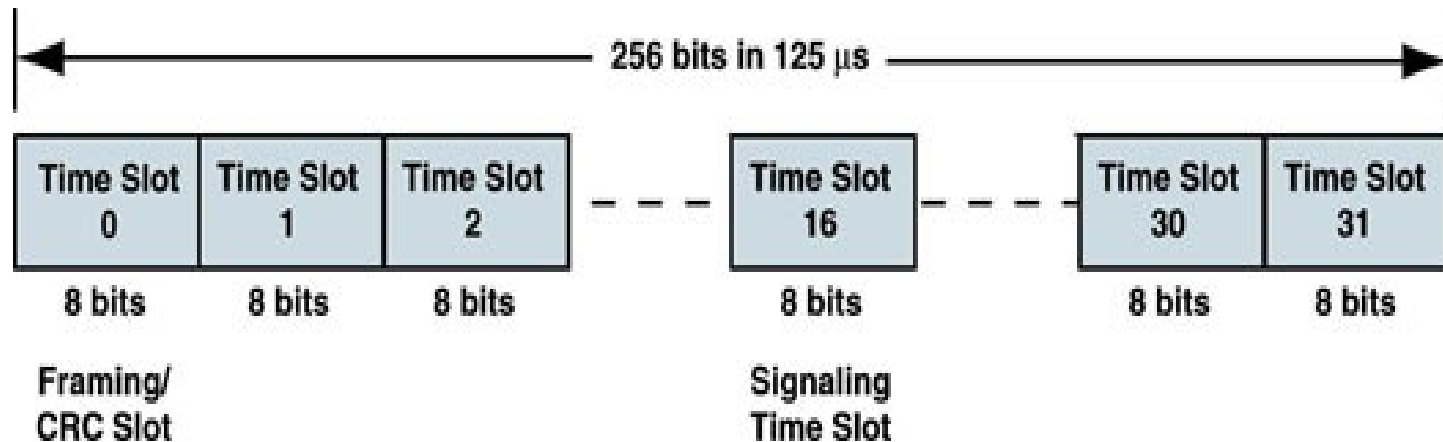
TDM. (T1 - 1.544 Mbps)



Прилага се в Северна Америка, Япония, Корея.

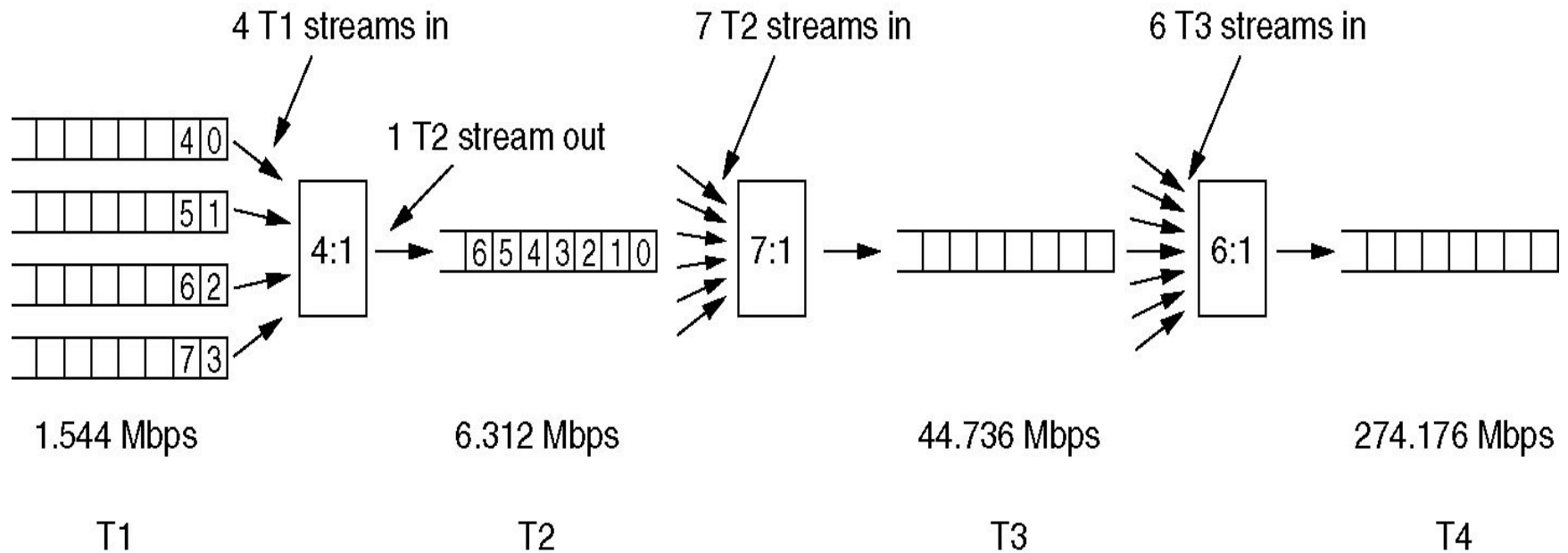
$(7 \times 8000 = 56,000 \text{ bps} \text{ данни}) + (1 \times 8000 = 8000 \text{ bps})$ сигнална информация

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.

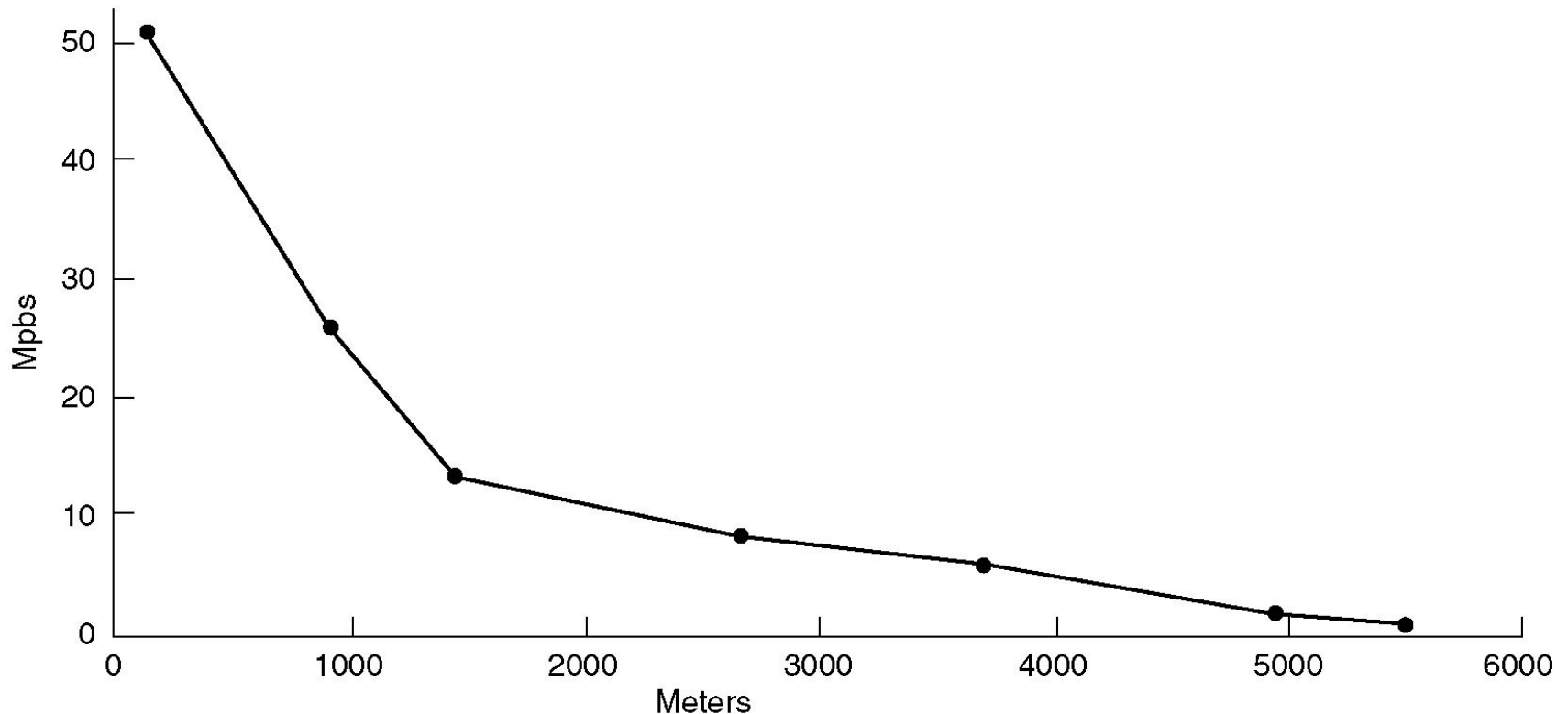
SONET/SDH мултиплексиране

| 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).

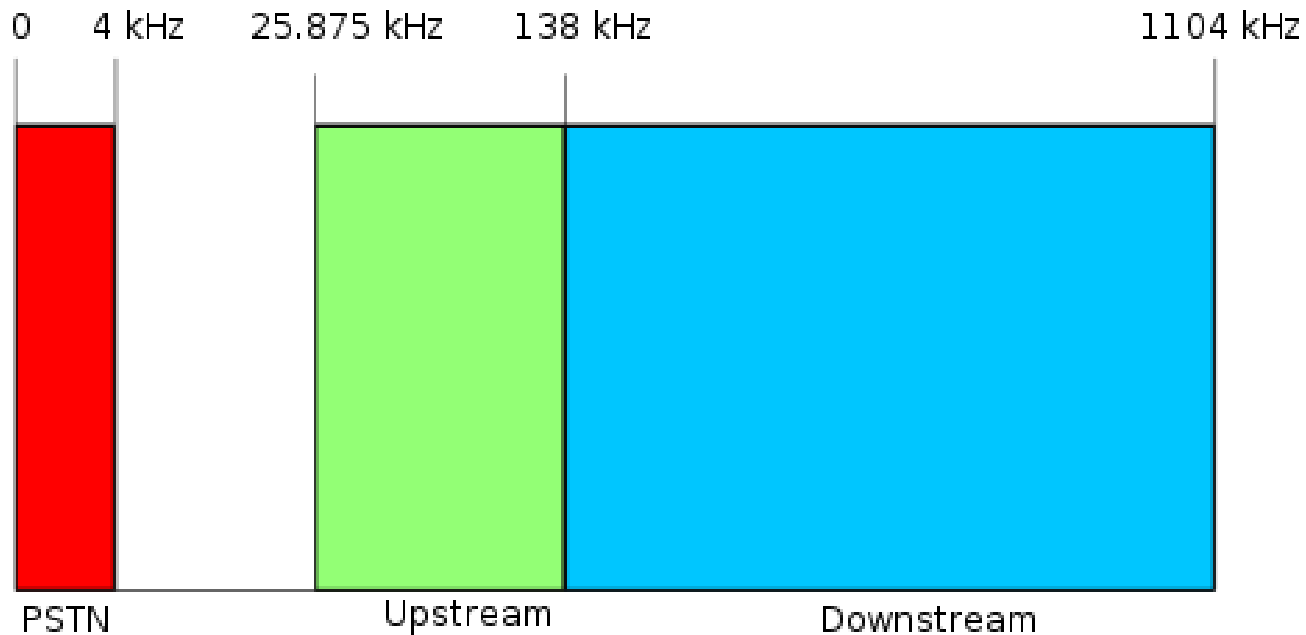
Digital Subscriber Lines



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.

