

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** - числен метод.

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

Фурие и числените методи

(за сведение)

Числените методи

<https://www.oreilly.com/library/view/numerical-methods-for/9781118554937/>

се прилагат при решаване на математически проблеми, които не могат да бъдат решени или са трудни за решаване аналитично. Числовото решение е приблизителна числова стойност (число). Въпреки че числените решения са приблизителни, те могат да бъдат много точни. При много числени методи изчисленията се извършват по итерационен начин, докато се постигне желаната точност.

Фурие и числените методи

(за сведение)

Методите на Фурие са математически методи, които използват синусоидални функции за представяне и приближаване на други функции. Те се използват широко в приложната математика, фундаменталните и инженерните науки, медицината и др. Тези функции, които са представени от по-прости синусоидални функции, могат да бъдат дискретни или непрекъснати, напр. интензитета на изображението спрямо позицията, интензитета на звука спрямо времето или интензитета на светлината спрямо времето или позицията. Методите са кръстени на Жан Батист Жозеф Фурие, френски математик и учен, живял в края на 18-ти и началото на 19-ти век. Фурие е ученик на Жозеф-Луи Лагранж и за кратко е в *Ecole Normale Supérieure* и по-късно в *Ecole Polytechnique*, създадена от Наполеон Бонапарт.

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

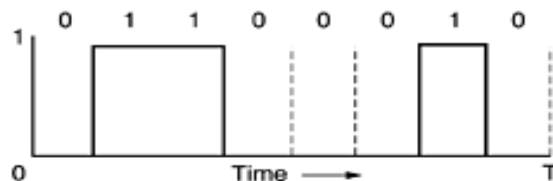
Да разгледаме примера:

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

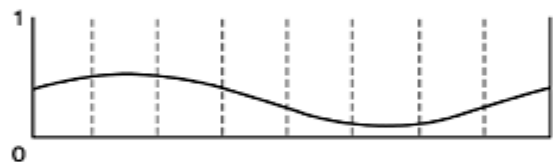
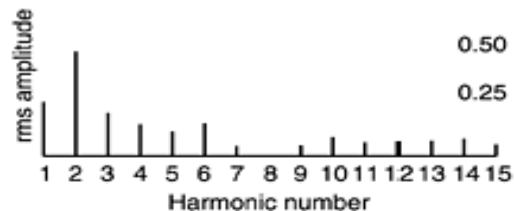
Илюстрация на Фуриеров синтез на периодична функция:

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

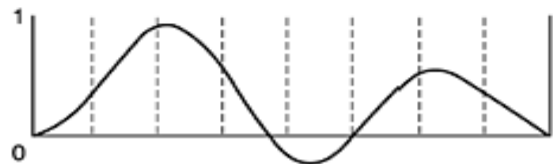
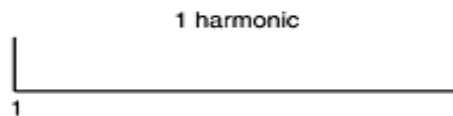
Буква b в ASCII код



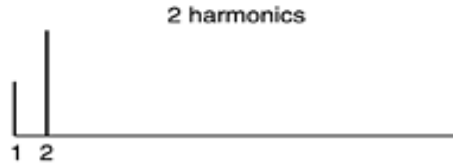
(a)



(b)

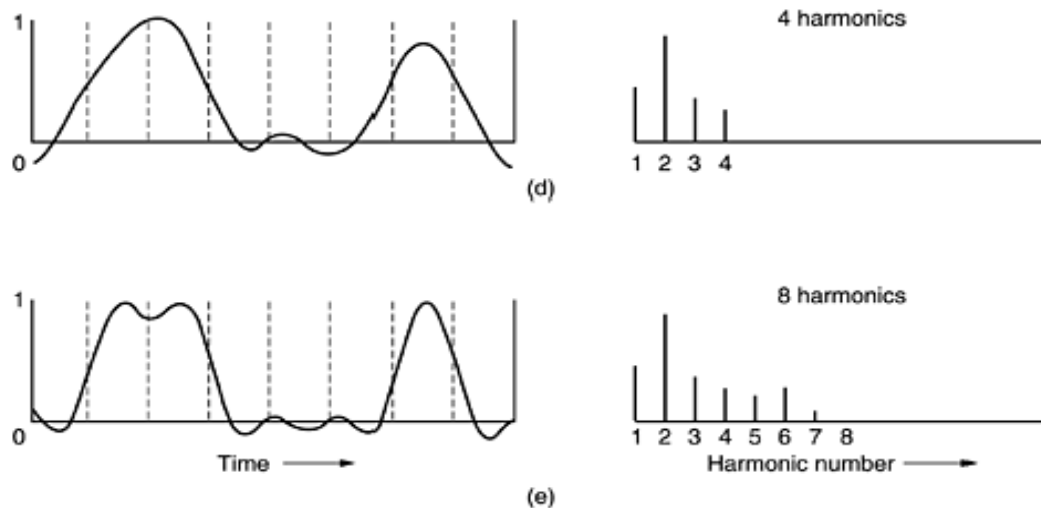


(c)



(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.

Амплитдите на 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 f_c която сигналът започва да 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.

Електромагнитни вълни и честотна лента

Сигналите (вкл. битовете – 0 и 1) се разпространяват като 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.

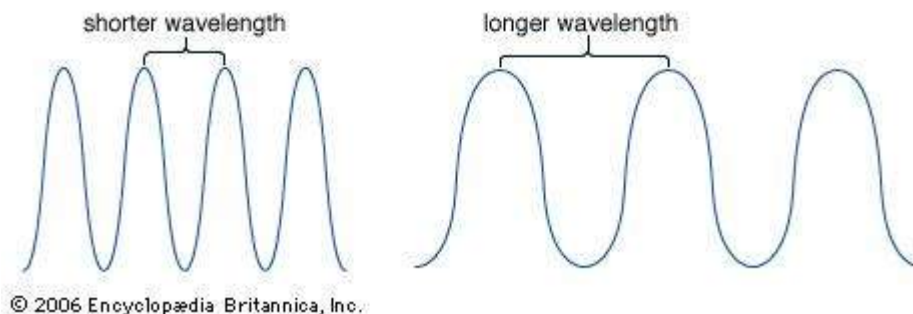
Връзката между честотата f и дължината на вълната λ се определя от формулата:

$$\lambda * f = C$$

ДЪЛЖИНА НА ВЪЛНАТА - λ

Дължина на вълната (λ) е физическа величина, показваща разстоянието между **съответстващи точки** от две последователни вълни.

Съответстващи точки са две точки, които са в една и съща фаза, т.е. точки, които са завършили идентични части от периодичното им движение.



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.

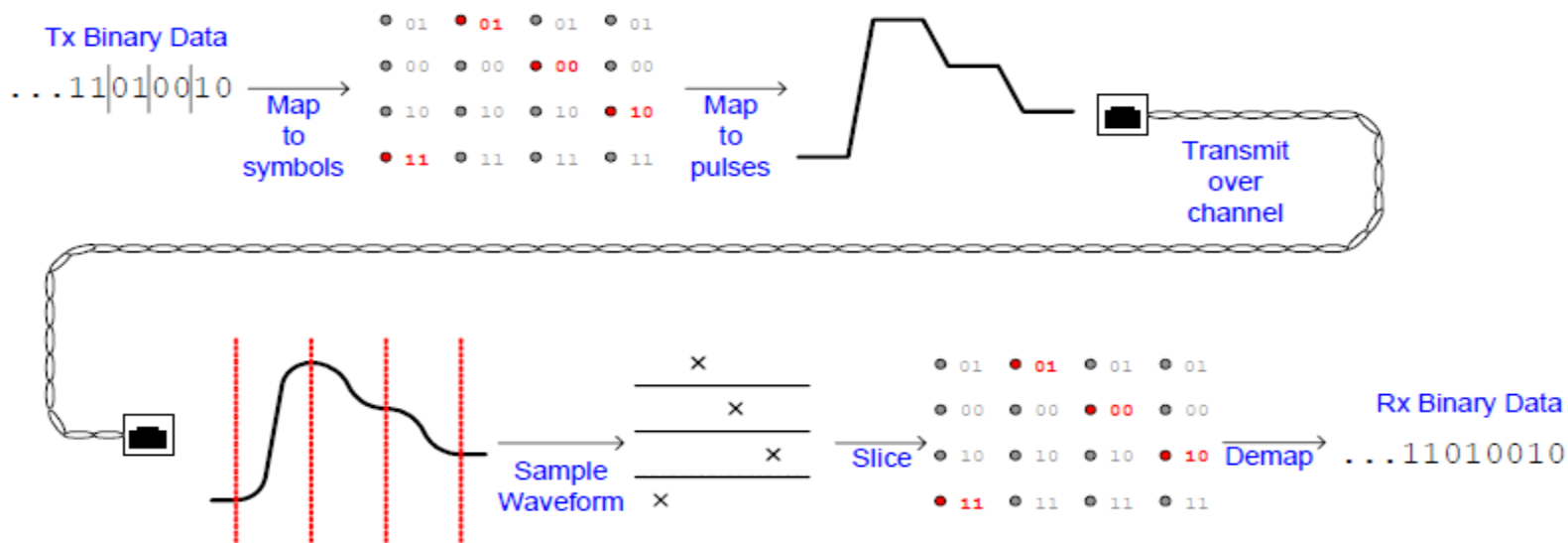
Например, оптичестото влакно (fiber optic – FO) е в **1.30 μm** обхват:
 $\lambda = 1.3 \times 10^{-6}$ и $\Delta\lambda = 0.17 \times 10^{-6}$, следователно: **$\Delta f \approx 30 \text{ THz}$** .

При 8 bits/Hz: 240 Tbps.

Спектърът на електромагнитните вълни е показан по-нататък, в слайдовете за безжичните комуникации.

Влияние на преносната среда.

Сигнали с много нива



“Размиване” (изкривяване) на сигнала.

Предавайки сигнали с много нива на напрежение, **кодираме групи от битове**, а не с две нива да се кодира един единствен бит.

$$bw \sim 1/\text{бр.нива}$$

На фигурата имаме **4 нива**, кодираме **два бита** на ниво.

Така по по един и същ кабел предаваме 10/100/1000 Mbps.

Понятия за мрежова производителност:

широчина на честотната лента, пропускателната способност и скоростта, латентността и забавянето.

Скорост (**Speed**): Скоростта на мрежата се измерва в битове за секунда - скоростта на трансфер на данни от сурса към дестинацията.

Широчината на честотната лента (**Bandwidth - bw**) е максималният обем от данни (капацитета на линията), които в идеалния случай могат да бъдат пренесени по мрежата (т.е. размерът на тръбата). Измерва се, както и скоростта, в битове за секунда (bits per second - **bps**, kilobits - **kbps**, megabits - **Mbps**, gigabits - **Gbps**, Terabits - **Tbps**, Petabits - **Pbps**).

Интернет доставчиците често спекулират, рекламирайки широчината на честотната лента.

По данни на TeleGeography bw на глобалния **internet** доближава един **петабит (1 Pbps)**. През 2022 е нараснала с 28%, достигайки **997Tbps**:

<https://www.capacitymedia.com/article/2amlvt4vjgru66ccltam8/news/global-internet-bandwidth-close-to-1pbps-in-2022-finds-telegeography>

Понятия за мрежова производителност (прод.)

bw ви показва теоретично колко данни могат да бъдат пренесени по мрежата, а **пропускателната способност (Throughput)** - колко данни са предадени от даден сорс в даден момент от времето. **Throughput** се измерва по същия начин като **bw**. Например, мрежата може да има **bw** 1 Gbps, но, в зависимост от обстоятелствата, **throughput** може да е само 500 Mbps, т.е мрежата ползва само половината от капацитета си.

Латентността (Latency) се измерва обикновено в **милисекунди (ms)** и отразява колко време е необходимо данните да достигнат до дестинацията и обратно. **latency** се измерва като **round-trip time** и включва времето, за което пакетът да достигне до възела-дестинация и да се върне обратно във възела-сурс.

Пропускателната способност и латентността са обратно пропорционални.

Понятия за мрежова производителност (прод.)

Латентността измерва **delay** (забавяне или закъснение), времето, което отнема на изпратеният пакет с данни да достигне до дестинацията.

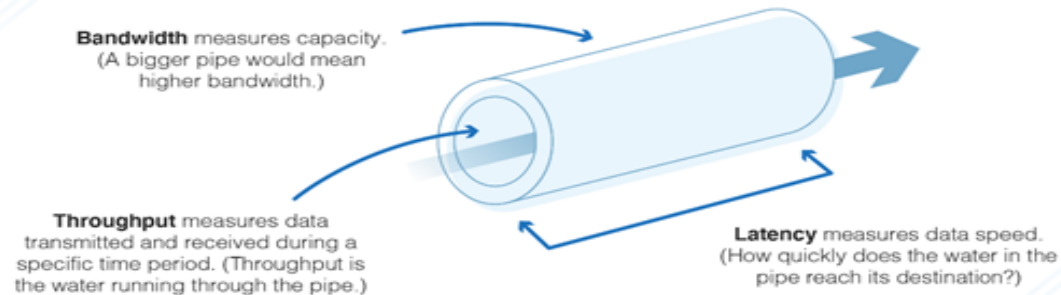
Фактори, които влияят на латентността и предизвикват закъснения в мрежите. Това е географската дистанция, броят на междинните възли (hops), задръстванията (Congestion), предизвикани от претоварване с данни на части от мрежата или отделни възли, по-дългите пакети са с по-висока латентност.

Означения на скоростите

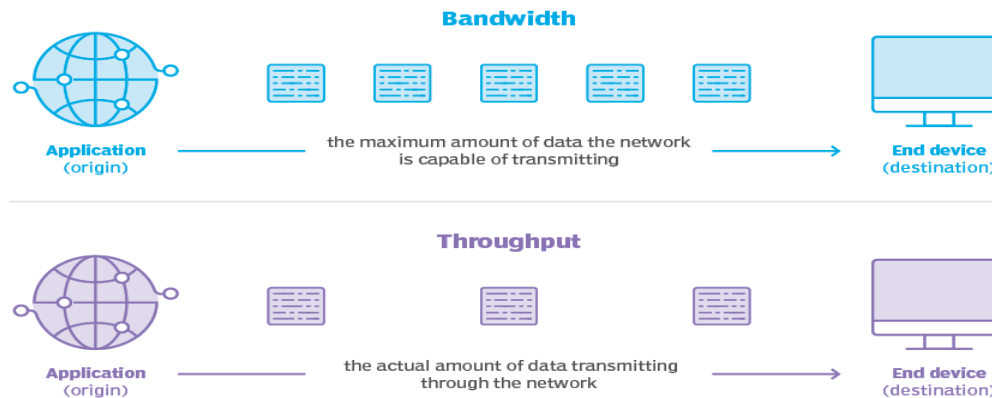
Наименование	Означение	Подразбираща се стойност	Съгласно SI стойността е
кило	K	$2^{10} = 1024$	$10^3 = 1000$
мега	M	$2^{20} = 1\,048\,576$	$10^6 = 1\,000\,000$
гига	G	$2^{30} = 1\,073\,741\,824$	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
тера	T	$2^{40} = 1\,099\,511\,627\,776$	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$
пета	P	$2^{50} = 1\,125\,899\,906\,842\,624$	$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$
екса	E	$2^{60} = 1\,152\,921\,504\,606\,846\,976$	$10^{18} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
сета	Z	$2^{70} = 1\,180\,591\,620\,717\,411\,303\,424$	$10^{21} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
йота	Y	$2^{80} = 1\,208\,925\,819\,614\,629\,174\,706\,176$	$10^{24} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$

Latency vs. Throughput vs. Bandwidth

Network Latency vs. Throughput vs. Bandwidth



Bandwidth vs. throughput



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)

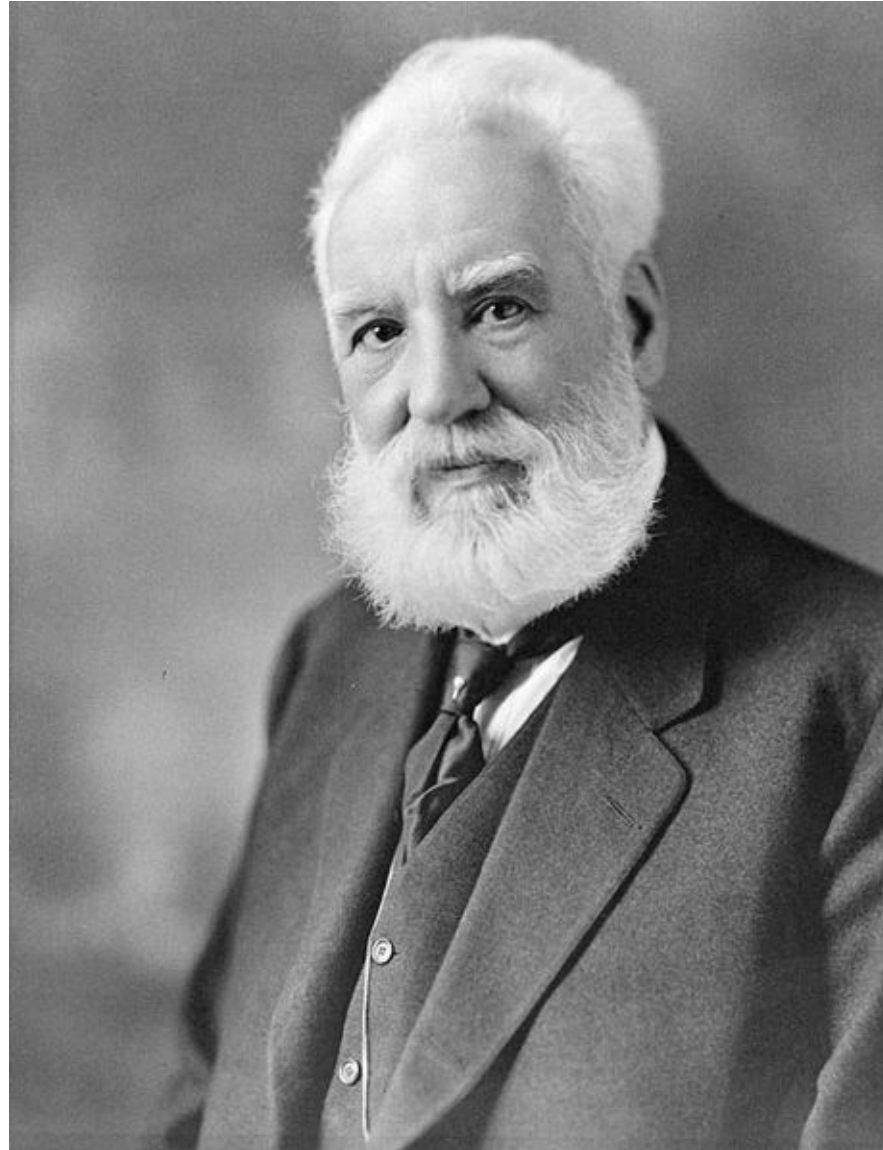
При кабелите тип “усукана двойка” (Twisted Pair) два проводника (прав и обратен) са усукани така, че да се **анулира** или **подтисне** електромагнитната интерференция (electromagnetic interference - **EMI**) на външни източници:

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

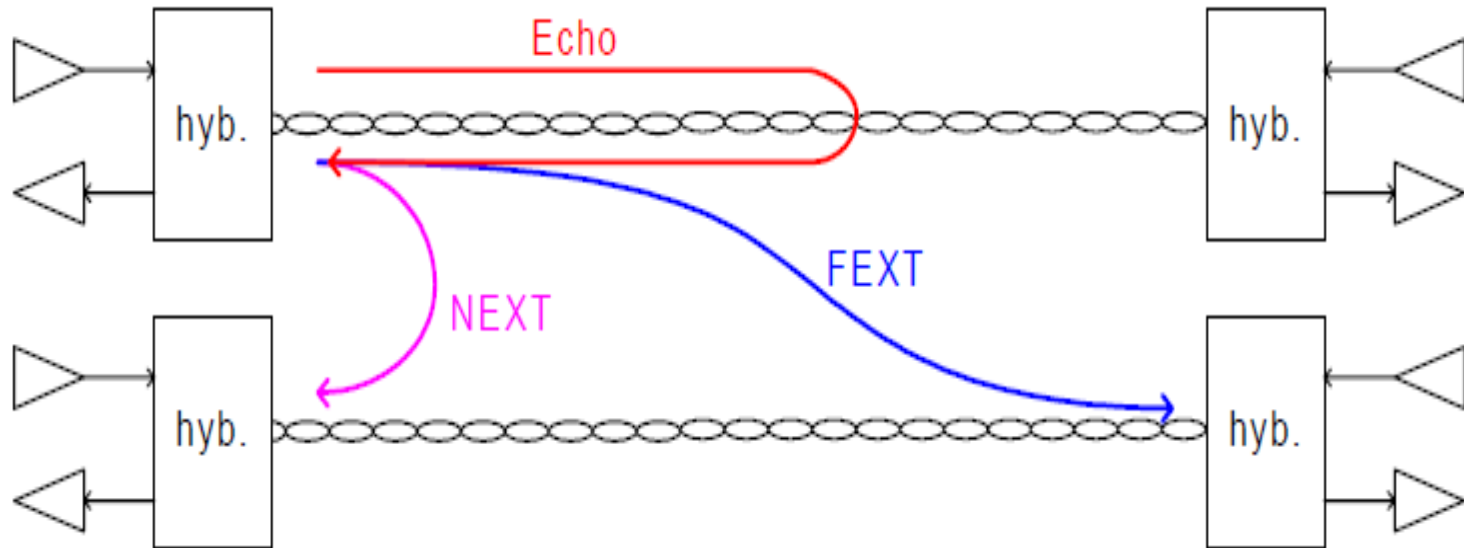
Изобретен от **Alexander Graham Bell** и патентован с **US patent 244,426 Telephone-circuit** (1881).

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.

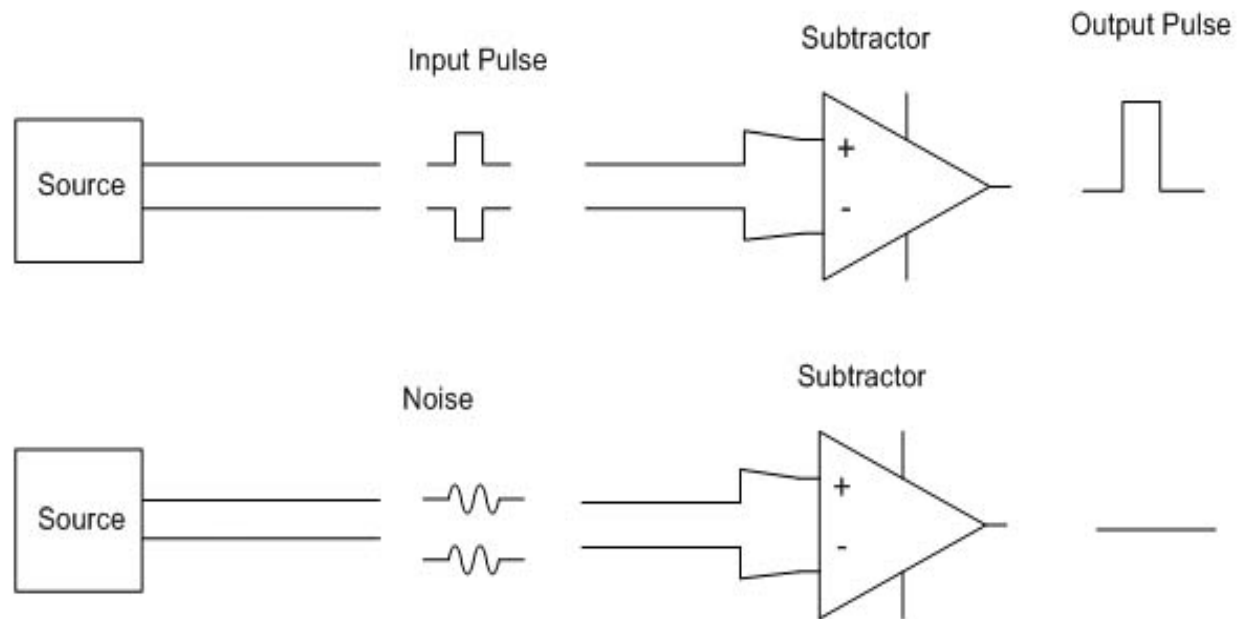
В крайната точка се приема разликата между двата:

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

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

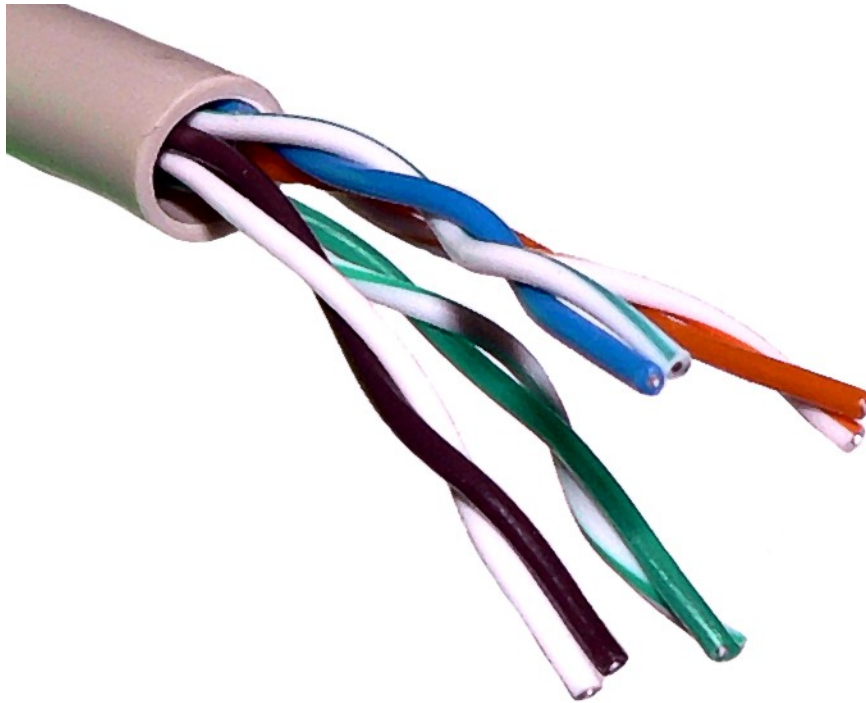
$$N - N = 0$$

Диф. режим. Схема.

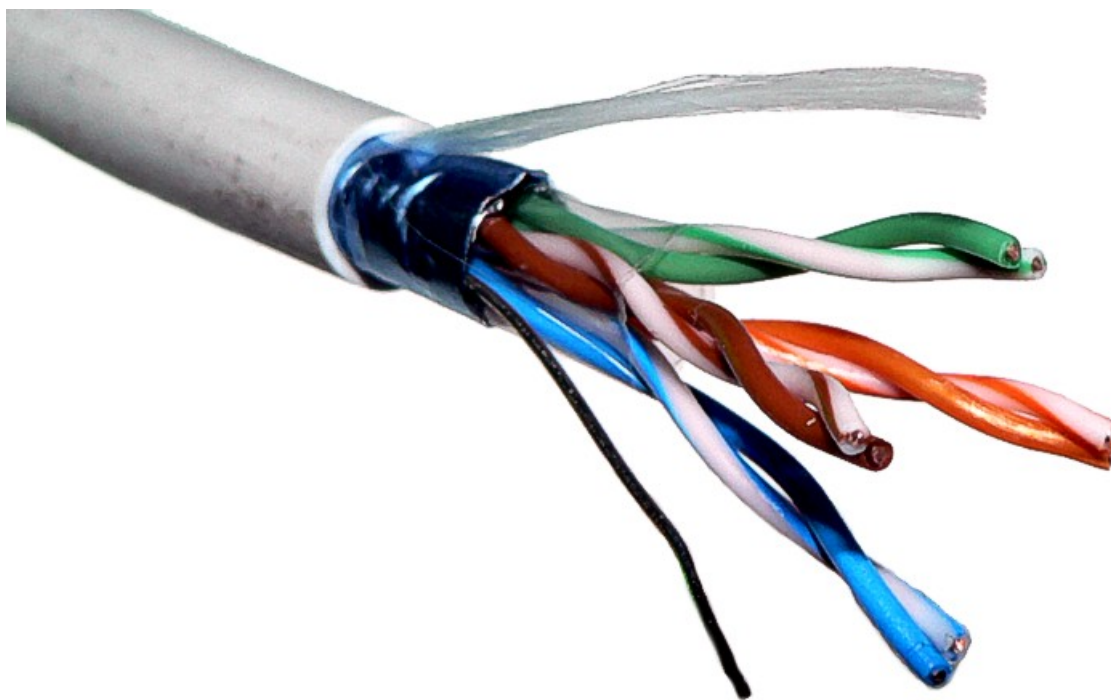


Unshielded twisted pair (UTP)

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



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

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

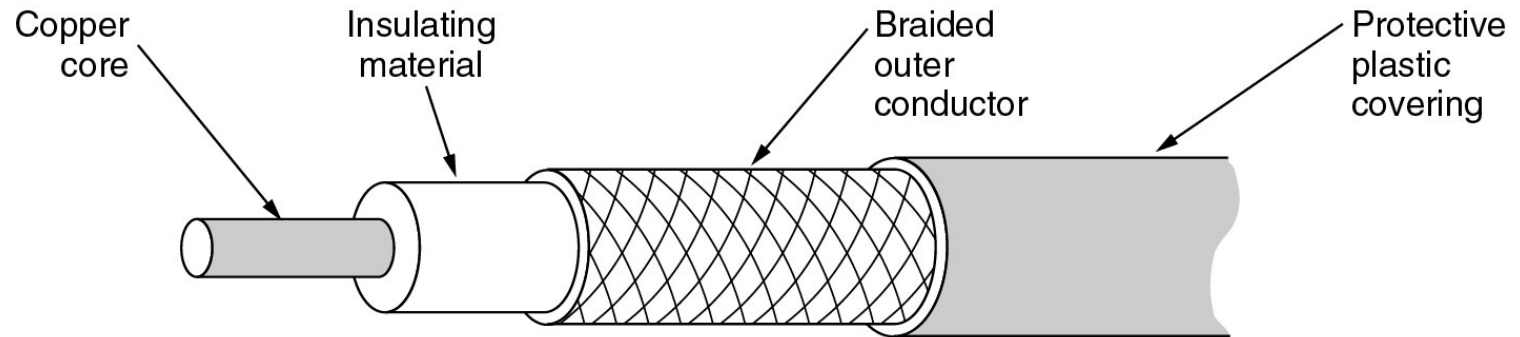


Although the standards have not been finalized, it is important for data center managers and suppliers to have a good sense of what Category 8 will look like, and how it will affect the data center infrastructure.

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.



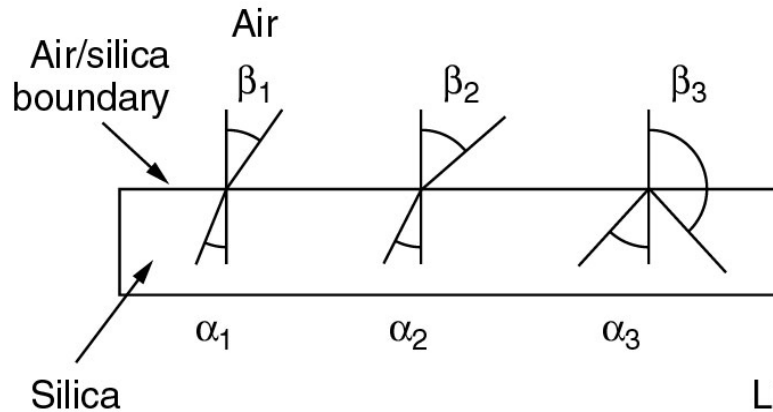
Една оптическа комуникационна система (Fiber Optics – FO):

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

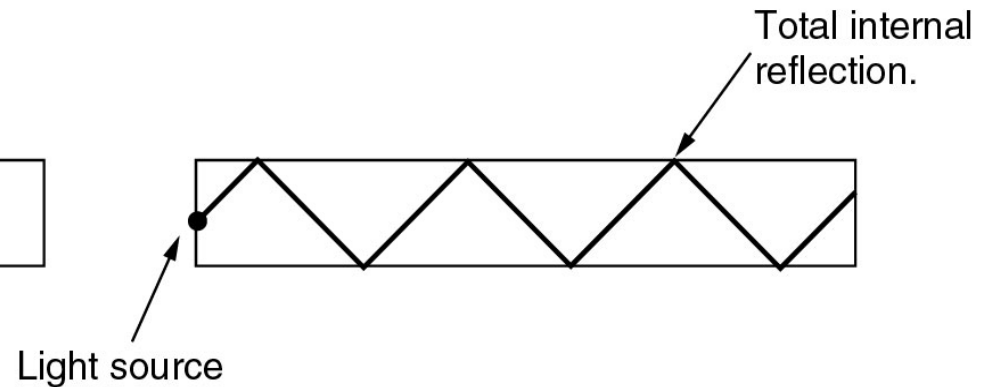
Един светлинен импулс (“лог. 1”), отсъствие (“лог. 0”)

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

Влакнестоптически кабели (Fiber Optics)



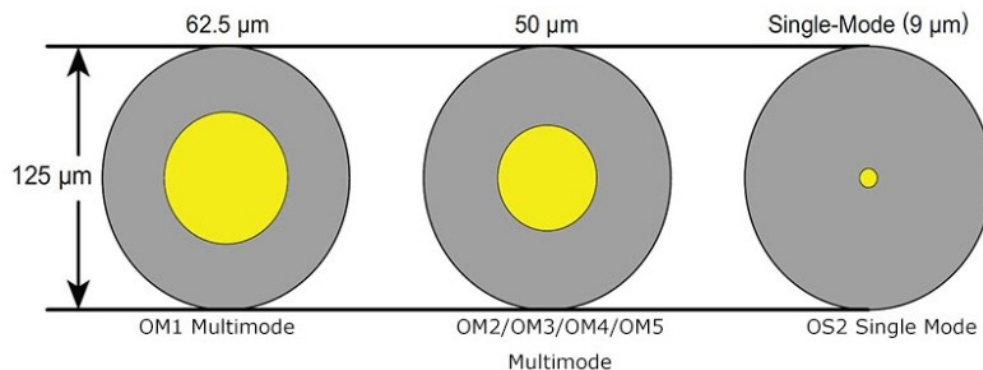
(a)



(b)

- (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).

Видове оптически влакна

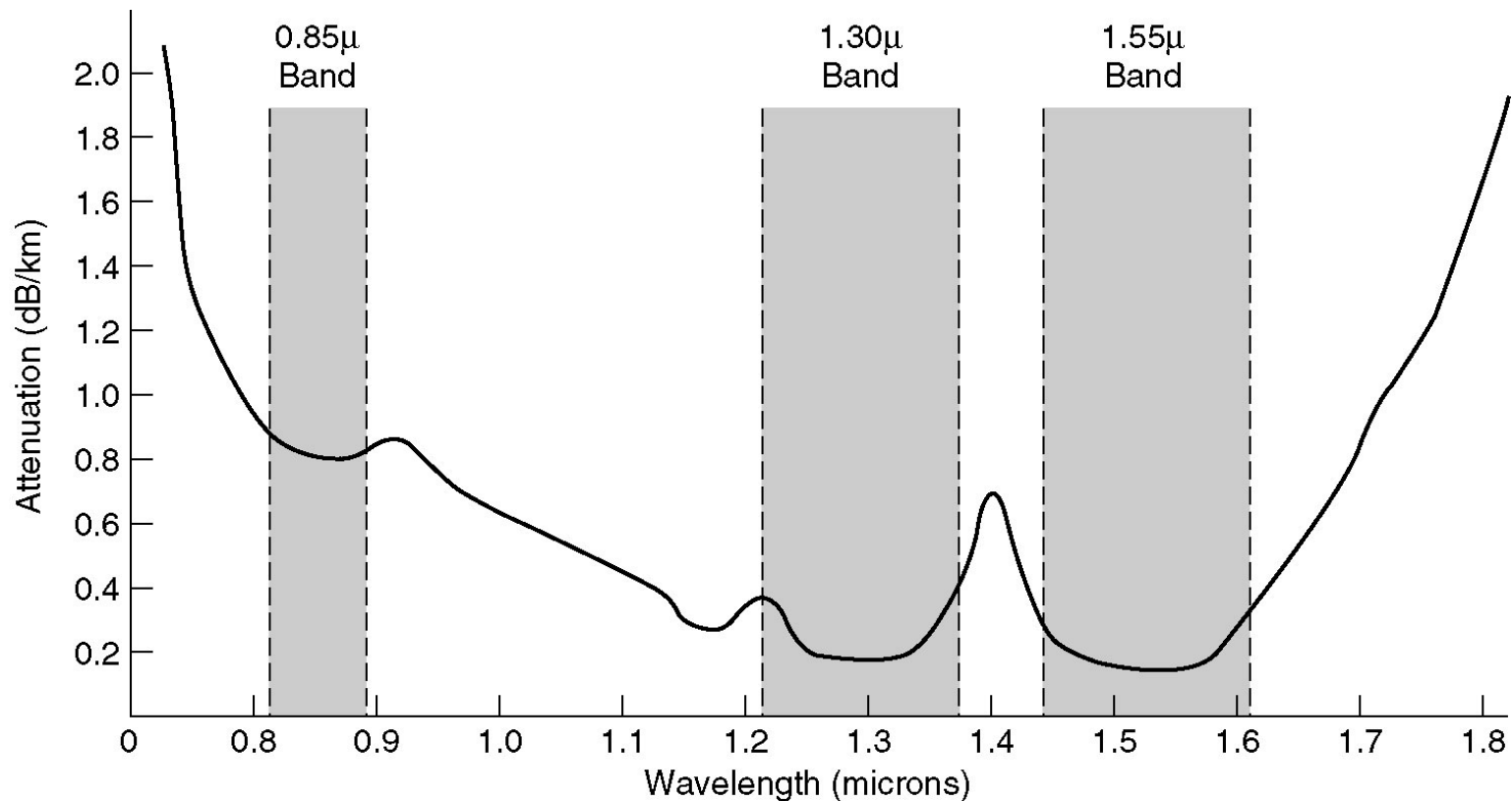


При многомодовите (multi-mode – **MM**) оптически влакна светлинните лъчи (модове) са разпръснати по многобройни пътища и са подходящи за по-къси линии.

По едномодово (single-mode – **SM**) оптическо влакно се разпространява един единствен лъч (мод). Използва се за високоскоростно предаване на данни на дълги разстояния.

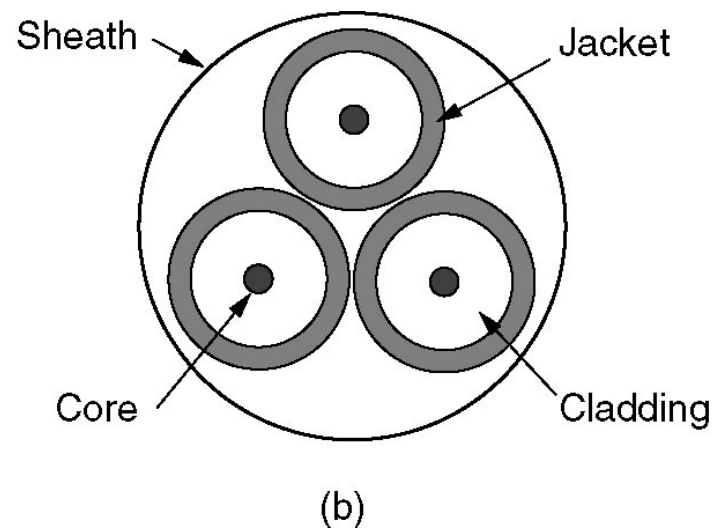
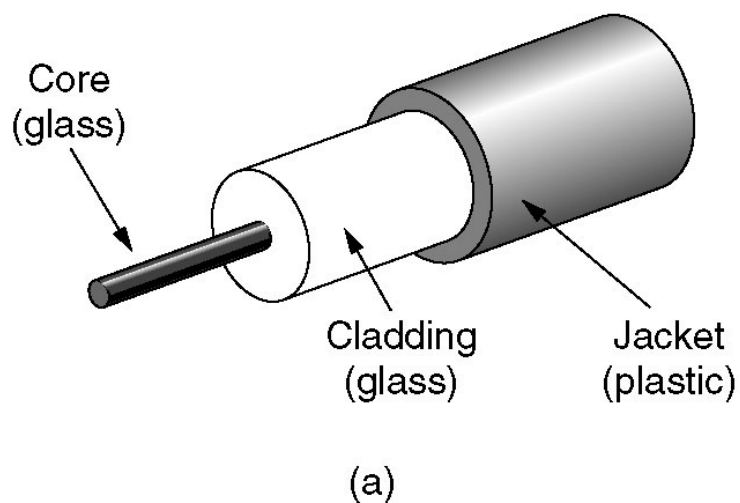
Основно предимство: не се влияе от външни шумове (ЕМИ, влага и др.)

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**.

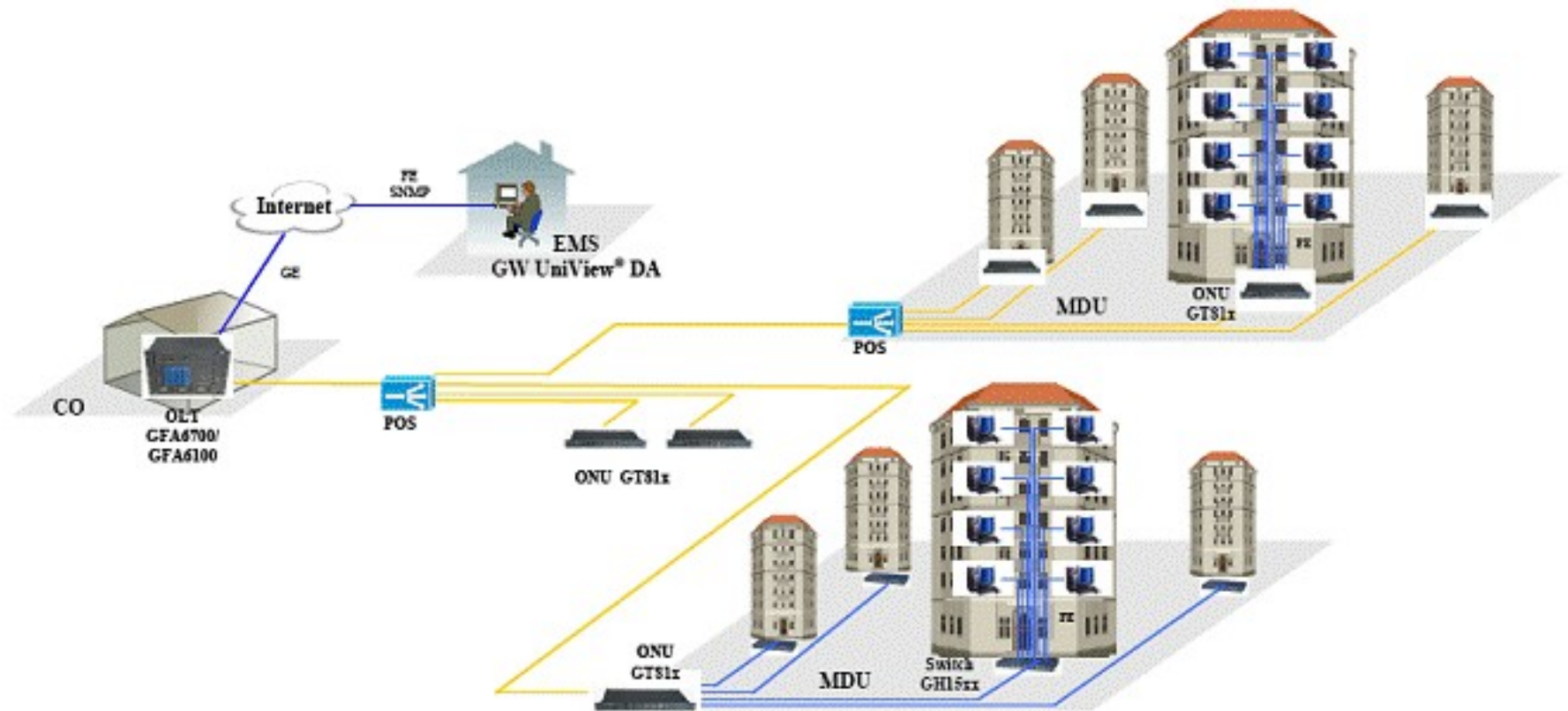
Пасивни сплитери, прилагащи “**ъгъла на Brewster**”, позволяват едно влакно да обслужва 32-128 крайни точки.

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

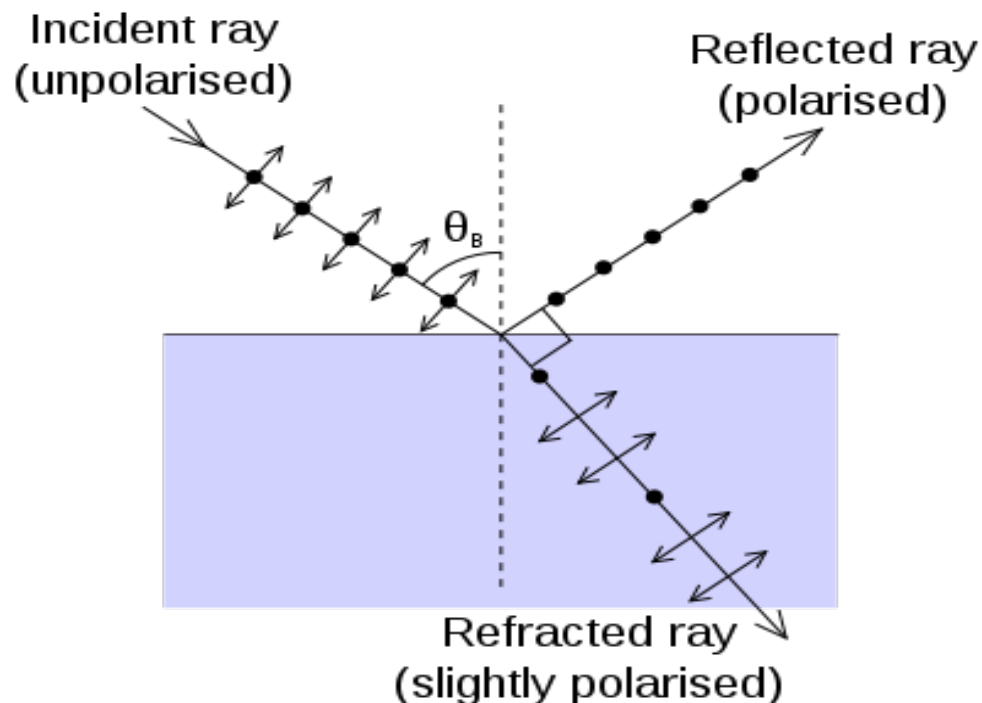


Passive optical network

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** .

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**).

Wavelength Division Multiplexing (WDM)

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

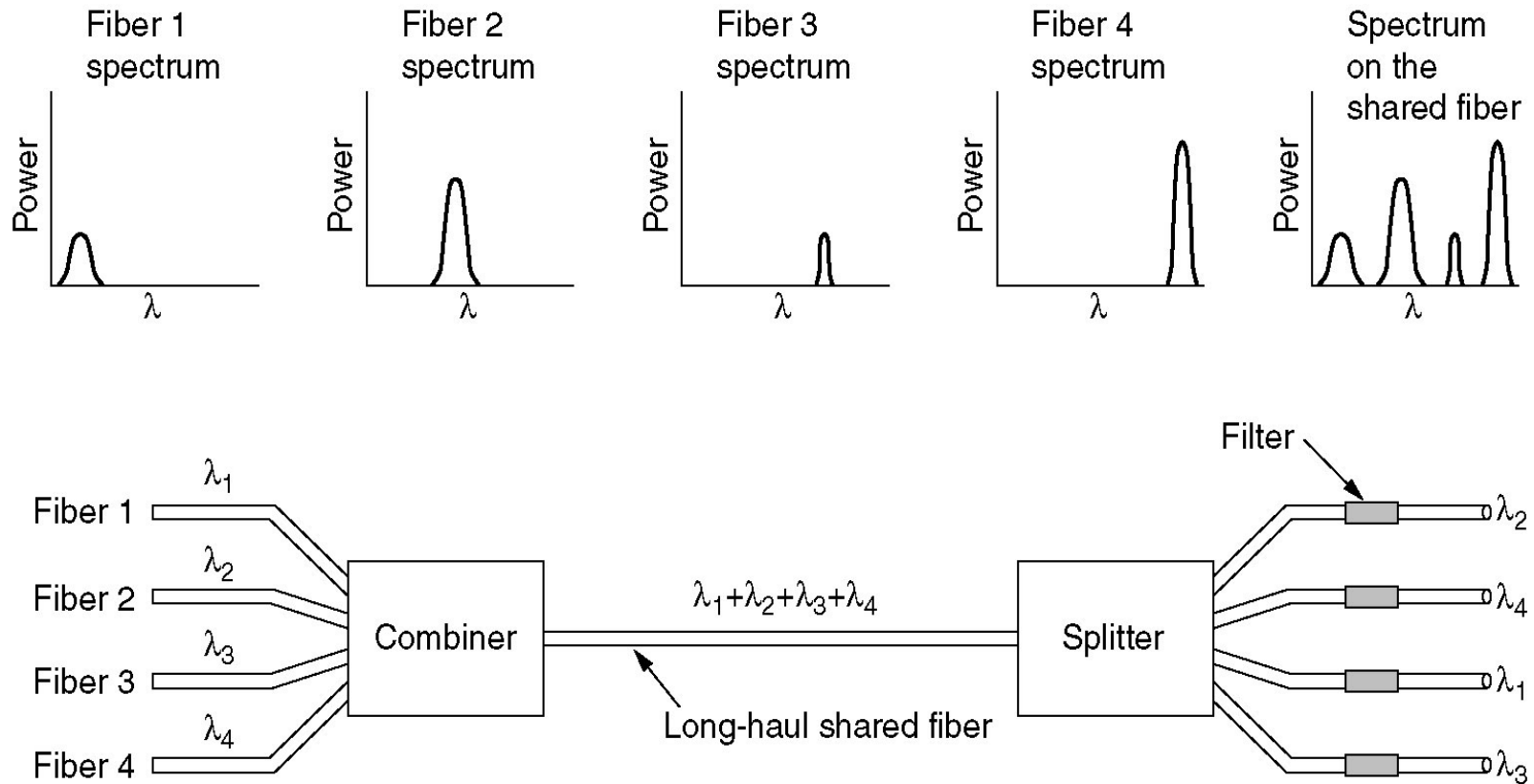
На фигурата по-долу лъчи от 4 влакна, всяко с различна λ постъпват в призма или дифракционна решетка.

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).

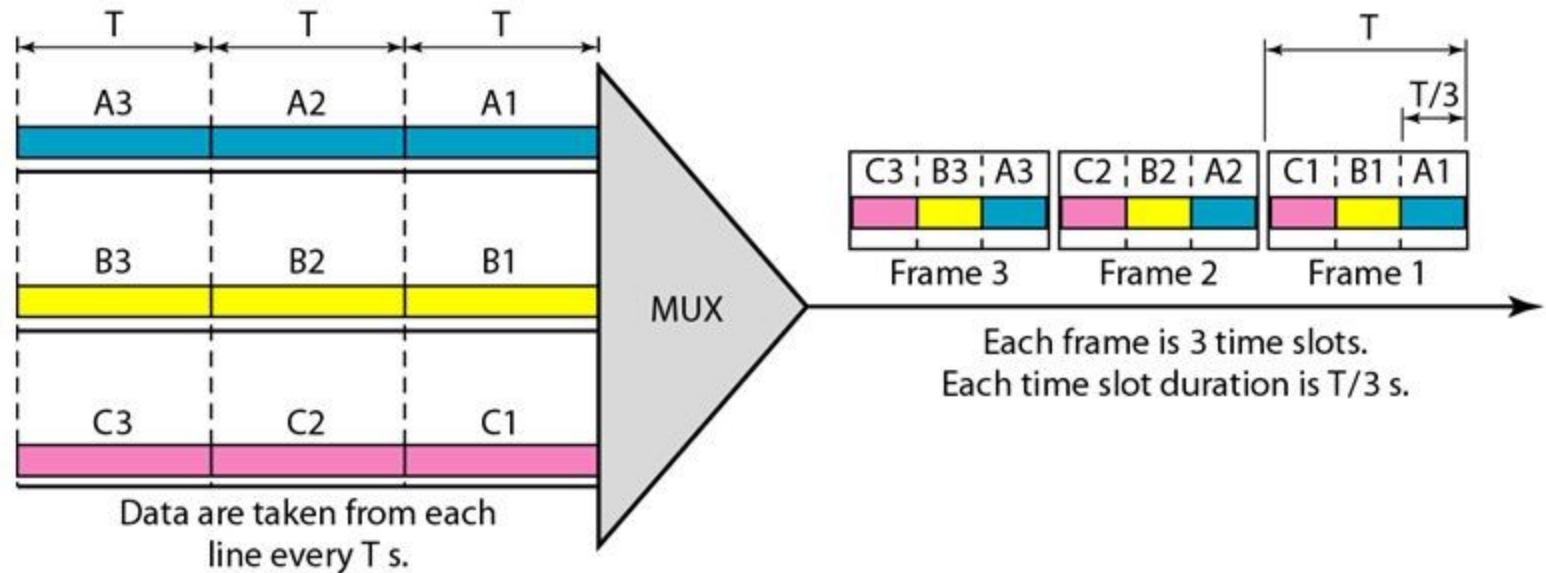
Wavelength Division Multiplexing



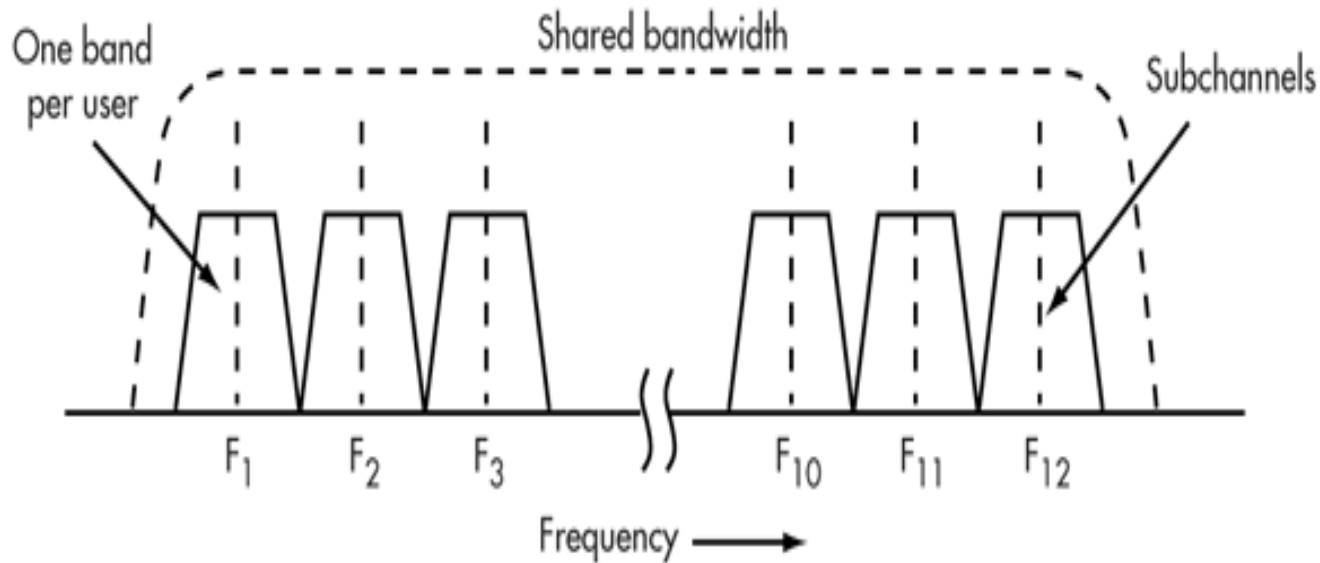
$\Delta f / \text{влакно} \approx 25000 \text{GHz}$. Т.е мултиплексират се огромен брой канали на големи разстояния.

Time Division Multiple Access (TDMA)

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



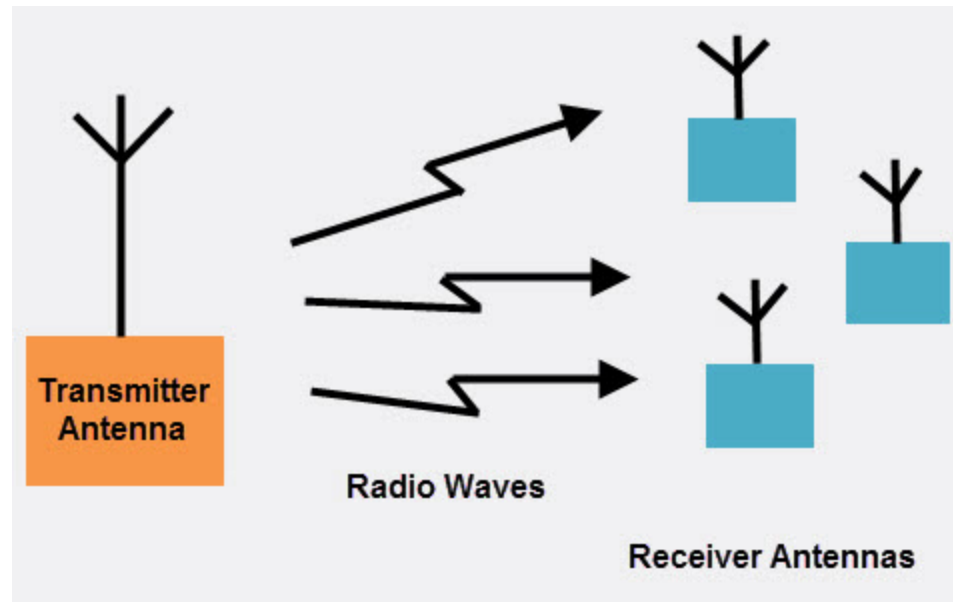
Frequency Division Multiple Access (FDMA)



FDMA алокира един или повече честотни обхвата (канални) на всеки потребител.

Заб. MA (Multiple Access) е технология за достъп на каналния слой, докато **Multiplexing** се отнася към физическия слой.

Безжични комуникации (Wireless Communication)



Безжични комуникации

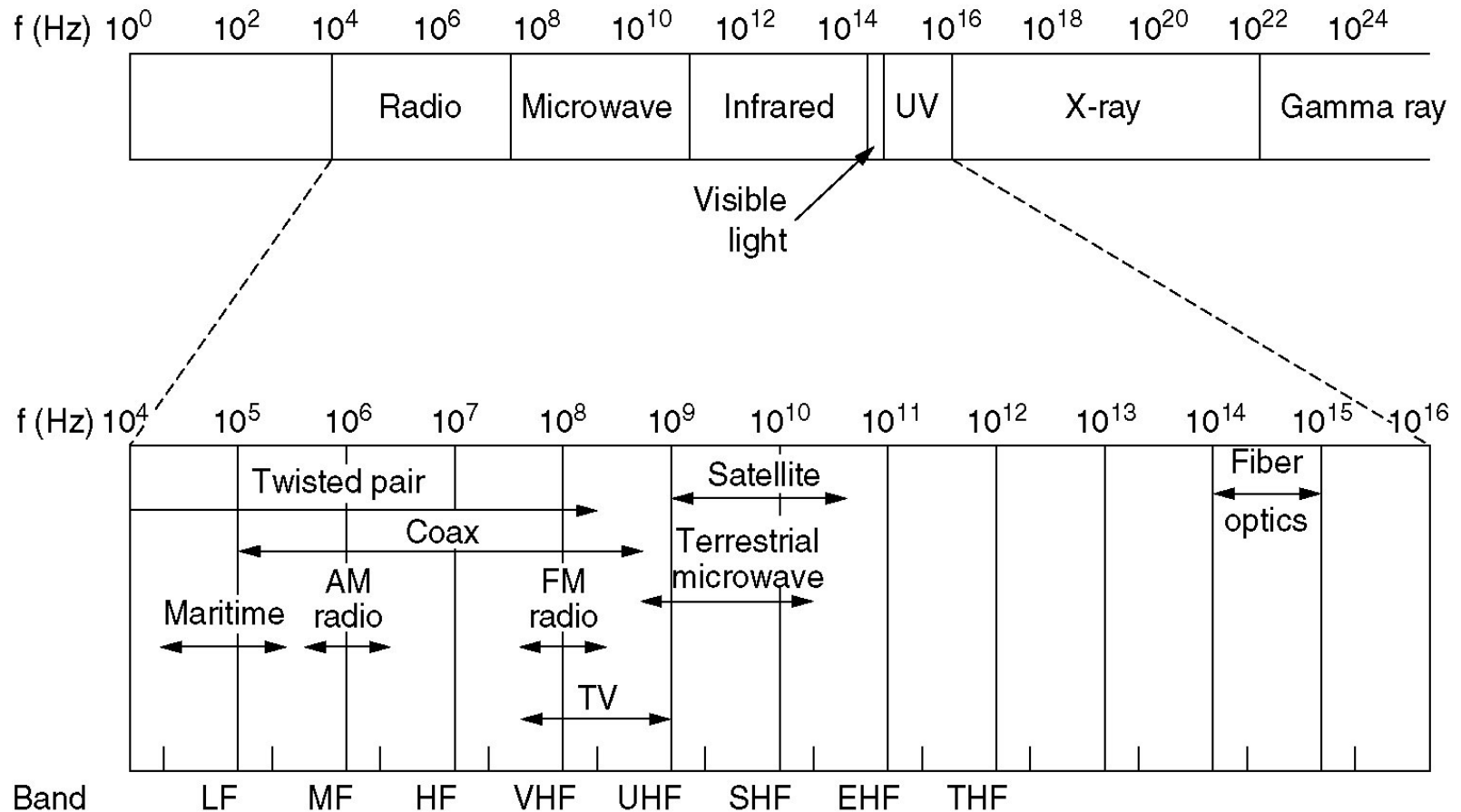
Бъдещето принадлежи на оптическите (външно окабеляване и вертикално в сгради) и безжичните (LAN – домашни и корпоративни) комуникации.

Основно предимство – нулеви разходи за преносна среда.

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

Покриваното разстояние зависи от честота, релеф, атмосферни условия.

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.

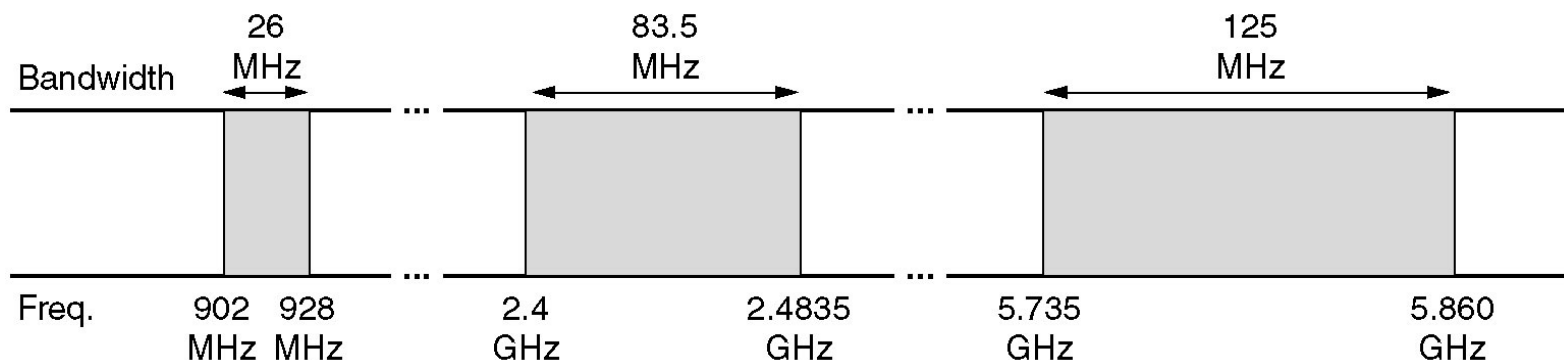
Всяка страна си има такава организация:

FCC (Federal Communication Commission) в САЩ;

КРС (Комисия за регулиране на съобщенията) у нас.

Имаме си “**Национален план за разпределение на радиочестотния спектър**” (<https://crc.bg/bg/rubriki/192/radiochestoten-spektyr>)

Нелицензирани обхвати



Честотни 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

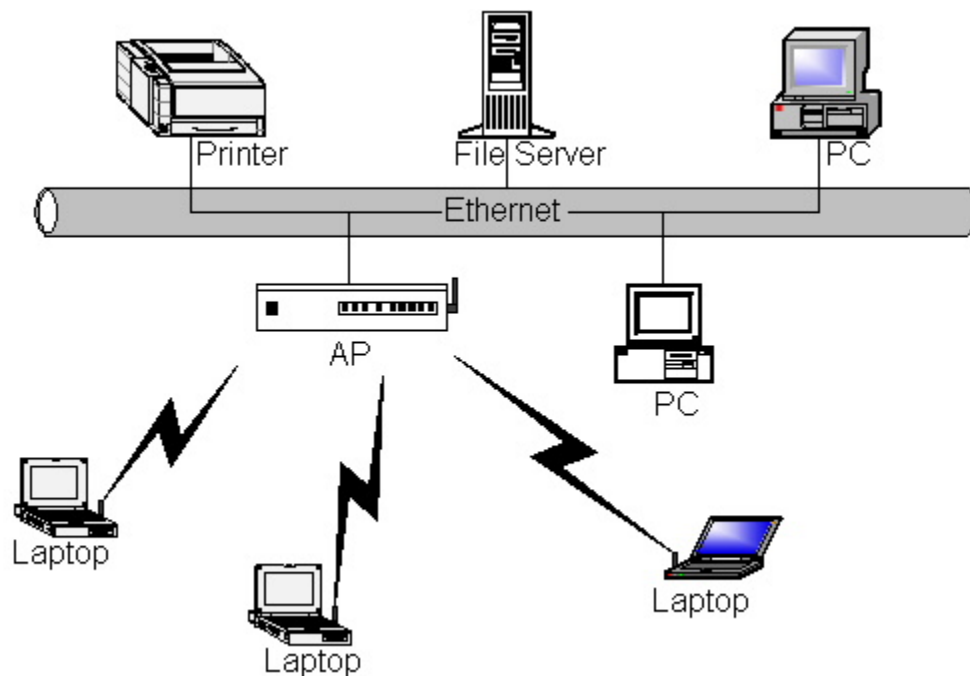
Wireless local area network (**WLAN**): популярна като **WiFi** (стандарти на работна група **IEEE 802.11**).

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

IEEE 802.11 стандарти

802.11 Wireless Standards					
IEEE Standard	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac
Year Adopted	1999	1999	2003	2009	2014
Frequency	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4/5 GHz	5 GHz
Max. Data Rate	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps	1 Gbps
Typical Range Indoors*	100 ft.	100 ft.	125 ft.	225 ft.	90 ft.
Typical Range Outdoors*	400 ft.	450 ft.	450 ft.	825 ft.	1,000 ft.

Безжична локална мрежа (WLAN)



Wi-Fi версии:

Wi-Fi 1: 802.11b (1999)

Wi-Fi 2: 802.11a (1999)

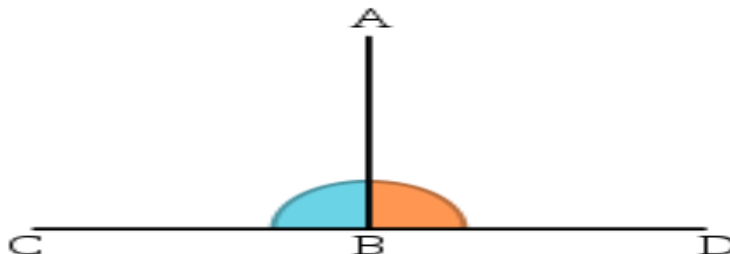
Wi-Fi 3: 802.11g (2003)

Wi-Fi 4: 802.11n (2009)

Wi-Fi 5: 802.11ac (2014)

Wi-Fi 6: 802.11ax (2018)

Ортогоналността...



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**.

... И ВИСОКИТЕ СКОРОСТИ В БЕЗЖИЧНИ И др. среди...

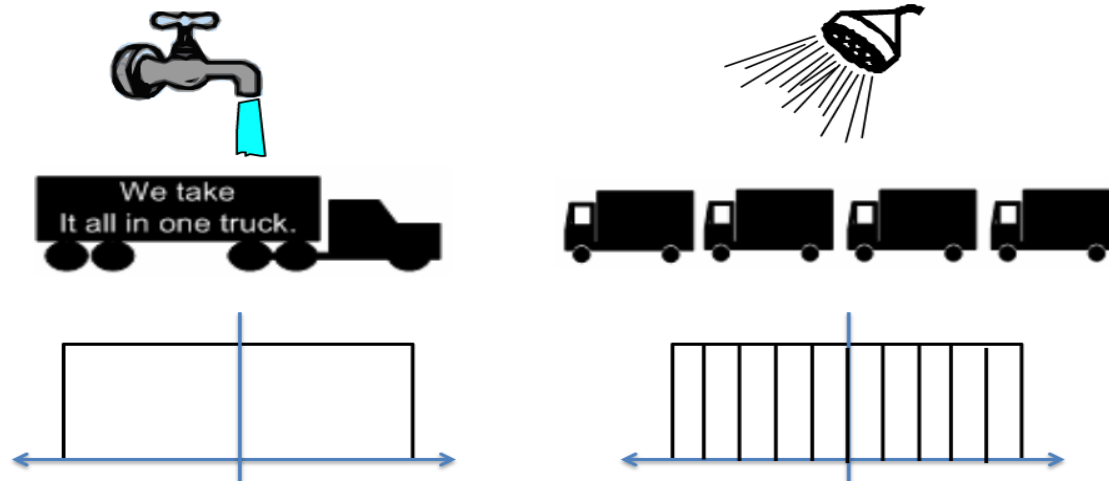
В Цифрова ТВ, ADSL, WiFi, WiMAX, комуникациите по електрозахранващи мрежи прилагат по-нетрадиционни идеи:

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

- Излъчваният поток от битове се разделя на **субпоточи** и 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.

...OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing)



(ляво) Използвате **цялата** честотна лента, за да изпратите данните.

(дясно) Изпращате данните на малки порции едновременно с помощта на множество **ортогонални подканални**.

Те 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.

MIMO-OFDM

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

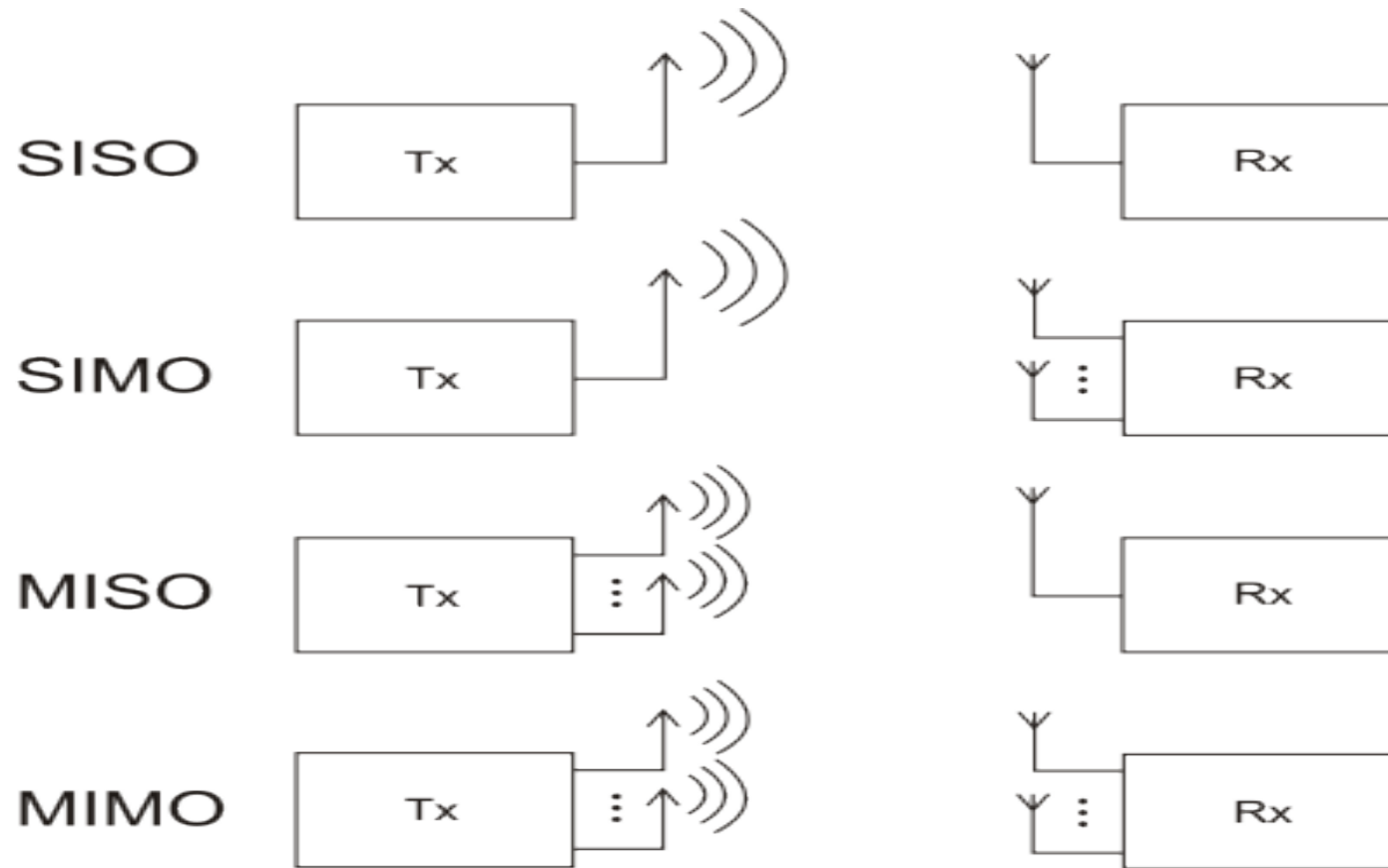
Използва **множество антени** за едновременно предаване на данни на малки порции.

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

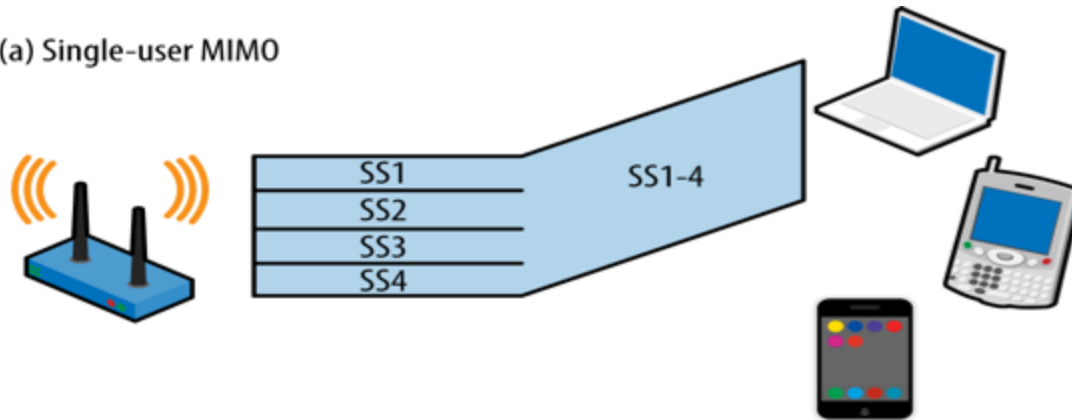


Прилага се и при [802.11n](#), [802.11ac/ad](#) и [802.16e](#) (WiMAX).

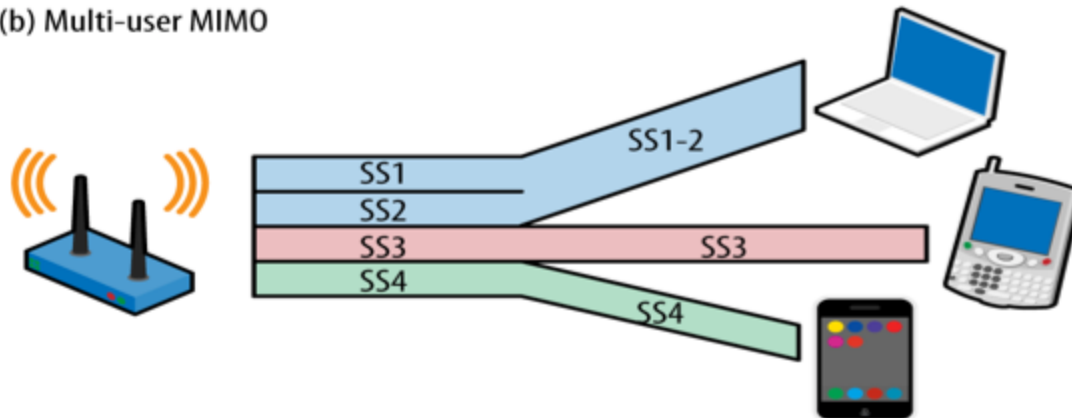
Прилага се във варианти SU (single-user) и MU (multi-user).

SU-MIMO и MU-MIMO

(a) Single-user MIMO



(b) Multi-user MIMO



Gigabit Wi-Fi: 802.11ac, ad, etc.

IEEE 802.11ac (**5G Wi-Fi**) е предвиден е за **5 GHz** обхват. Поддържа скорости **до 1.3 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.

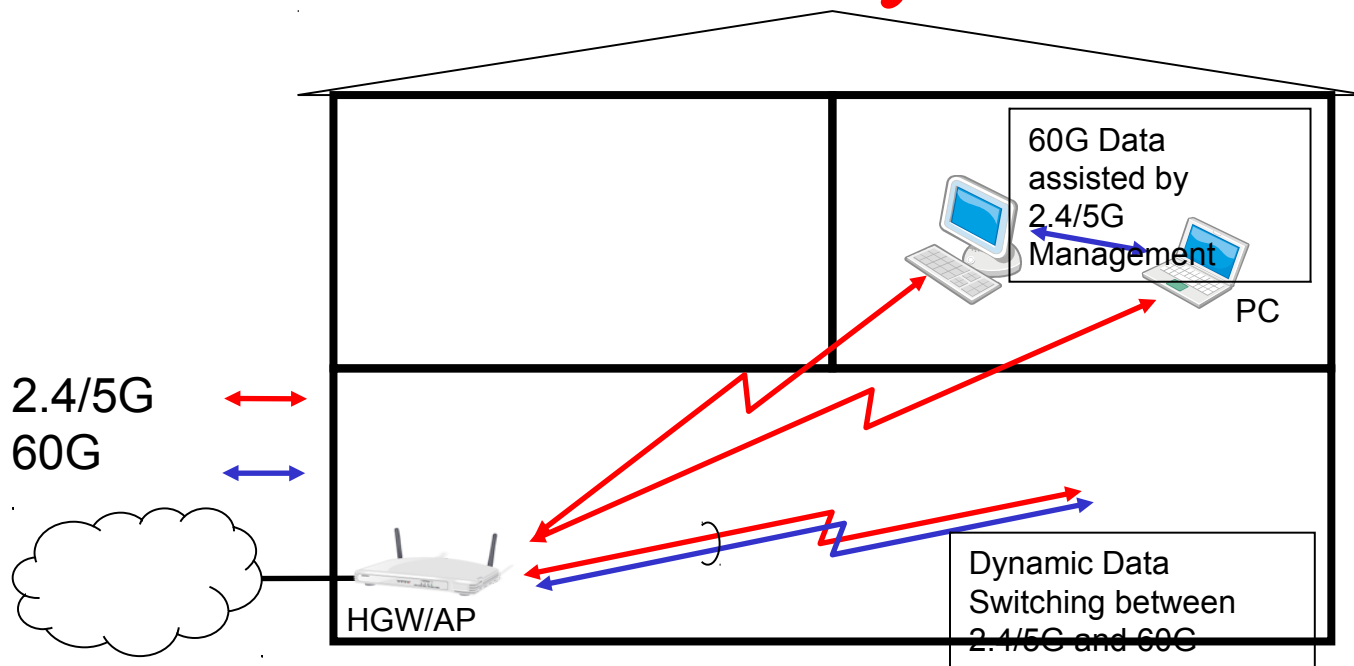
2018 г. - 802.11ac Wave 2, в бъдеще - 802.11ax

Wave 2 предстои да бъде сертифициран от IEEE. Новата технология е **MU-MIMO**.

Позволява да се създадат устройства за достъп (**access point – AP**), които “говорят” с множество клиентски устройства едновременно. Преди това **SU-MIMO** APs обслужваха потоците последователно.

802.11ac ще бъде наследен от **802.11ax**. Ключова технология при него е **OFDMA** (orthogonal frequency-division multiple access). Освен че множество клиентски устройства споделят едно и също AP (като 802.11ac), но и един и същ Wi-Fi канал по едно и също време.

Gigabit Wi-Fi: 802.11ad. Подобрение - 802.11ay.



802.11ad - 60 GHz обхат. По-малко покритие (отразява се от стени и хора), но “почист” ефир. Скорост около 7 Gbps, широка приложимост – от file transfer до HD Video.

802.11ay - подобрение на 802.11ad, трябва да вдигне скоростта в пъти - до 20-30 Gbps в радиус 10-30 m. С някои “хватки” - 11ay-to-11ay, сливане на канали, MIMO и др., може да стигне 200 Gbps на 300 m. Забравяте за жичния Етернет.

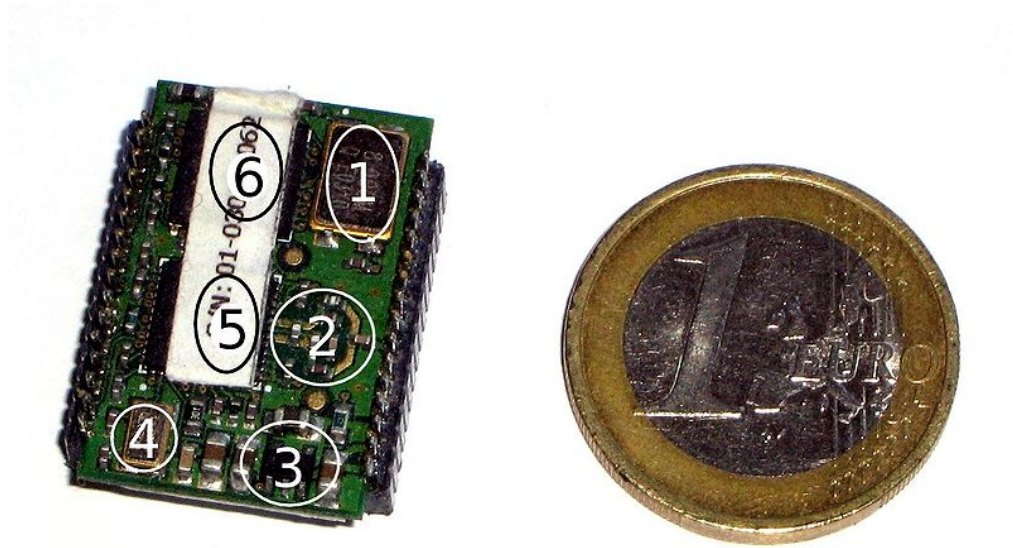
IEEE 802.15. Bluetooth, и др. към Internet of Things (IoT)

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 handsfree устройство



ZigBee



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

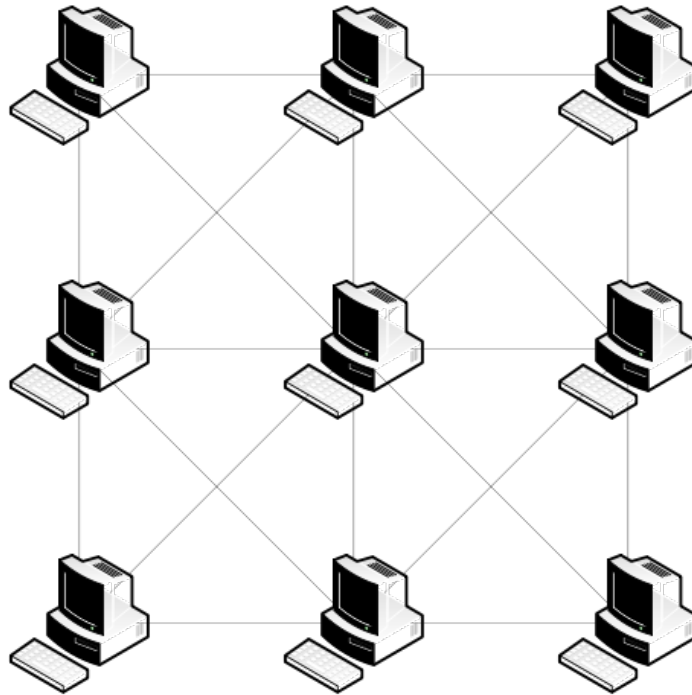
6LoWPAN

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).

Поколения мобилни комуникации

4G – 4-то поколение клетъчни безжични 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 стационарен.

4G: LTE

- **LTE Advanced** (Long-term-evolution Advanced) не покрива изискванията на ITU за 4G скорост 1 Gbps (само до 600 Mbps).
- Но ITU допусна да се нарича 4G технология, защото дава над двойно увеличение на скоростта спрямо 3G.



5G



- 10-ки Mbps за 10-ки хиляди потребители
- 100 Mbps в градска среда
- по 1 Gbps за всеки работещ в офис среда
- няколко хиляди едновременно връзки с безжични сензори

5G

- A- Gbps скорости в движение и по-висока интелигентност;
- B- MIMO;
- C- интелигентни 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.**

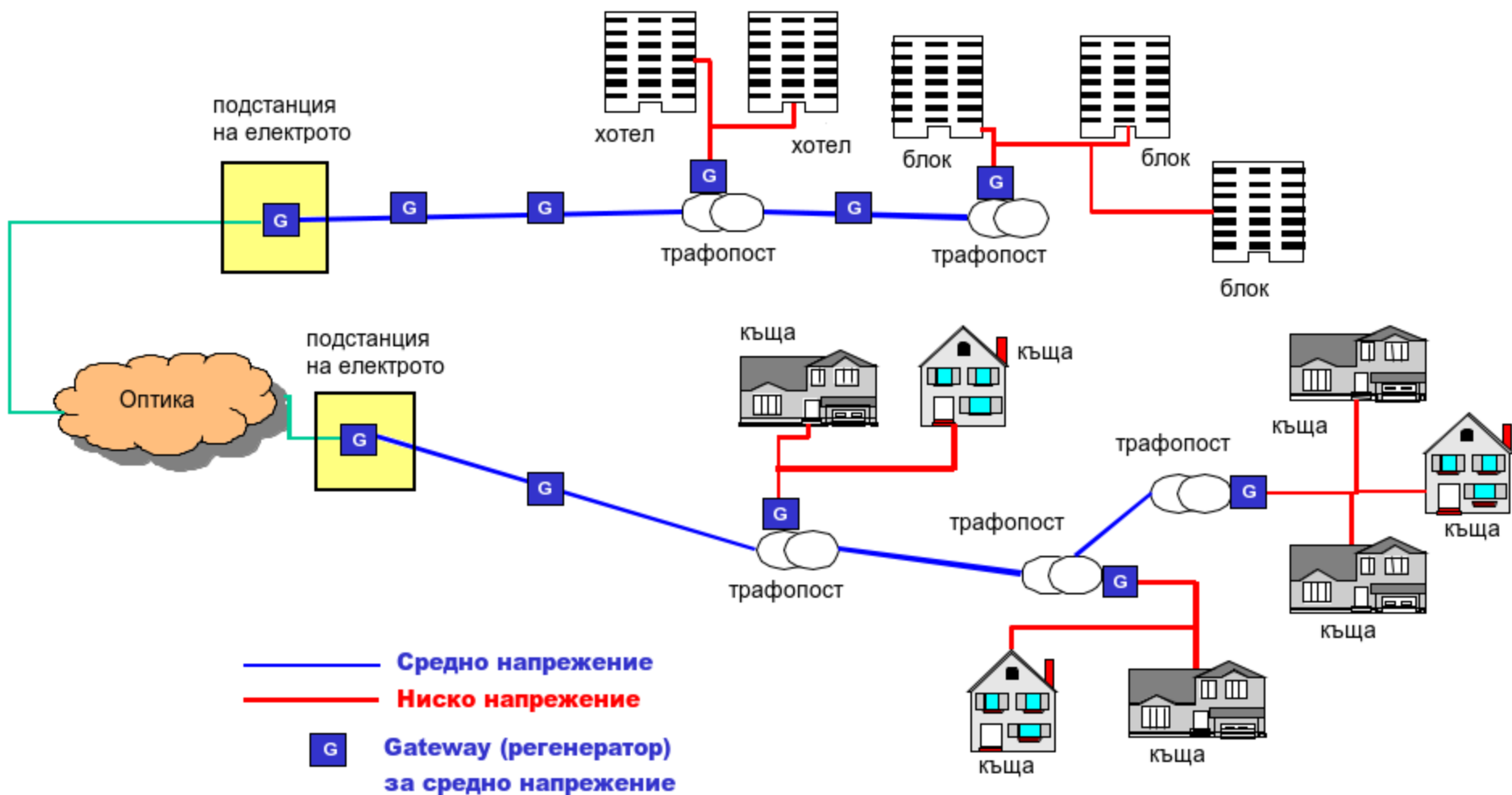
Power Line Communications

Power Line Communication (PLC) е частен случай на безжична технология. Данните се предават по електрозахранващата мрежа.

Прилага OFDM модулация, което позволява 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 **трафопостовете**.

От трафопоста започва **клиентската част** на мрежата.

В контактите на крайния клиент се слагат адаптери.

Примерно крайно устройство

- до 200 Mbit/s.

HomePlug AV2 – Gbit/s
скорости;

Wi-Fi Alliance и HomePlug
Powerline Alliance в
колаборация за **Connected
Smart Home**.

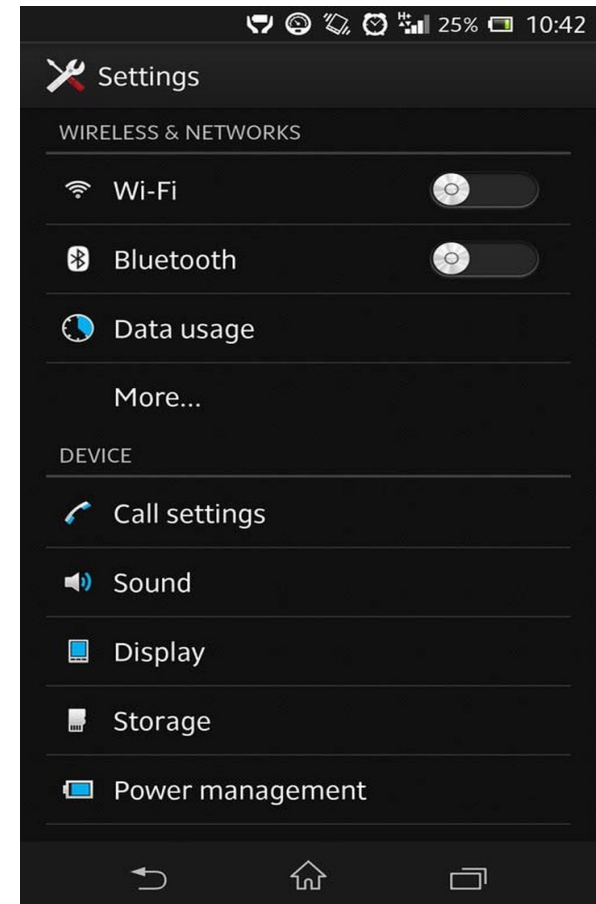
IEEE 1901-2010 е Broadband
over Power Line (BPL)
стандарт. На физически
слой достига **500 Mbit/s**.



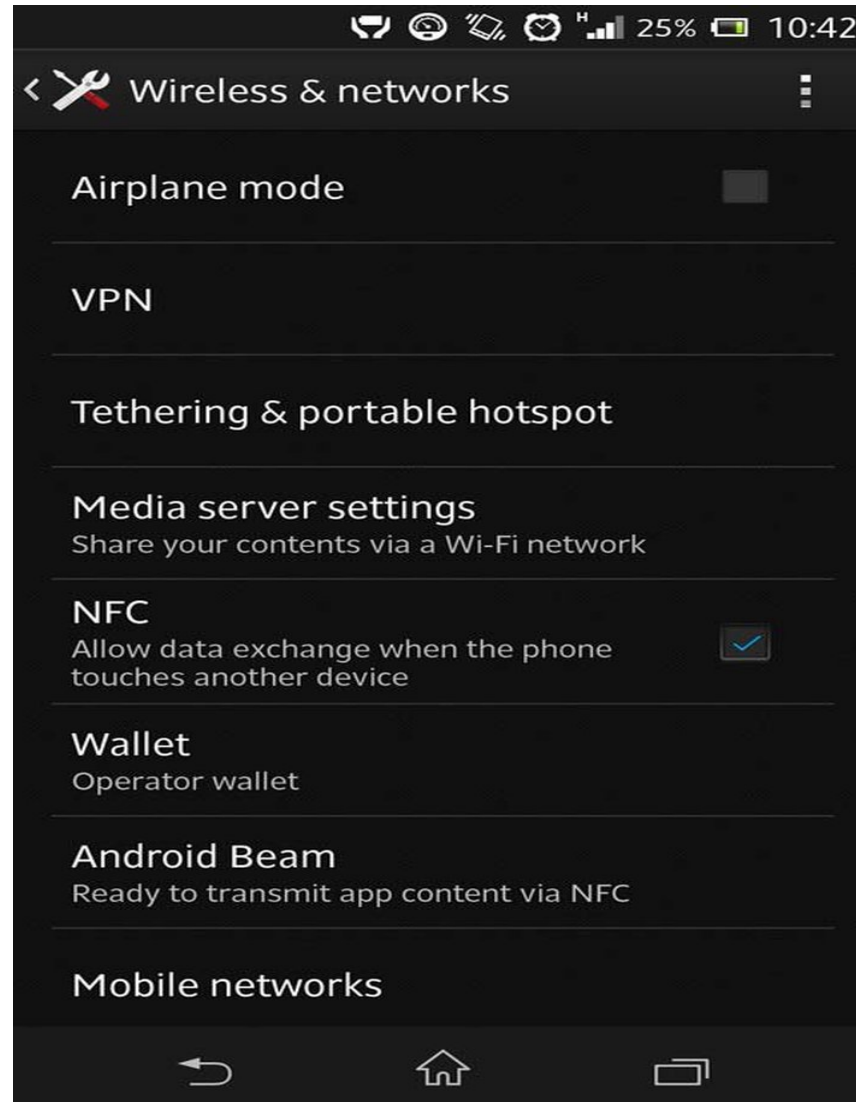
Android телефон - Wi-Fi hotspot (за сведение)

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

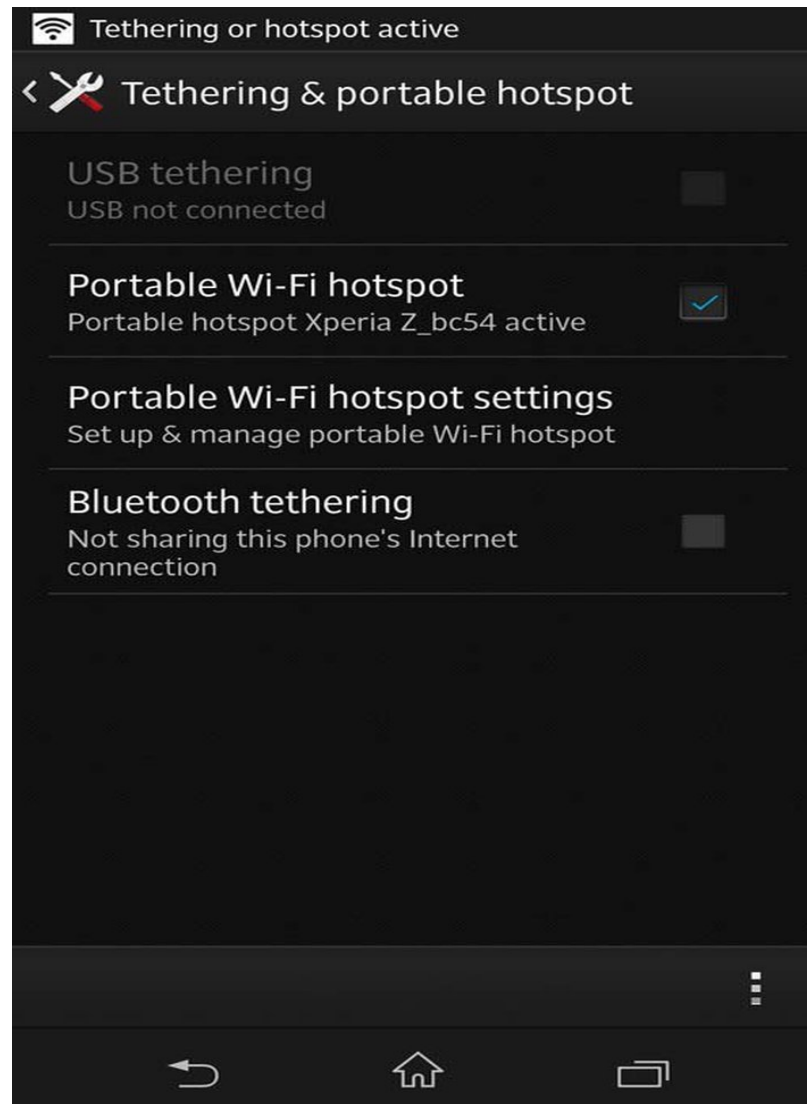
1. Изберете меню
Settings



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:

