

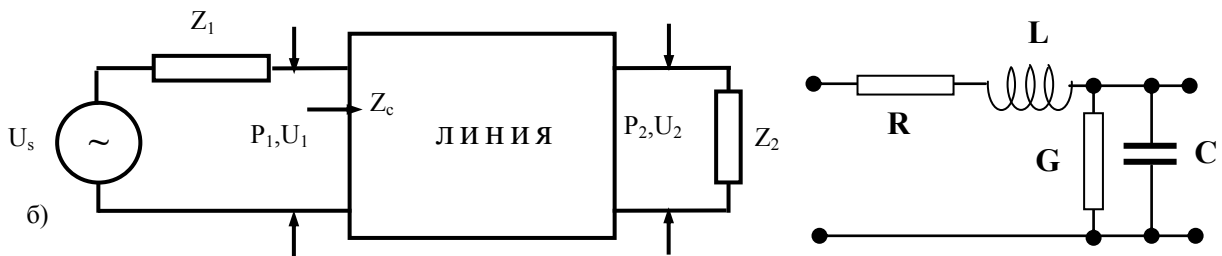
ТЕМА 3 ПРЕНОСНИ СИСТЕМИ. МЕТАЛНИ И ОПТИЧНИ КАБЕЛИ – ТИПОВЕ КОНСТРУКЦИИ, ПАРАМЕТРИ. БЕЗЖИЧНИ ПРЕНОСНИ СРЕДИ.

1. Общи сведения, видове

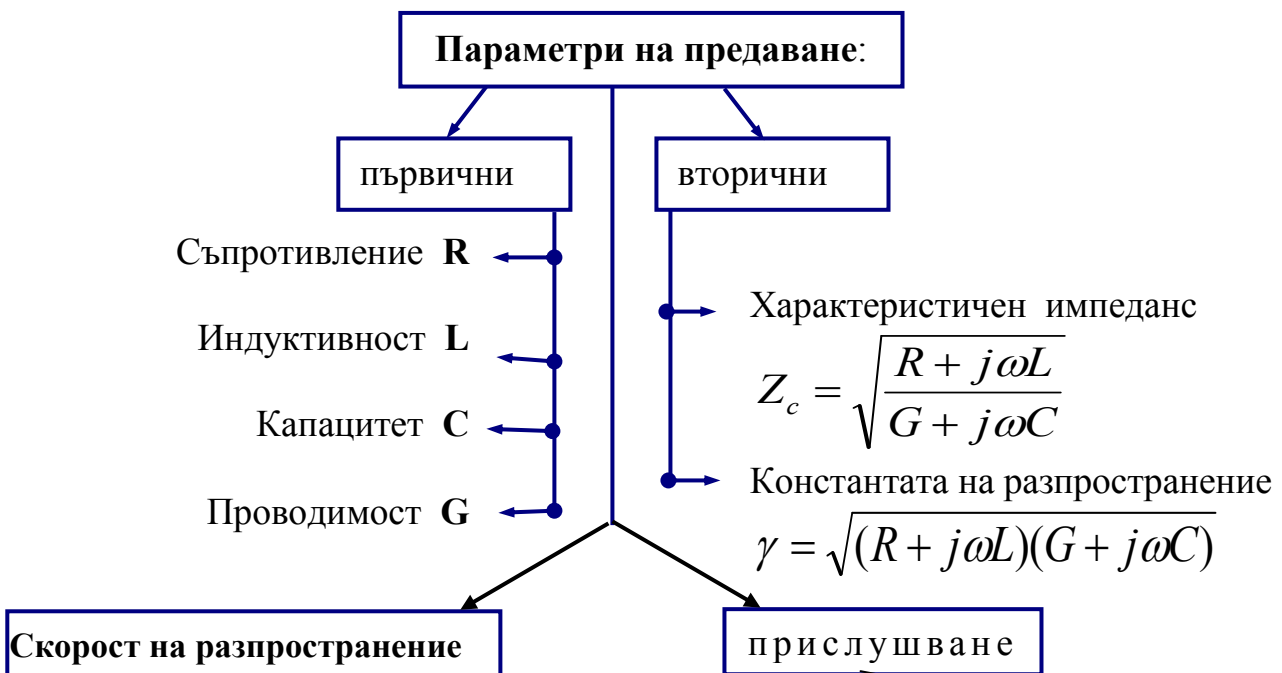
- прекъснати, непрекъснати
- метални, оптични, ефир
- хомогенни вериги (линии с разпределени параметри)
- разпространение на електромагнитните вълни

2. Линии с метални проводници

⇒ **Евивалентна схема**

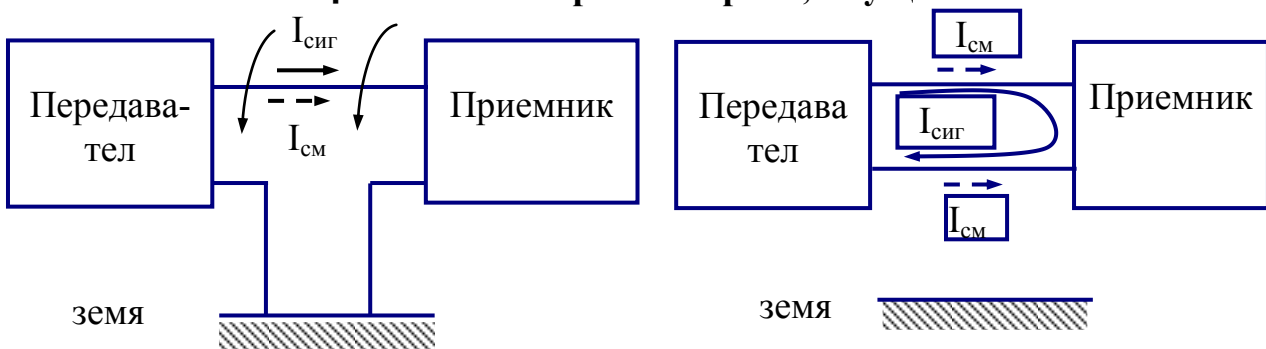


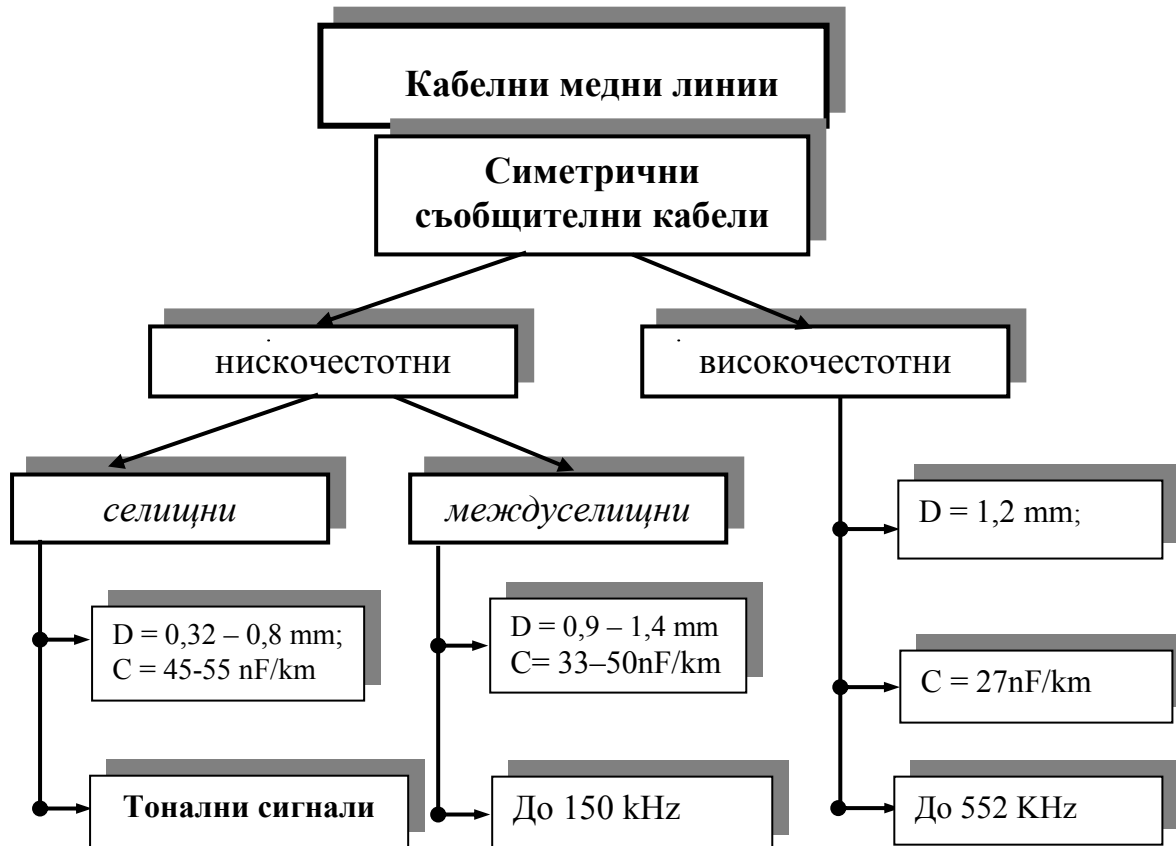
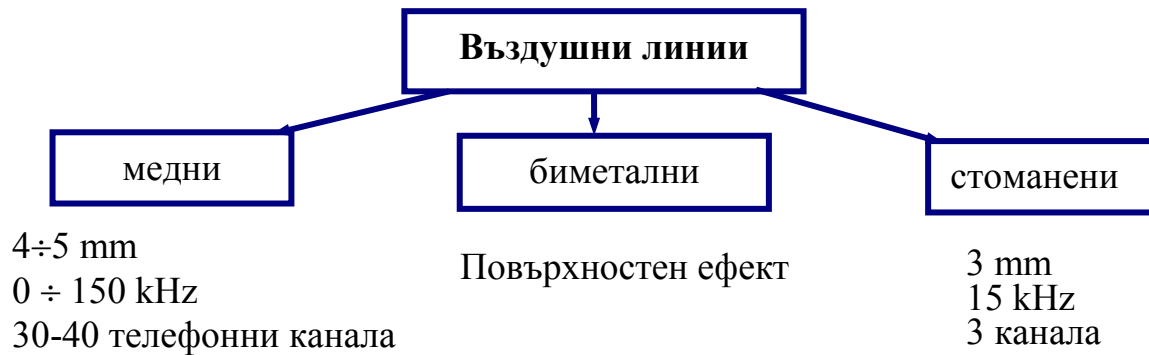
⇒ **Параметри**



Max. праг -65dB

⇒ **Несиметрична и симетрична верига; смущения**



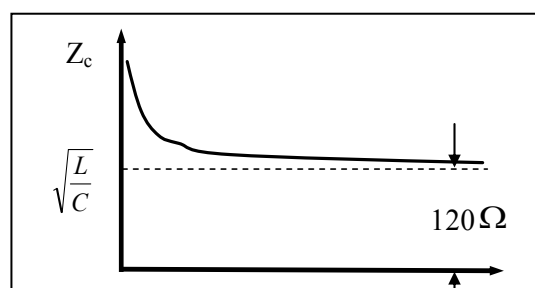


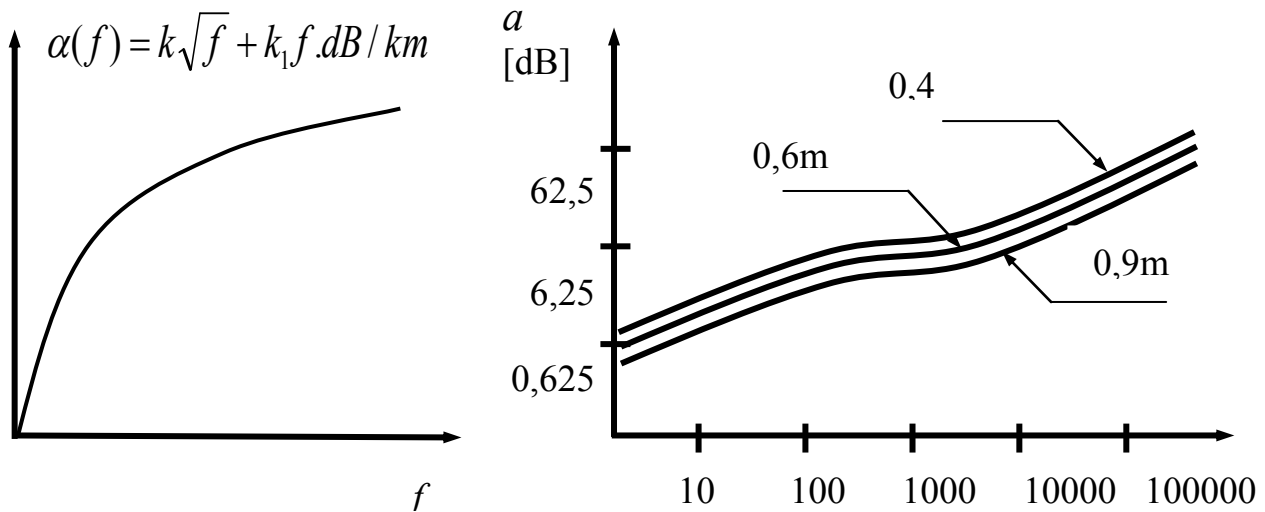
Абонатни кабелни двойки

- 0,32; 0,4; 0,5..0,9mm
- до 2700 усукани двойки в кабел
- изолация PVC, PE
- характ. импеданс $Z_c = 600 \Omega$
- Условие за минимално затихване $LG = CR$
- максимална дължина 4 - 5 km

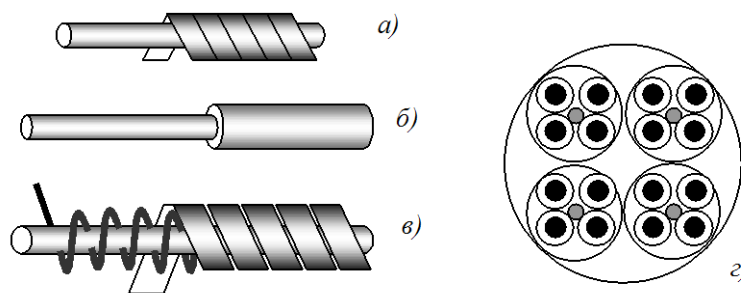
Симетрични кабелни линии

- Четворки за мултиплекс
- междуградски разговори
- 120 телефонни канала
- $f_{max} = 550-800 \text{ kHz}$
- $\alpha(f) = k\sqrt{f} + k_1 f \text{ dB/km}$
- разстояние 12,500 km
- вълново съпротивление 120 Ω

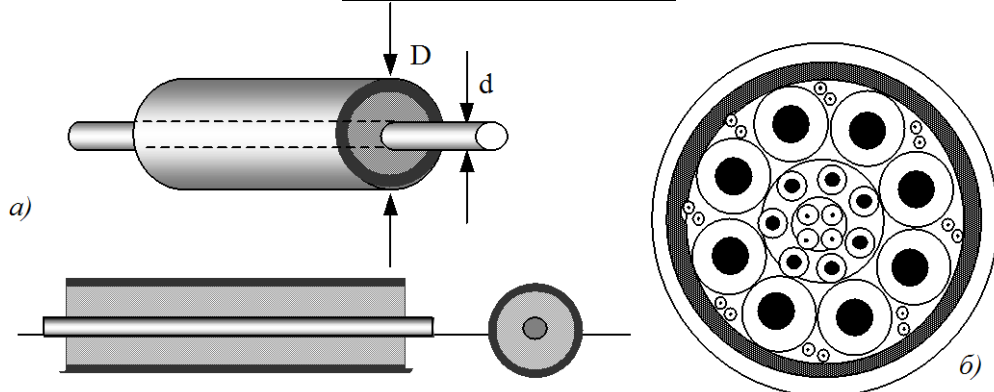




Конструкции на кабелите



Коаксиални кабели



1. Конструкция

2. *Характеристики и параметри:* честотна лента до 60 MHz, 10000 телефонни канала, 2 телевизионни канала, отсъства преслушване

- *вънново съпротивление*

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D}{d} \Omega$$

- *километрично затихване*

$$a(f) = k + k_1 \sqrt{f} + k_2 f$$

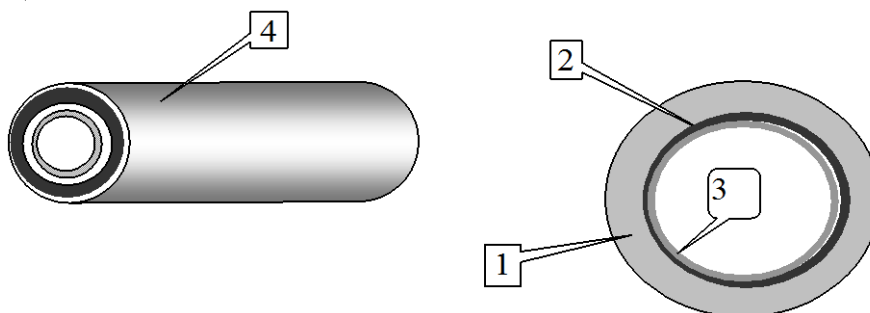
3. Видове:

- магистрални (нормална в-га 2,6/9,5 mm);
- малогабаритни;
- подводни (4200 канала)
- радиочестотни

Според диаметрите: $D = 2,9 \text{ mm} \div 25 \text{ mm}$. $d = 0,7 \text{ mm} \div 11 \text{ mm}$.

Вълноводи

Конструкция



диаметър на тръбата - 50, 60 или 70 mm, дебелина - 3 mm.

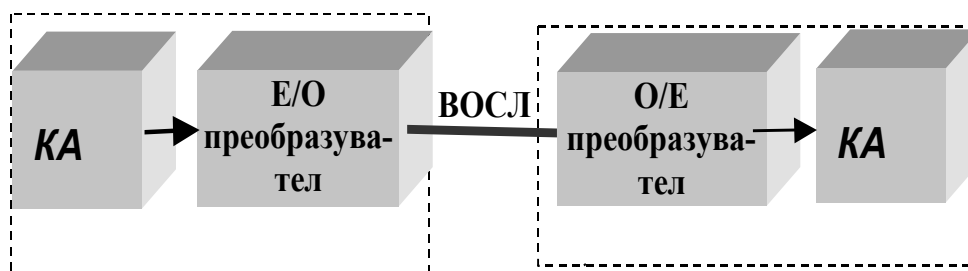
Характеристики: 30 до 100 GHz, 30 000 канала

Електрически съединители

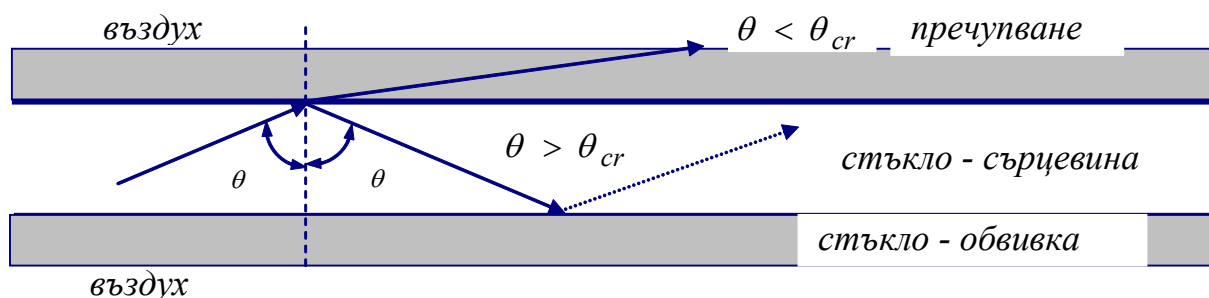
Видове: кръгли, правоъгълни, многоизводни, квазиправоъгълни, жакове; коаксиални, многоизводни

Технология на съединенията: запояване, кримпване, репинговане, прищипване

Кабели с оптични влакна



Разпространение на светлината в оптично влакно (диелектричен вълновод)

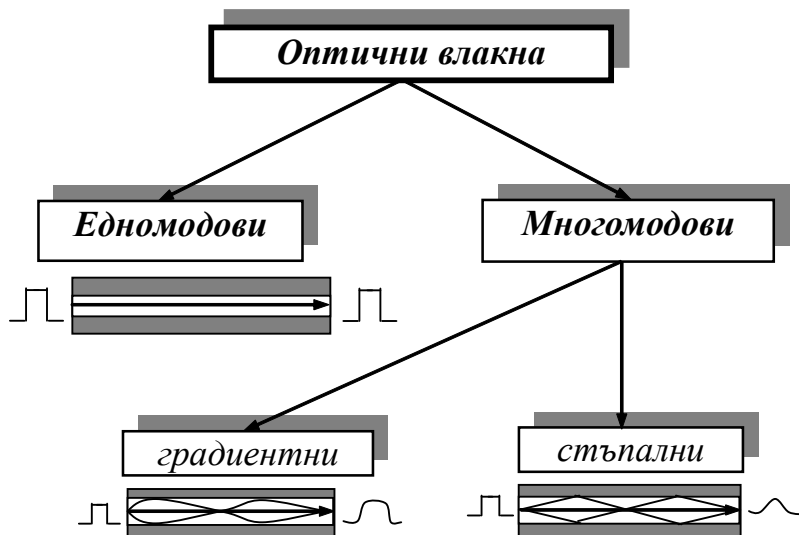


Θ_{cr} – критичен ъгъл на падане

Ако $\Theta > \Theta_{cr}$ – пълно вътрешно отражение; разпространение по дължината на влакното

Ако $\Theta < \Theta_{cr}$ – пречупване на светлината и изтичане на енергията извън влакното

Отделните светлинни вълни (лъчи) се наричат моди. В сърцевина с малък диаметър се разпространява една, а с голям диаметър – много моди.



Едномодово влакно

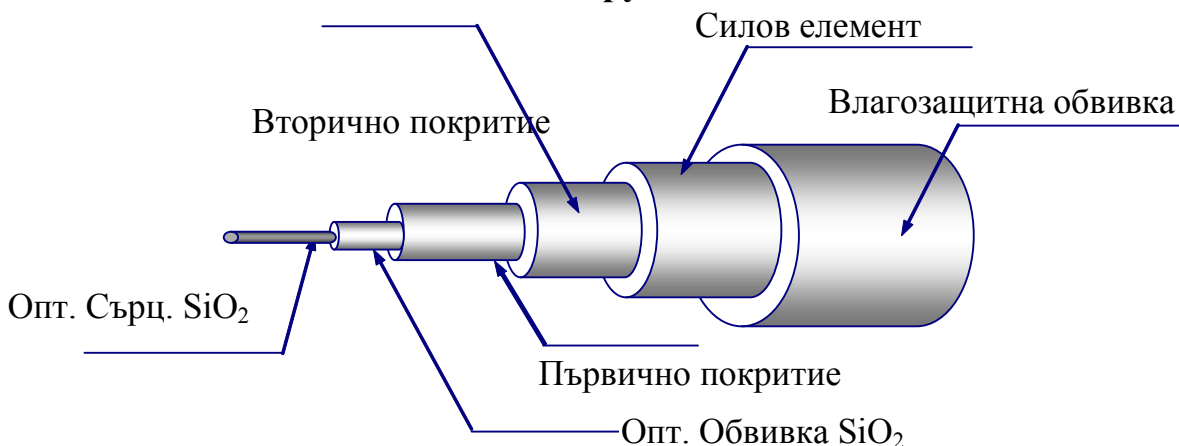
- диаметър на сърцевината: $8 \mu m$,
- обвивка: $125 \mu m$
- много малко затихване
- използва се лазерен източник

Многомодово влакно

- диаметър на сърцевината: $50 \mu m$
- обвивка: $125 \mu m$
- по-големи затихвания и дисперсия
- добри за къси разстояния и ниски скорости
- източник на входа – VCSE LD; LED



Конструкция



Характеристики:

Дължина на светлинните вълни: $800 \text{ nm} \div 1650 \text{ nm}$; $f = 1.10^{14} \text{ Hz}$

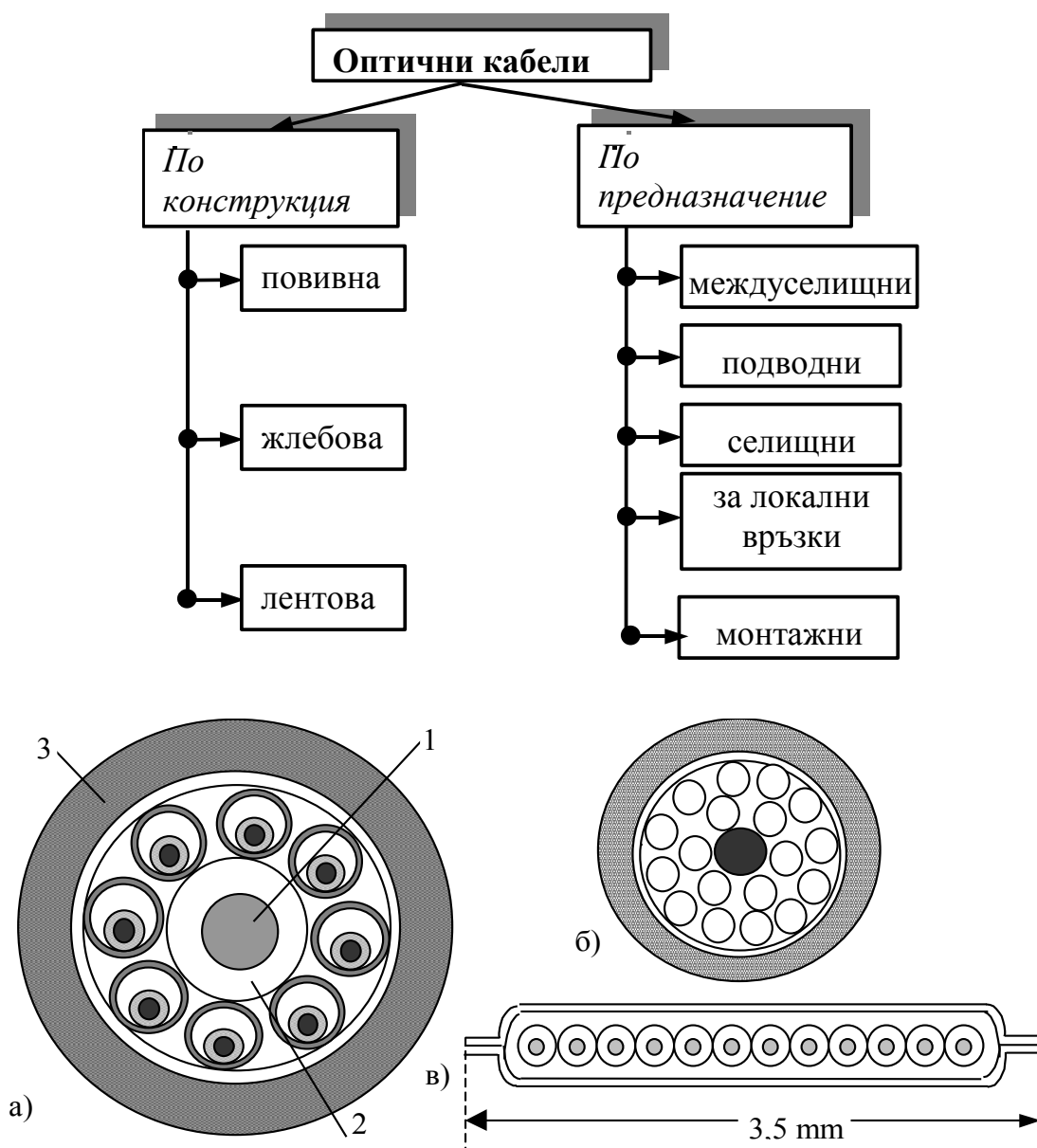
Критичен ъгъл на границата стъкло-въздух: $\theta_{cr} = 42^\circ$

Пропускателна възможност: $F_k \geq 10^{15} \text{ Hz.km SMF}$; $600 \dots 6000 \text{ MHz.km GI MMF}$ реално $100 \dots 500 \text{ Gbit/s}$.

5 млд. телефонни или няколко милиона телевизионни канала

Предимства: не се влияе от електрически смущения, малко затихване, широка честотна лента, ниска цена.

Видове оптични кабели



Напречен разрез на оптични кабели:

а) с повивна конструкция;

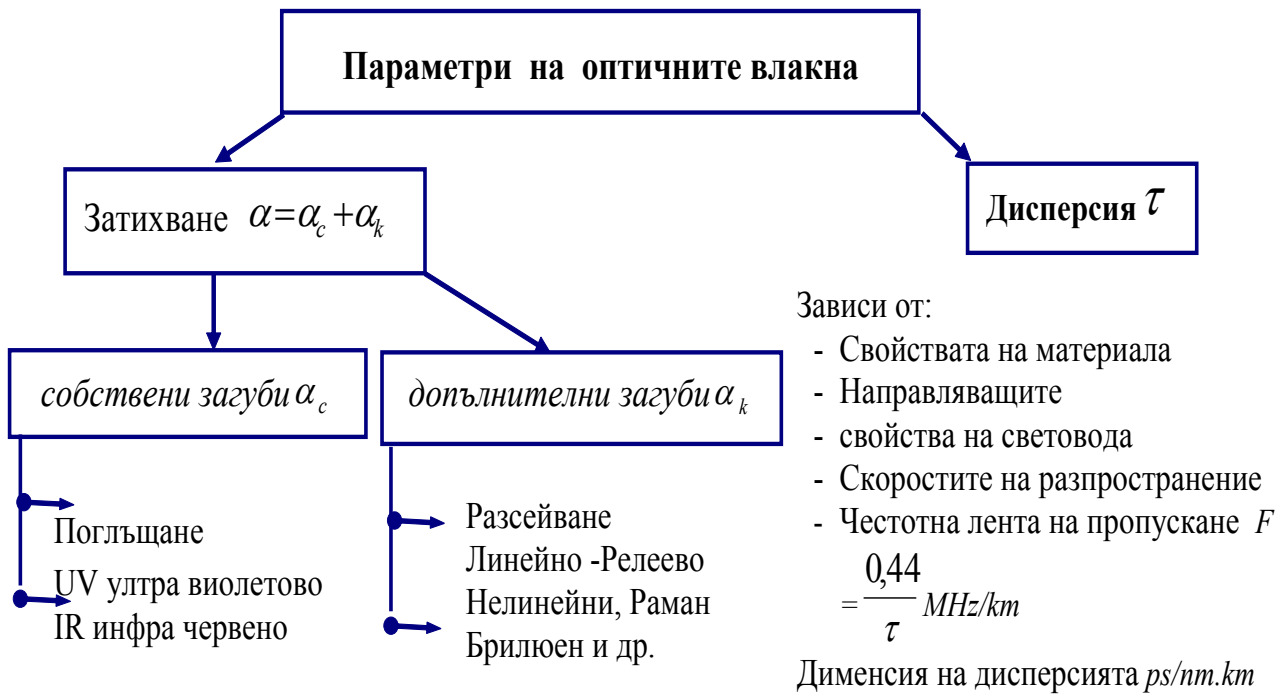
б) с повивна конструкция, централен метален силов елемент и PE обвивка;

в) оптичен кабел с лентова конструкция.

Кабелите с жлебова конструкция имат полиетиленова сърцевина с жлебове, в които се разполагат отделните влакна.

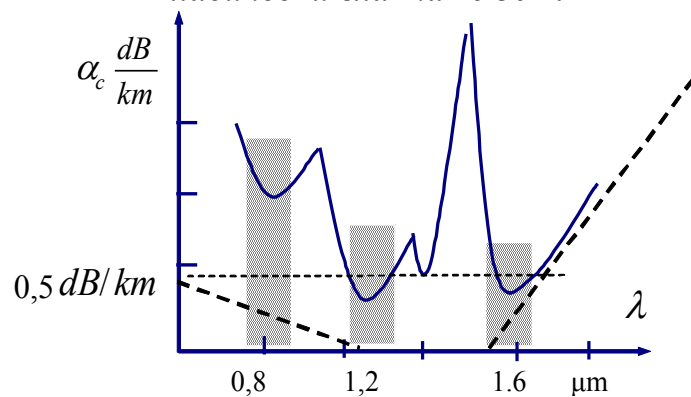
Съществуват много различни конструкции на кабели за магистрални (подземни и подводни) връзки, за селищни, вътрешни и LAN мрежи. Оптични кабели се използват вече и за абонатни комуникационни мрежи: FTTC, FTTB, FTTH. И в София вече има пасивни оптични мрежи (PON – Passive Optical Network).

Оптичните влакна се нормират от ITU с препоръки G-650 – G.657, задаващи всички параметри. Тези норми се спазват от производителите.

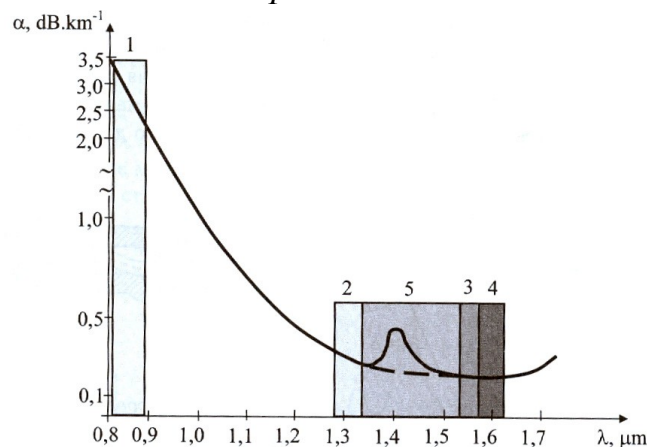


Собствено затихване

класически влакна 1980 г.



влакна по модерни LWPF технологии



Модерните технологии на производство на влакна елиминират затихването от хидроксилни групи, общо намаляват затихването и позволяват оформяне на 5 прозорци за предаване вместо 3.

Съгласно препоръка G.651 на ITU-T, **многомодовите оптични влакна с градиентен индекс** (диаметър на сърцевината 50 или 62.5 μm и

на обвивката - 125 μm) трябва да имат затихване 3.2 dB/km при дължина на вълната 0.85 μm и 0.9 dB/km при 1.3 μm .

Едномодовите влакна, съгл. препоръка G.652D на ITU-T с диаметър на сърцевината 9.3 μm и на обвивката 125 μm трябва да имат при дължина на вълната 1.31 μm затихване <0.4 dB/km и дисперсия <3.5 ps/nm.km, а при дължина на вълната 1.55 μm съответно затихване <0.2 dB/km и дисперсия <18 ps/nm.km

G.653 – G.655 нормират кабели с още по-малка дисперсия на 1550 nm

Оптични източници, приемници и усилватели

За **оптични източници** се използват лазерни диоди и светодиоди

Лазерните диоди излъчват по-тесен спектър в малък пространствен ъгъл - която енергия лесно се свързва в едномодово влакно. Този сигнал може да се модулира с много висока честота (директна модулация на интензитета) – с много къси импулси със скорости на предаване $\times 10$ Gbit/s.

Светодиодите излъчват светлина с по-широк спектър (некохерентна), в голям пространствен ъгъл и от по-голяма излъчваща повърхност, затова могат да се използват само при многомодови влакна при предаване с ниски скорости до 200-300 Mbit/s. Преходният процес при тях е над 2-5 ns и това ограничава скоростта на предаване (спонтанна емисия).

За **оптични приемници** се използват PIN- и лавинни фотодиоди. И двата са обратно захранени p-n-преходи, но параметрите им са доста различни

PIN-диодите (Si, Ge или InGaAs) са по-евтини и се захранват с по-ниски напрежения, но имат по-малка чувствителност, нямат вътрешно усилване и се използват при по-ниски скорости на предаване на по-къси разстояния. Понякога се използват заедно с полеви транзистори (PIN/FET)

Лавинните фотодиоди (APD – Avalanche Photo-Diode) са много по-чувствителни, имат вътрешно усилване и много по-голямо бързодействие, затова са подходящи за високоскоростни комуникационни системи за далечни разстояния. Те, обаче, са по-скъпи, изискват по-високо захранващо напрежение (десетки волтове), имат по-високо ниво на шумовете и ток на тъмно и изискват допълнителни стабилизиращи вериги за компенсация на температурните им зависимости.

Оптични усилватели: съществуват вече методи за усилване и регенерация на оптични сигнали без да се налага преобразуване в електронен сигнал. Това се постига с добавяне на примеси от ербиум в оптичното влакно EDFA и напмпване на енергия от специален лазер. Използват се и Раманови усилватели на основата на нелинейно разсейване възникващо в ОВ при високи нива на мощността в сърцевината.

Оптични съединения: Оптичните влакна се свързват чрез неразглобяеми (заварки или механични връзки) и разглобяеми (различни типове съединители –

FC; SC; LC; E2000 полирани перпендикулярно /PC, или под 8° /APC спрямо нормалата към на оста на влакното). За тях има строги норми за затихванията ($\leq 0,4$ dB; $RL \geq 50$ dB) на коефициента на отражение по мощност RL.



Блокова схема на оптична комуникационна система

Ефирът като преносна среда

Електромагнитните вълни – носител на сигнала

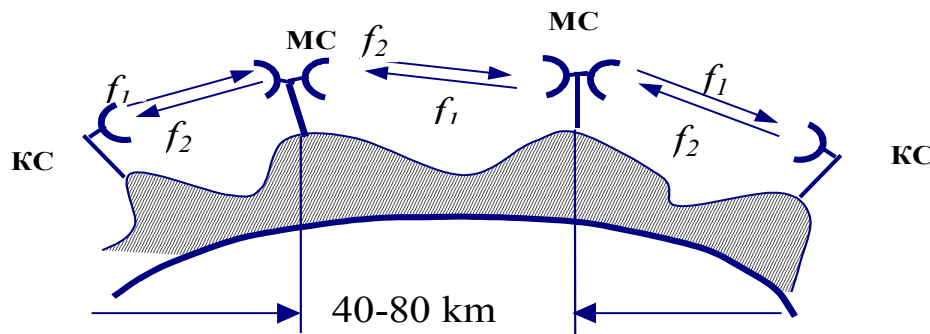
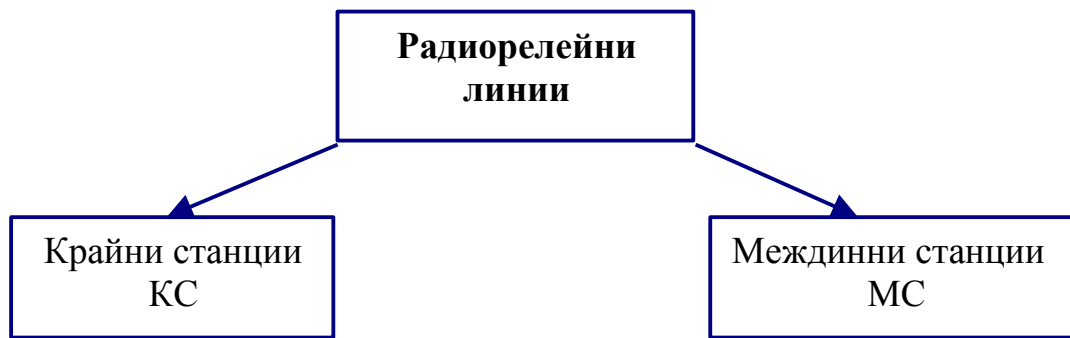
- период на хармоничната вълна T
- честота на трептенето $f = 1/T$, Hz
- дължина на вълната λ

Радиовълни

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} \text{ [km].}$$

$$\lambda > 10^{-4} \text{ m (} f < 3 \cdot 10^{12} \text{ Hz)}$$

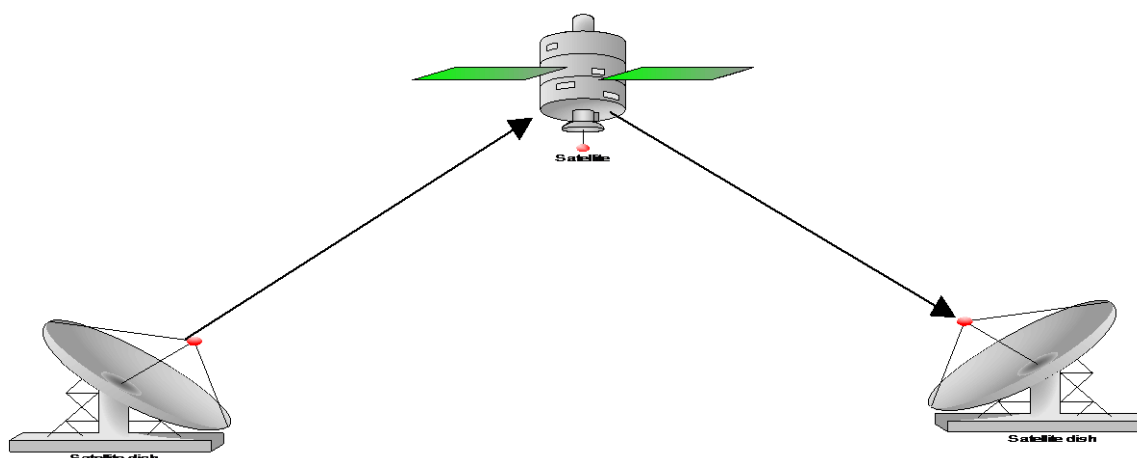
Честотни обхвати		Вълнови обхват	
Граници	Наименование (означение)	Граници	Наименование (означение)
- 300kHz	ниски честоти (НЧ, LF)	10 - 1km	дълги вълни (ДВ)
300 - 3000kHz	средни честоти (СЧ, MF)	1 - 0,1km	средни вълни (СВ)
3 - 30MHz	високи честоти (ВЧ, HF)	100 - 10m	къси вълни (КВ)
30 - 300MHz	много високи честоти (МВЧ, VHF)	10 - 1m	метрови вълни (МВ)
300 - 3000MHz	ултрависоки честоти (УВЧ, UHF)	1 - 0,1m	дециметрови вълни (ДМВ)
3 - 30GHz	сврѳхвисоки честоти (СВЧ, SHF)	10 - 1cm	сантиметрови вълни (СМВ)

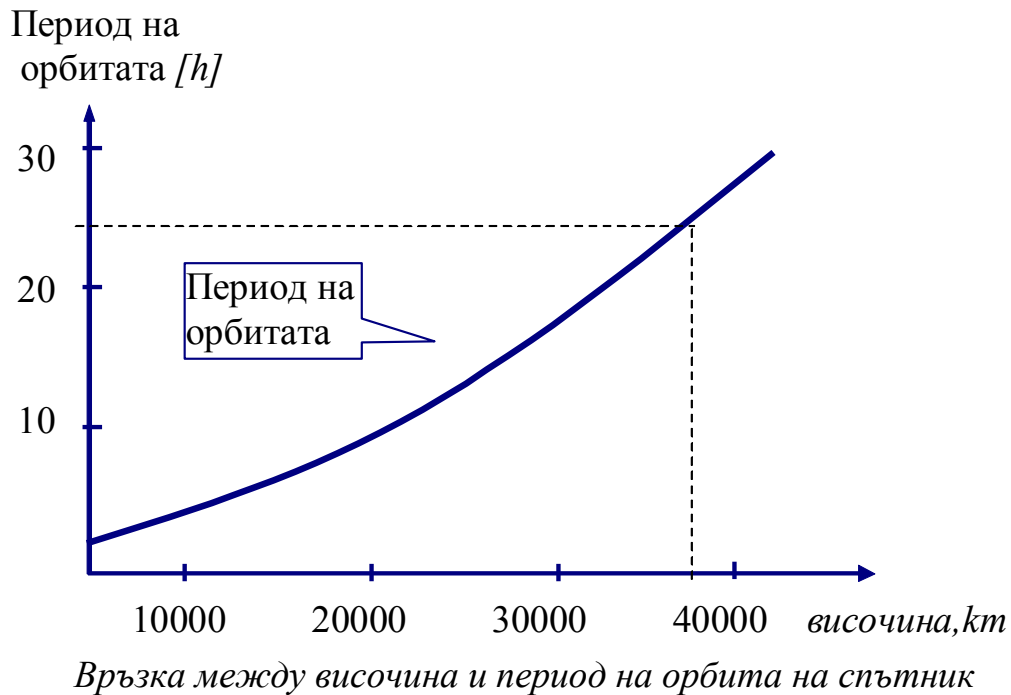


Остра насоченост на антените, две честоти за всяка отсечка, напр. f_1/f_2 в областта на 8; 15; 18; 23 GHz и др. Тези честоти се разпространяват само в зоната на пряка видимост. Във всяка междинна станция се приема на една и съща честота и се предава на другата – двучестотен план. Разделянето е в резултат на диаграмите на насочено действие на антените. Честотна лента - 30-40 MHz , 6000 телефонни канала, няколко телевизионни програми

Комуникационни спътници (сателитна комуникация)

- мобилни комуникации
- комуникации в отделни региони
- между-континентални комуникации
- директно телевизионно и радио-разпръскване
- частни комуникации





- Алтернатива на презокеанските кабели
- Височина на спътника 35 788 km, период 24 h (геостационарна орбита)
- Честотната лента на канала 20; 40; 80 или 160 MHz
- Разпространение на сигнала «земя-спътник-земя» 275 ms

Преносни среди за компютърни мрежи

За структурно окабеляване на сгради и помещения при изграждане на компютърни мрежи се използват основно специални усукани кабелни двойки, а също и специфични коаксиални и оптични кабели. Обикновено става дума за разстояния под няколкостотин метра.

Усукани кабелни двойки (UTP и STP)

UTP (Unshielded Twisted Pair) (неекранирани усукани двойки) са популярните и по-често използвани кабели. **STP** (Shielded Twisted Pair) (екранирани усукани кабелни двойки), представляващи няколко чифта с общ метален екран, са несъмнено много по-защитени от смущения, но се използват твърде рядко поради високата си цена и недоказаната необходимост от тях.

Съществуват няколко категории UTP кабели:

- ❖ **Категория 1** – опростена конструкция, основно за предаване на говор.
- ❖ **Категория 2** – използвани за LAN-мрежи със скорости до 4 Mbit/s.
- ❖ **Категория 3** – подходящи за LAN-мрежи със скорости до 10 Mbit/s (честотна лента до 16 MHz) при разстояния под 100 метра.

❖ **Категория 4** – за LAN-мрежи със скорости до 16 Mbit/s (честотна лента до 20 MHz) при разстояния под 100 метра.

❖ **Категория 5** — за LAN-мрежи със скорости до 100 Mbit/s (честотна лента до 100 MHz) при разстояния под 100 метра. В момента не се произвеждат и са заменени с **UTP5e**.

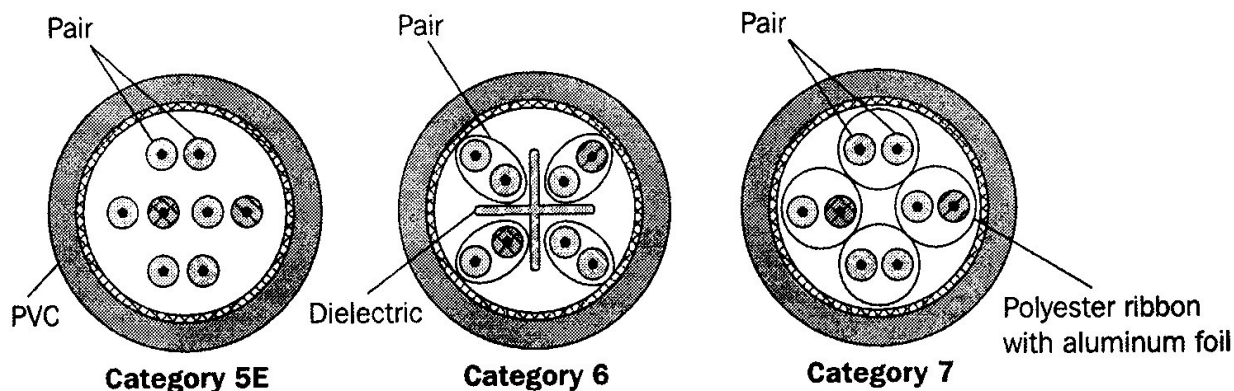
❖ **Категория 5e** – първоначално за LAN-мрежи със скорости до 100 Mbit/s (честотна лента до 100 MHz) при разстояния под 100 метра като UTP5, могат да се използват за гигабитови мрежи (скорости до 1 Gbit/s). Това е най-широко разпространеният кабел в момента.

❖ **Категория 6** – за LAN-мрежи със скорости до 1 Gbit/s (честотна лента до 250-400 MHz) при разстояния под 100 метра като UTP5e.

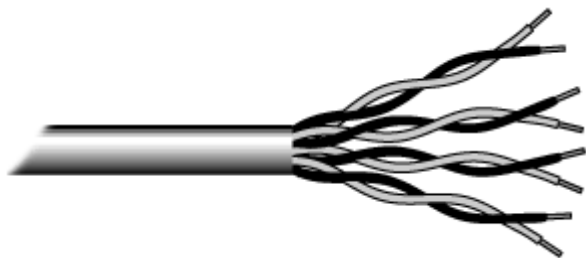
❖ **Категория 7** – подходящи за ултра-високоскоростни LAN-мрежи 10 Gbit/s (честотна лента до 600 MHz).

Цената на тези кабели е относително ниска (10-20 цента за метър за конструкция с 4 усукани двойки) и те са много масово използвани.

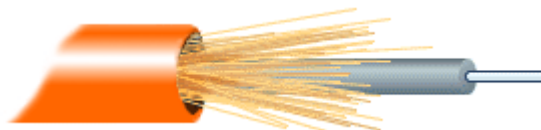
В началото в Ethernet мрежите за малки разстояния са се използвали 50 Ω коаксиални кабели – по-малки размери и с по-проста конструкция от комуникационните магистрални кабели, но все пак доста скъпи и използващи BNC куплунги. Днес те са изместени от UTP-кабелите.



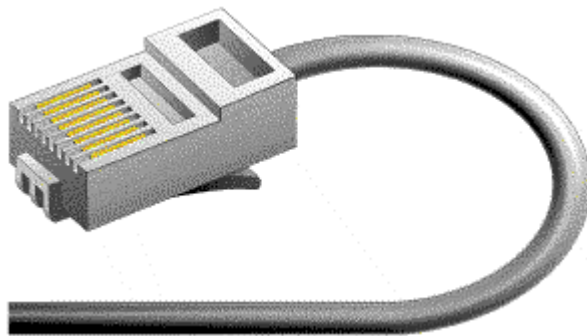
Основни типове UTP кабели – конструкция



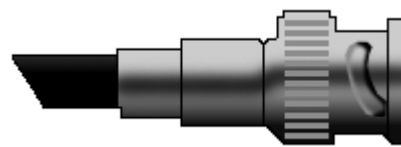
UTP5e кабел



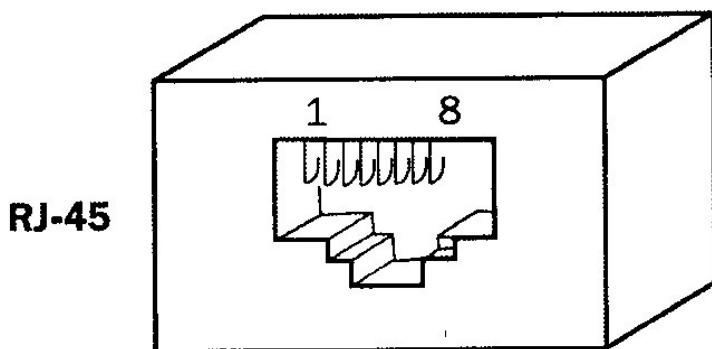
Оптичен кабел



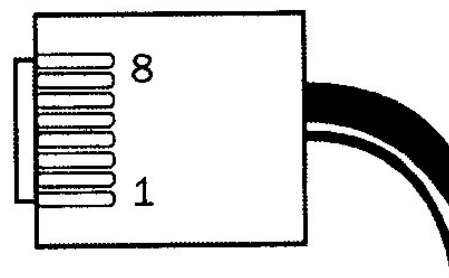
RJ-45 щепсел



BNC куплунг



RJ-45



RJ-45 съединител

Сега за по-големи разстояния и за високи скорости се използват оптични кабели с многомодови или едномодови влакна с най-различни конструкции.