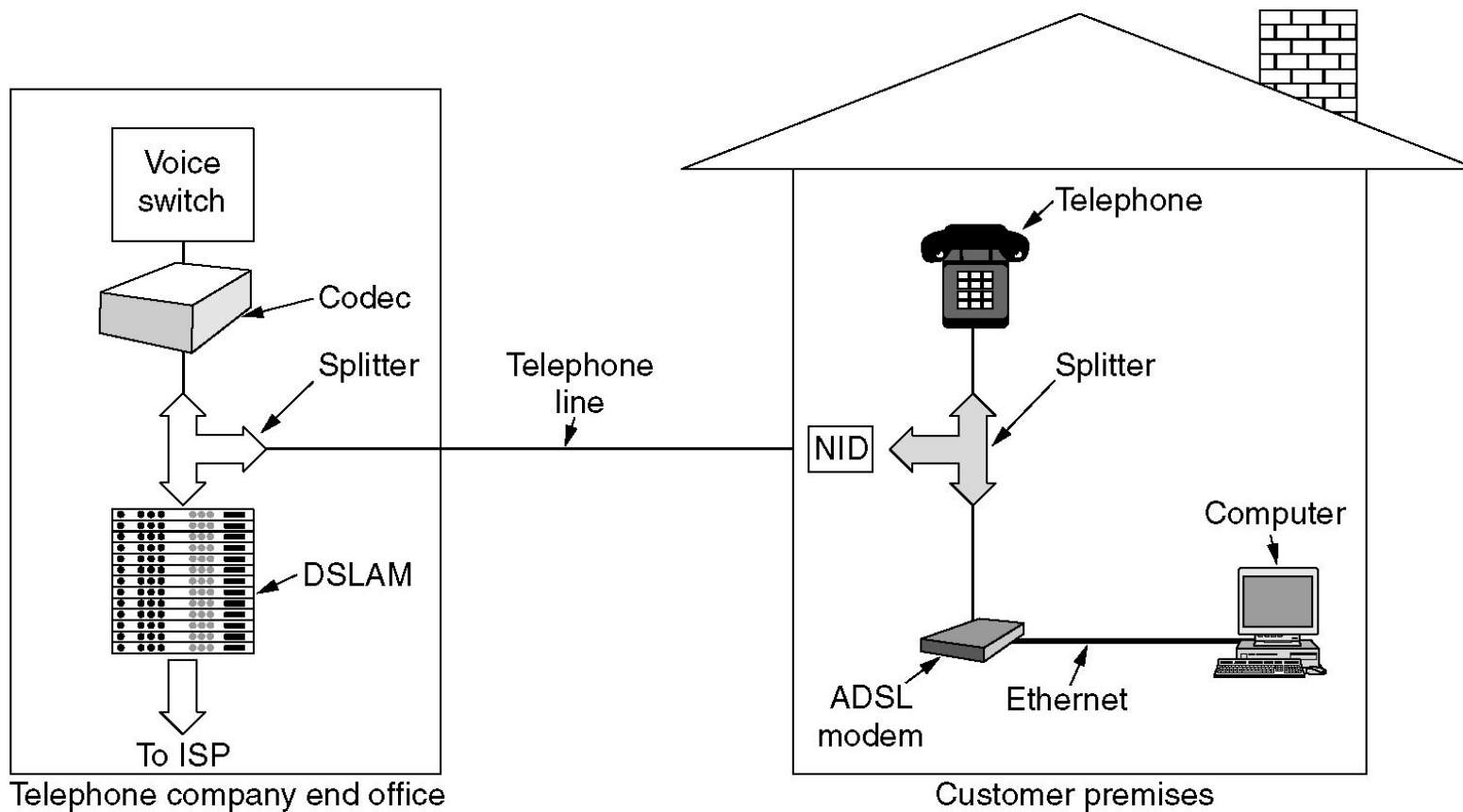
Digital Subscriber Lines (2)



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 |
| GDSDL | 1, 10 Gbit/s | 1, 10 Gbit/s | 4-pair Cat.3 UTP, 300m |

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 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.

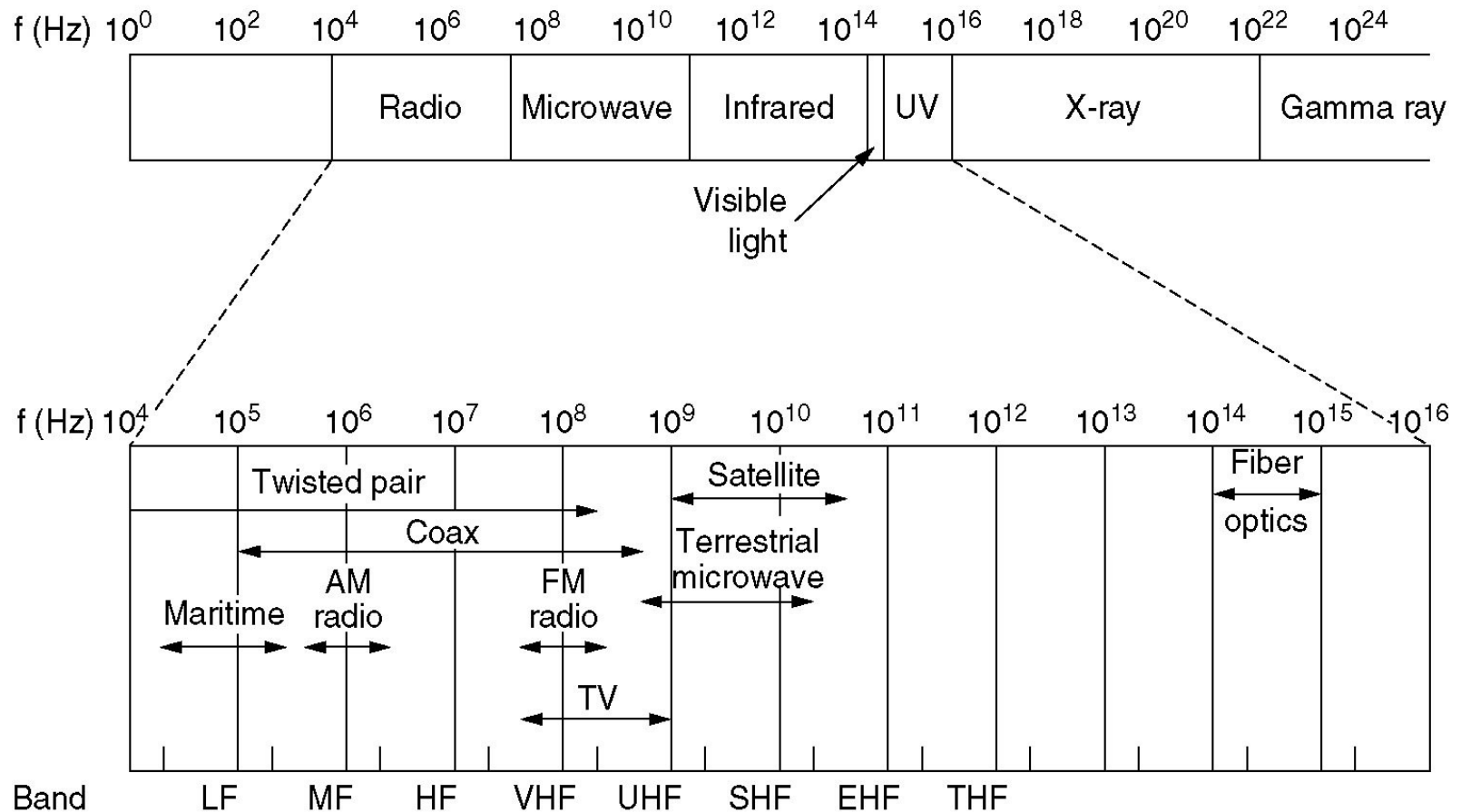
Например, $1.30 \mu\text{m}$ FO обхват:

$\lambda = 1.3 \times 10^{-6}$ 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.

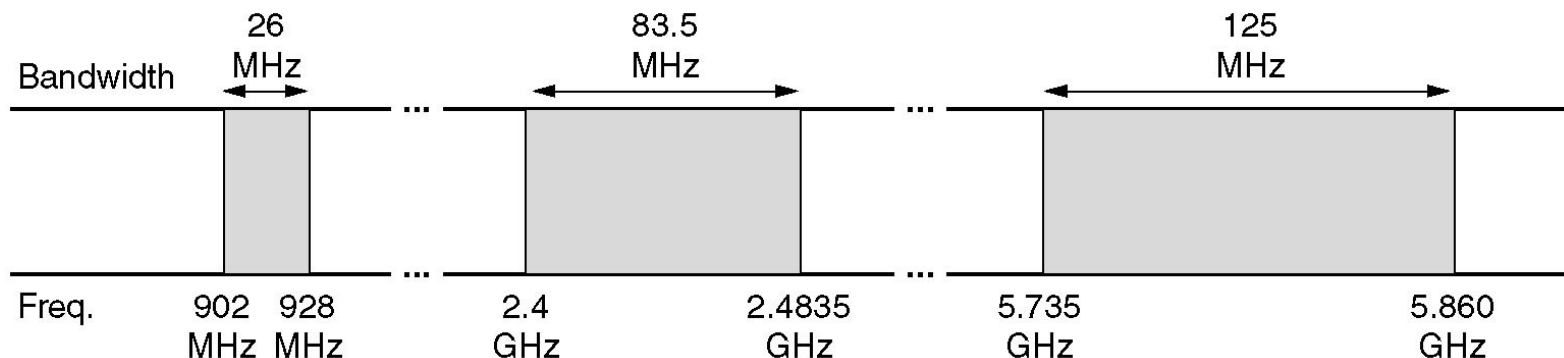
Всяка страна си има такава организация:

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 ^[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] |

[V · IEEE 802.11 · 802.11a](#)

[802.11b · 802.11g · 802.11n](#)

[802.11ac · 802.11ad · 802.11ah · 802.11ay](#)

Gigabit Wi-Fi: 802.11ac

IEEE 802.11ac (5G Wi-Fi) вече са на пазара.

Предвиден е за 5 GHz обхват. Поддържа до 1.3Gbps.

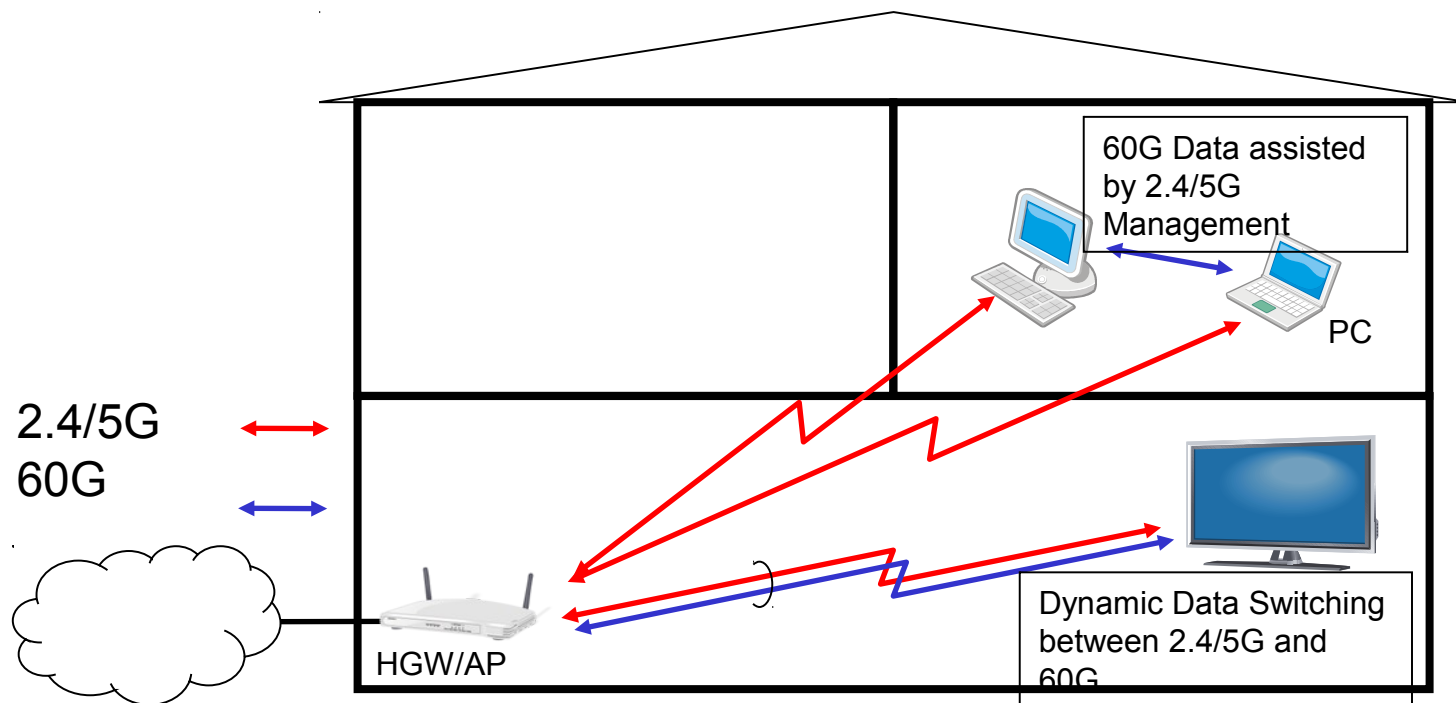
Разширява възможностите на безжичния интерфейс, заложен в 802.11n (и е обратно съвместим):

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

Asus RT-AC68U Dual-band Wireless-AC1900 Gigabit Router



802.11ad



802.11ad се предвижда за **60 GHz** обхват. По-малко покритие (отразява се от стени и хора), но “**по-чист**” ефир.

Скорост около **7 Gbps**.

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

Постигане на високи скорости в безжични среди

В Цифрова ТВ, ADSL, WiFi, WiMAX, комуникациите по електрозахранващи мрежи прилагат по-нетрадиционни идеи:

- **Модулация** на цифров сигнал с помощта на **много носещи**:

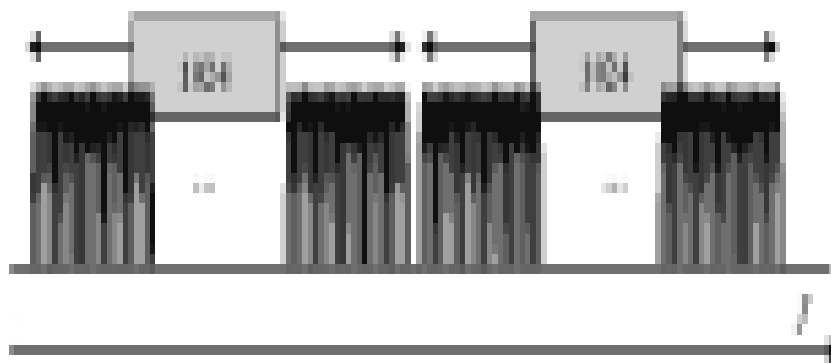
- Излъчваният поток от битове да се раздели на **субпотоци** и да се “носи” от много **субносещи**. Битовата скорост на всеки субканал е много по-ниска от общата.

- Много по-ефективно използване на спектъра се постига с “**ортогонални**” субносещи, чиито спектри се припокриват, но поради ортогоналността си сигналите си влияят минимално.

Постигане на високи скорости в безжични среди

-За ефективна модулация **броят на субносеците** трябва да е **голям**:

напр. във **WiMax** стандарта те могат да са от 512 до 2048 канала (например 1024 по 11 kHz)



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**.

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.

MIMO-OFDM

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

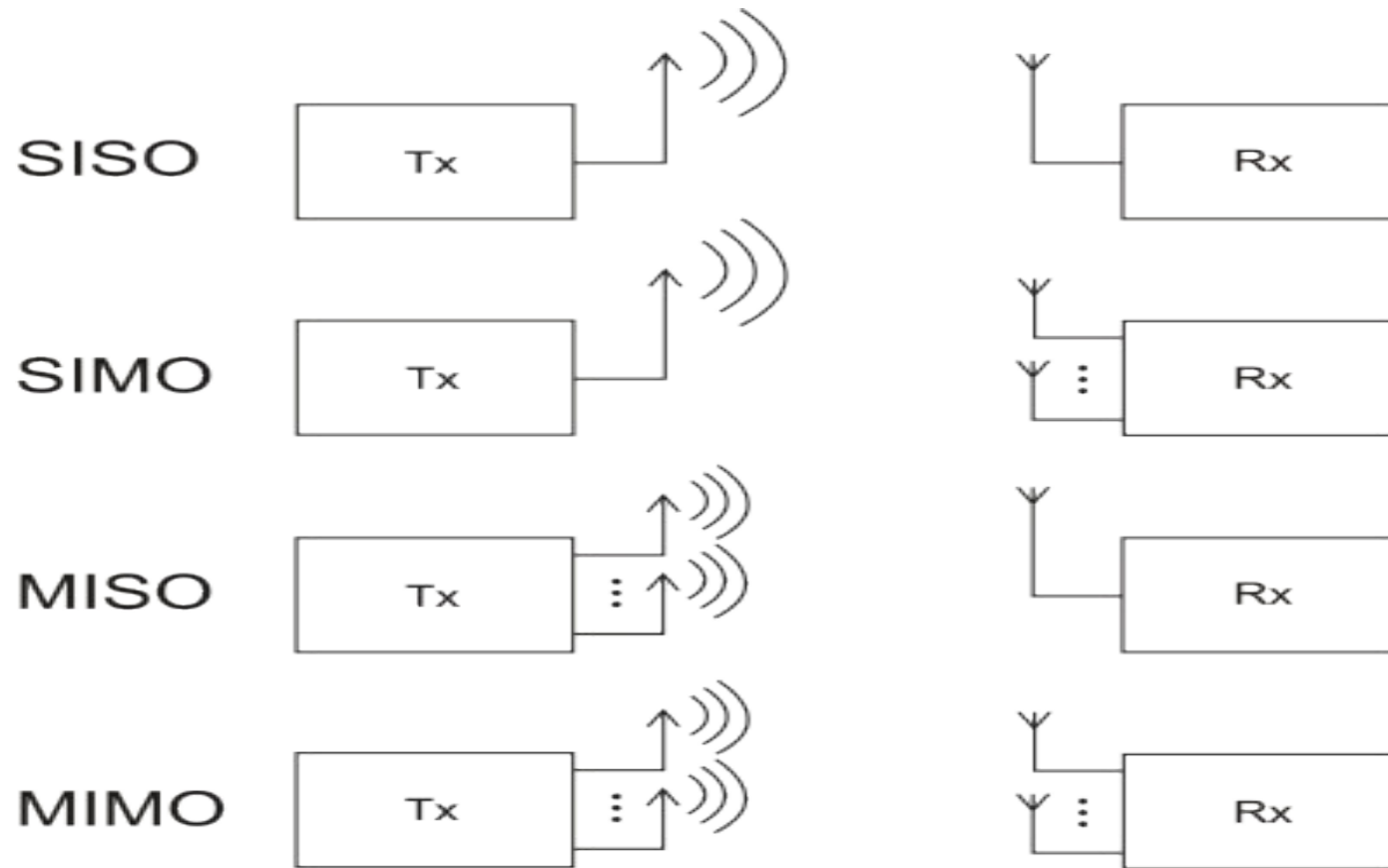
Използва **множество антени** за едновременно предаване на данни на малки порции.

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).

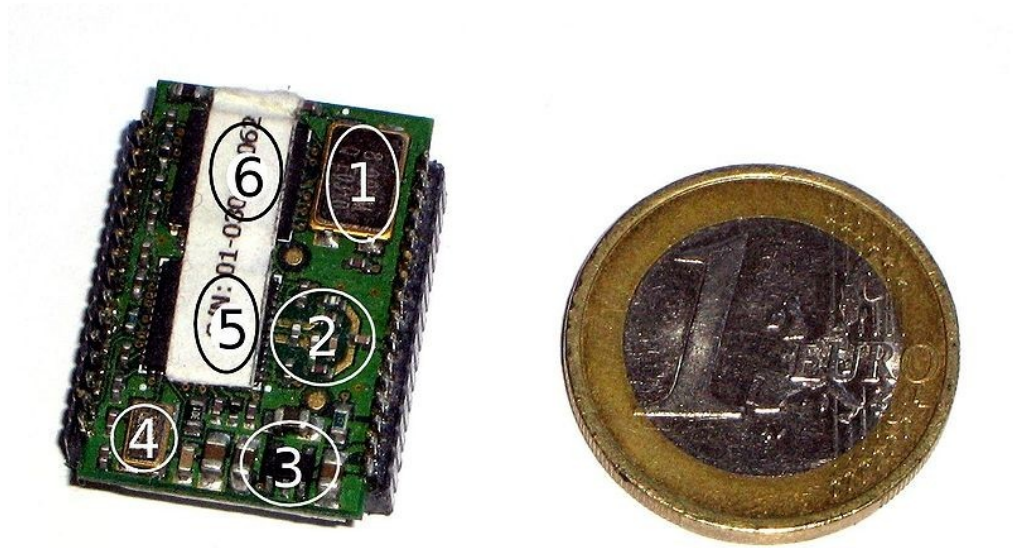
IEEE 802.15. Bluetooth, и др.

| 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.

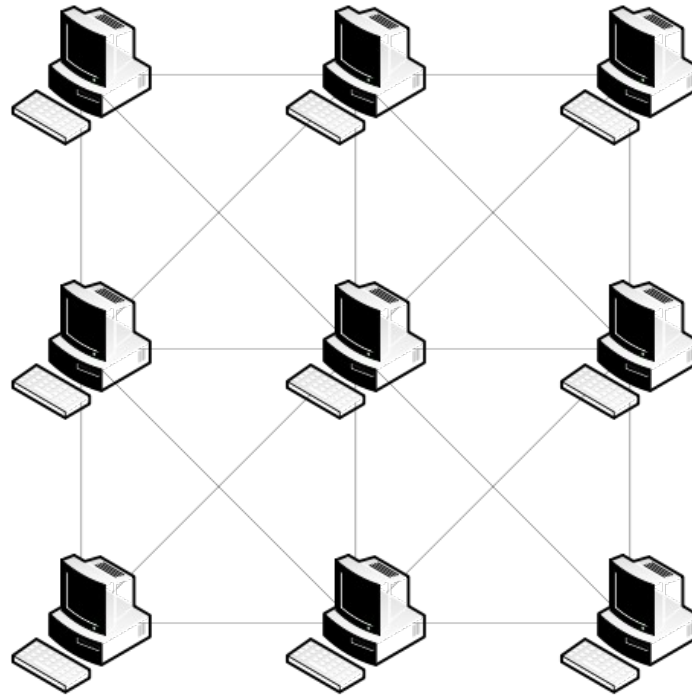
6LoWPAN

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.

Internet of Things (IoT)



Всеки домашен и офис уред, wearables и т.н. да е свързан към Интернет.

Да има IP (v6) адрес. Стандарти за взаимодействие на IoT устройства: [Thread](#) на Google за домашни уреди; [AllJoyn](#) за взаимодействие в Wi-Fi мрежа; [Open Interconnect Consortium](#) на Intel и [Industrial Internet Consortium](#) - стандарти за индустриално приложение на IoT.

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.

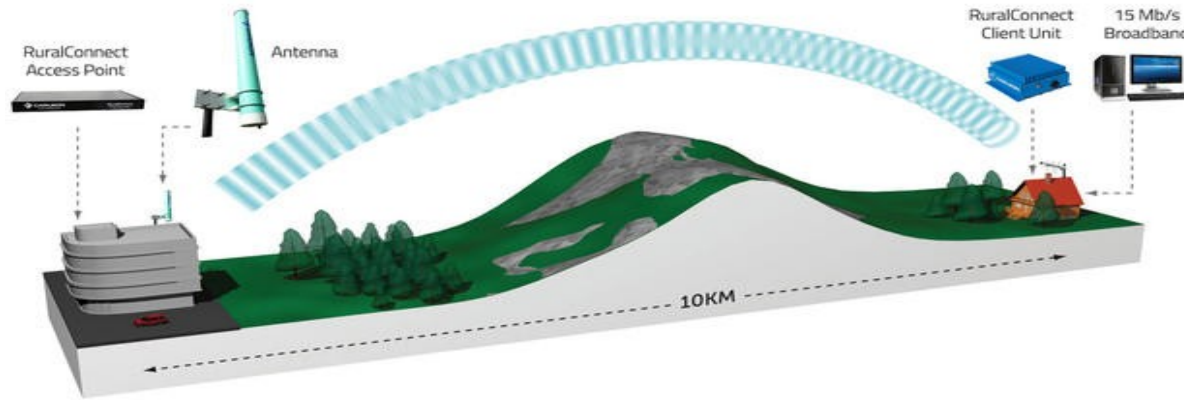
С обновяването на IEEE 802.16m (**WiMAX 2**) ще достигне 1 Gbit/s фиксирана скорост.

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



Wi-FAR (802.22) за трудно достъпни области



Инициатива на Google, Microsoft и Facebook за справяне с “**digital divide**”.

Използва т.нар. “бели полета” (**White Space**) между TV каналите. Покрива до 18 мили (25 km). Теоретично download скоростта е 22 Mbps на TV канал, обслужващ 512 устройства, скорост около 1.5 Mbps на устройство за downlink.

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 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,



5G



5G

AGbps скорости в движение и по-висока интеллигентност:

B- MIMO;

C- интеллигентни антенни системи;

D- software-defined networking (SDN);

E- Network Functions Virtualization (NFV);

F- Internet of Things (IoT) и cloud computing;

G- Софтуерно дефинирани протоколи за настройка на радиочестотната система и :

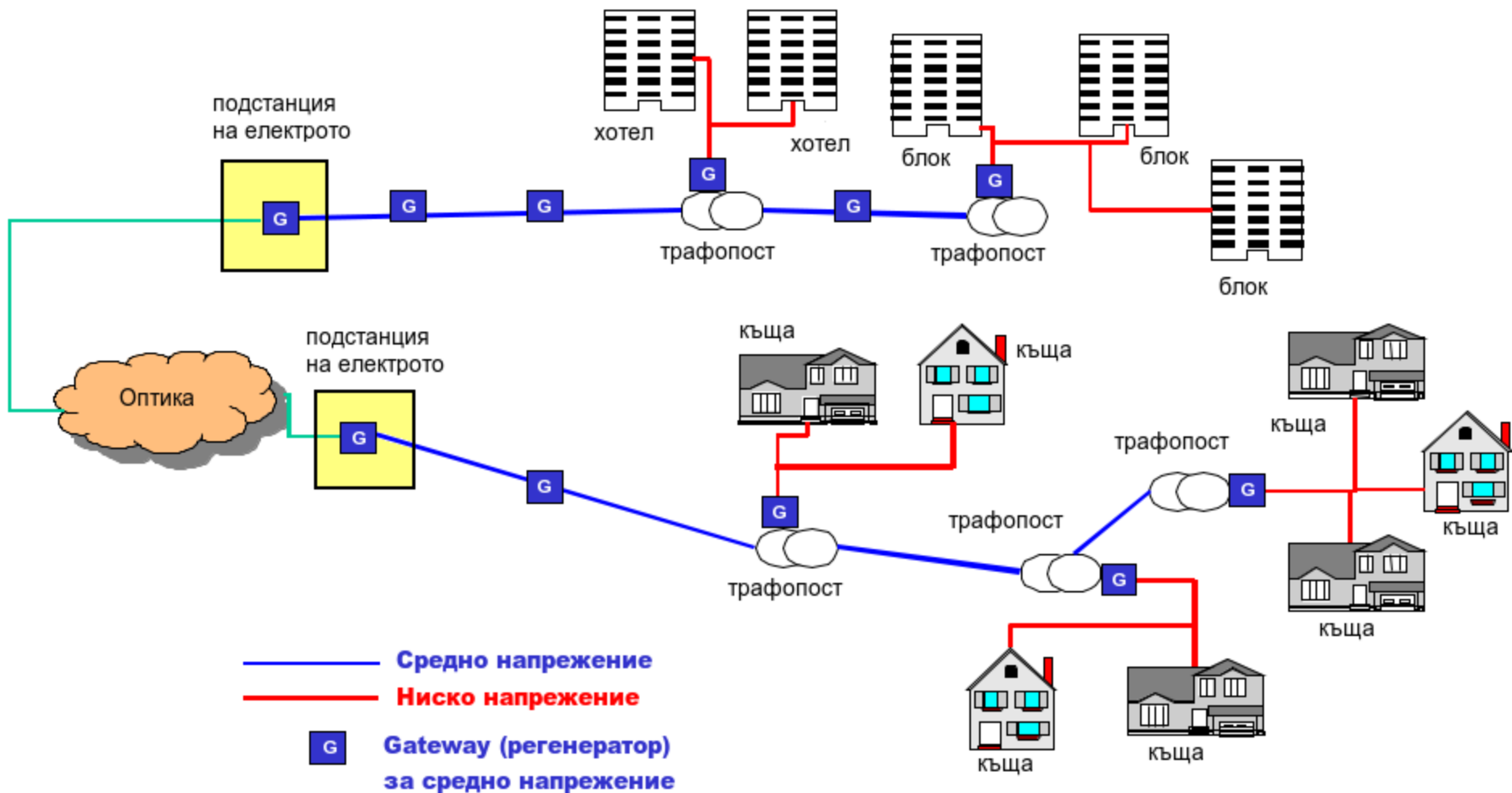
H- **Random Linear Network Coding.**

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 ФО 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);

Стандартът IEEE 1901

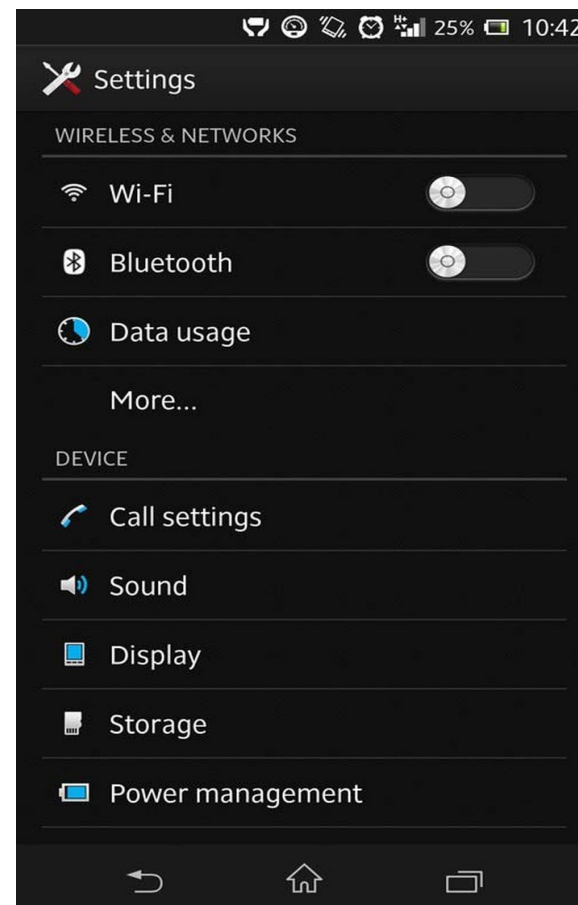
Broadband over Power Line
(BPL) бе финализиран през
декември, 2010.



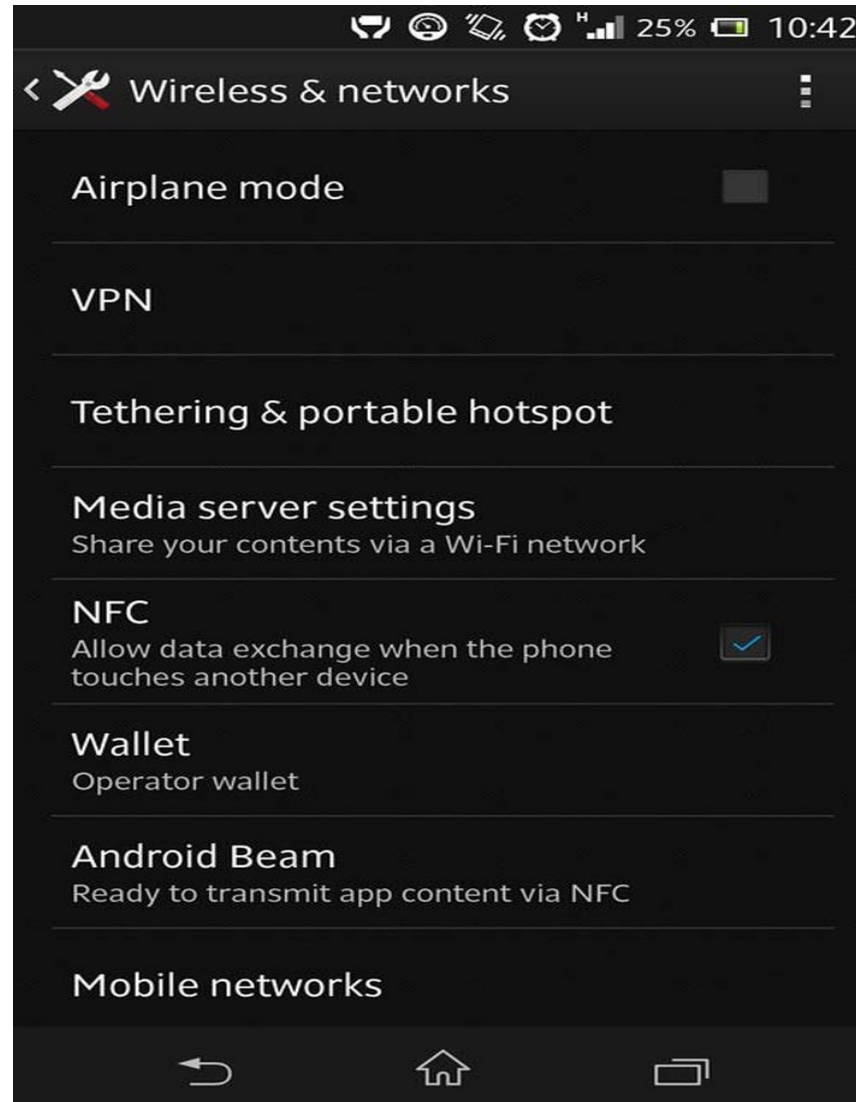
Android телефон - Wi-Fi hotspot

За връзка към
Интернет използвайте
3G/4G мрежата:

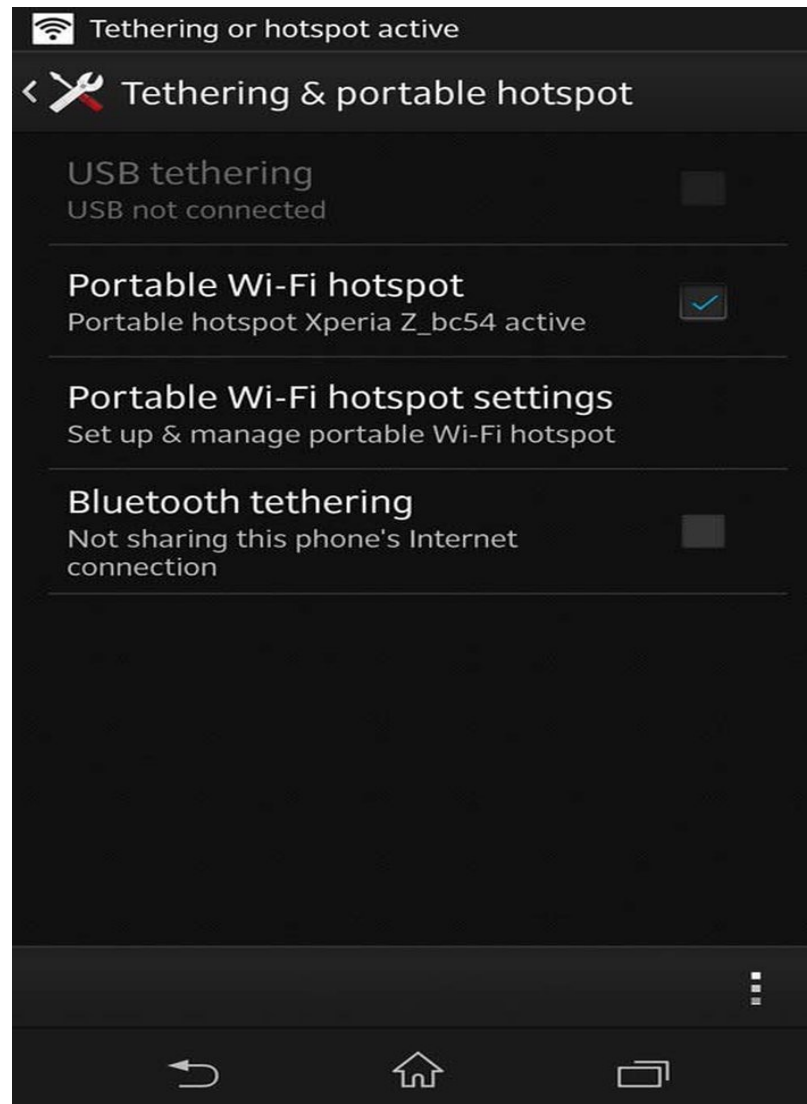
1. Изберете меню
Settings



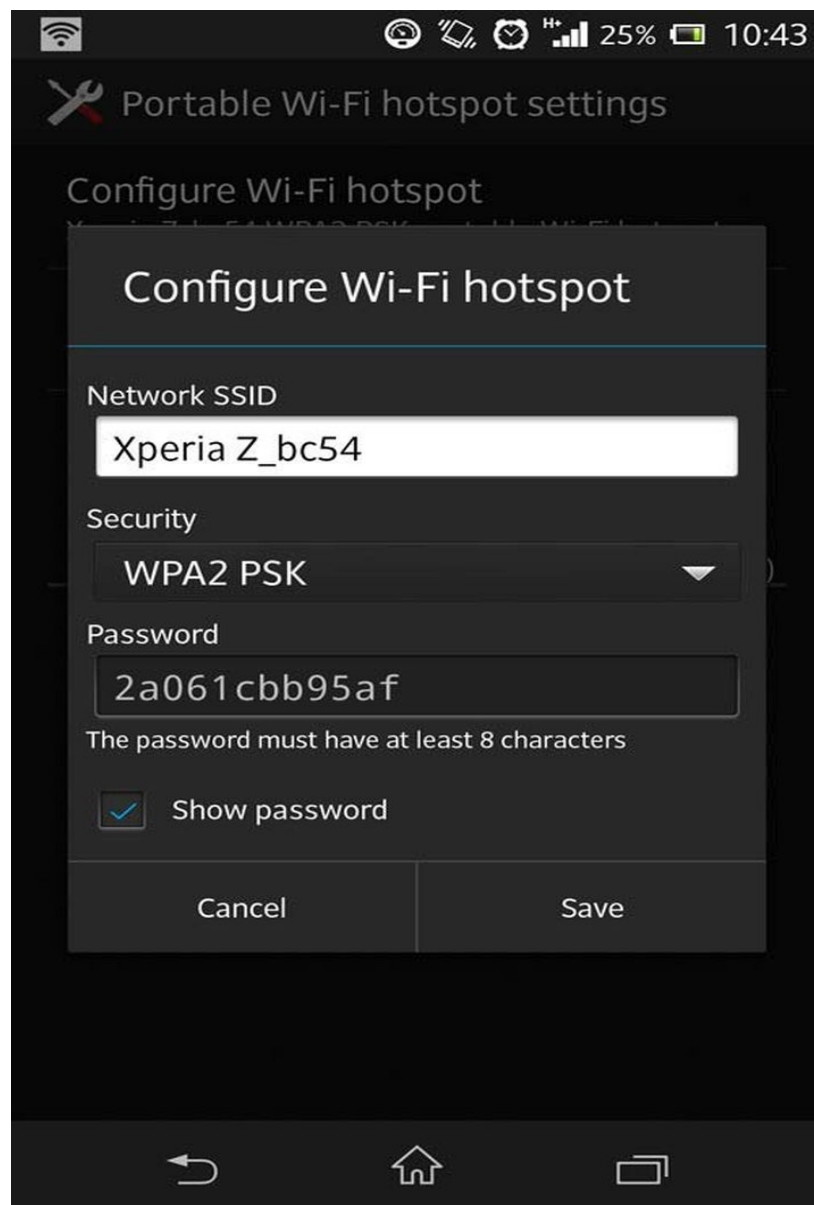
2. Избирате Wireless & Networks и Tethering & portable hotspot



3. Кликнете Portable Wi-Fi hotspot



4. Въведете име на Wi-Fi мрежата и парола



5. На вашия компютър/таблет:

