

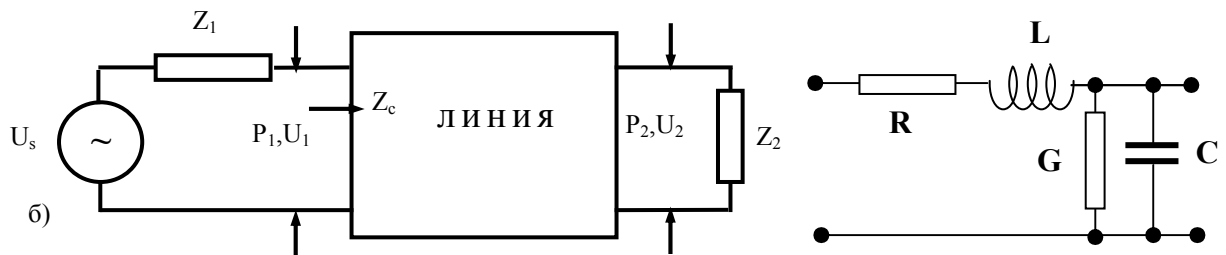
# ПРЕНОСНИ СРЕДИ И СИСТЕМИ

## 1. Общи сведения, видове

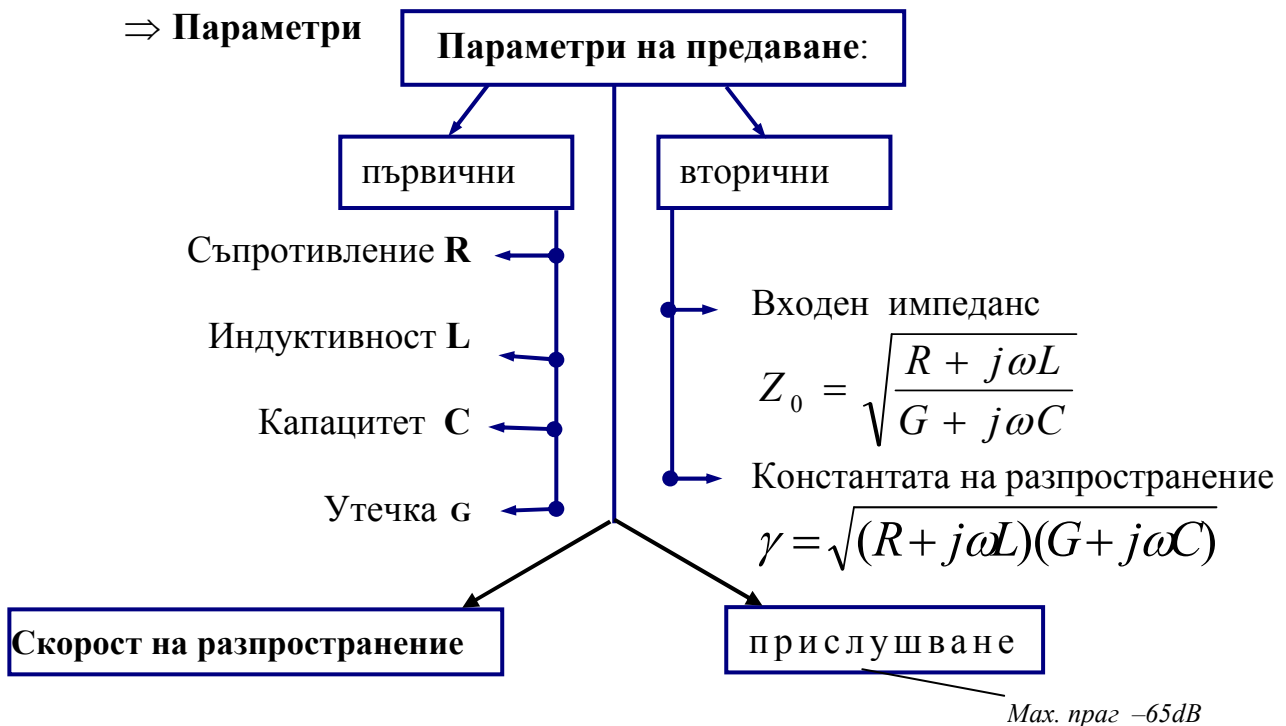
- прекъснати, непрекъснати
- метални, оптически, ефир
- хомогенни вериги (линии с разпределени параметри)
- разпространение на електромагнитните вълни

## 2. Линии с метални проводници

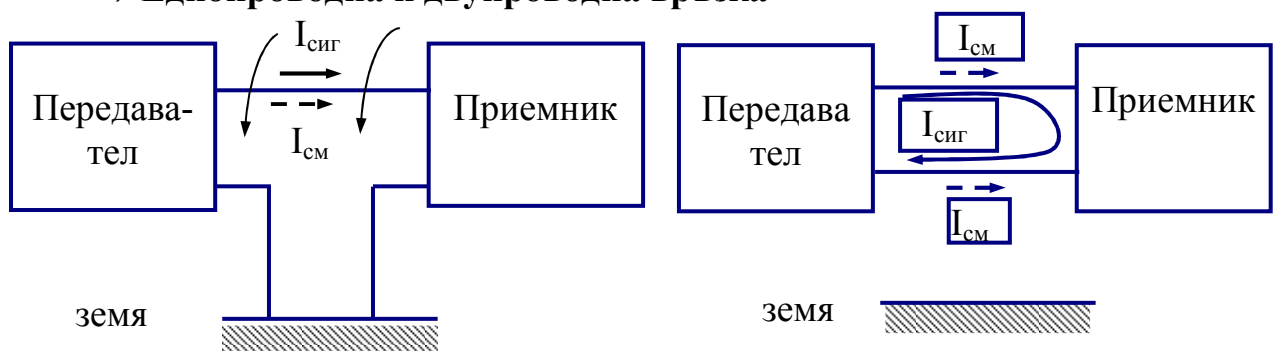
⇒ Евивалентна схема

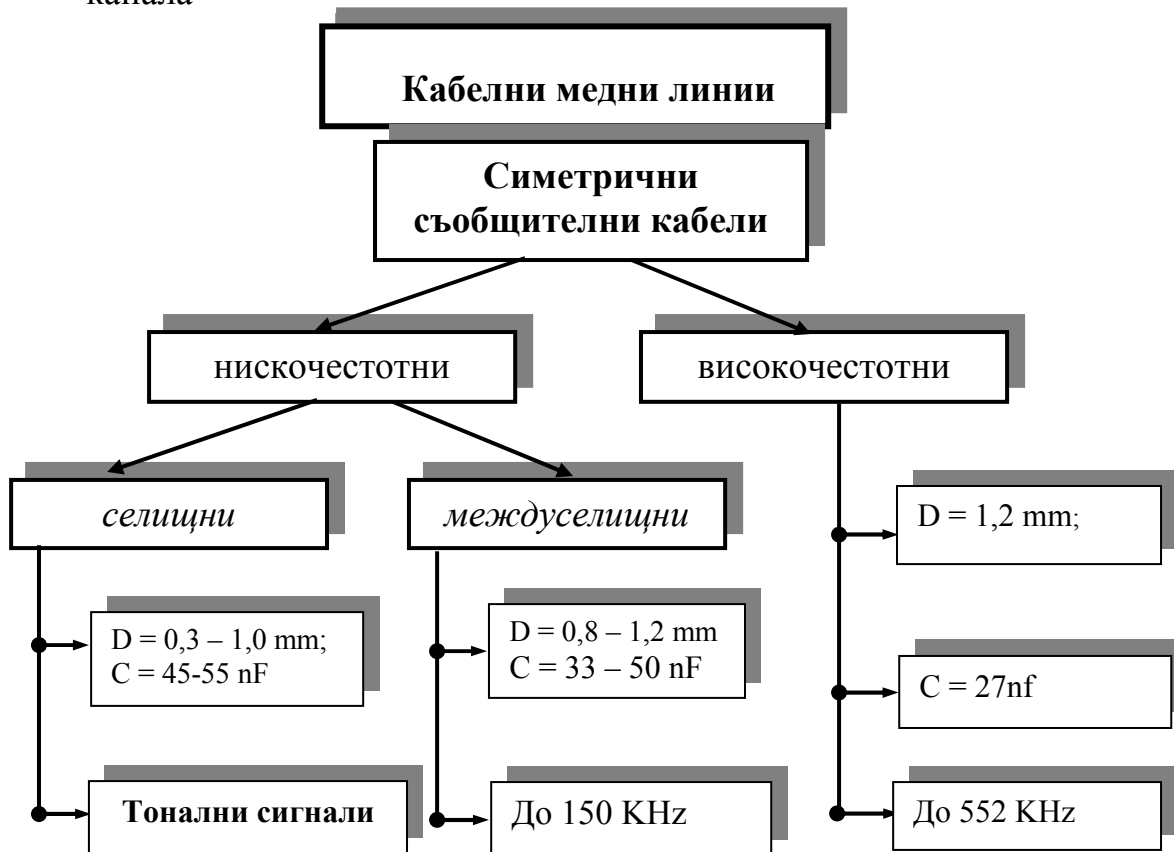
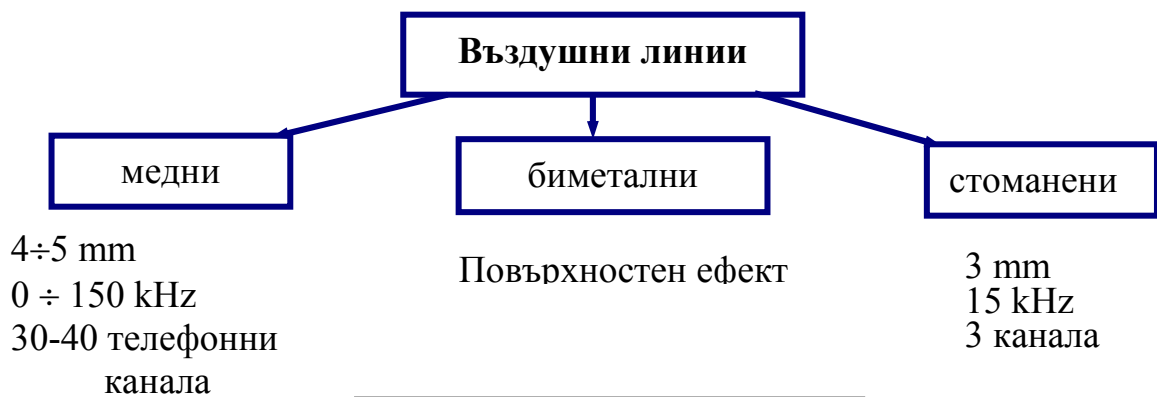


⇒ Параметри



⇒ Еднопроводна и двупроводна връзка



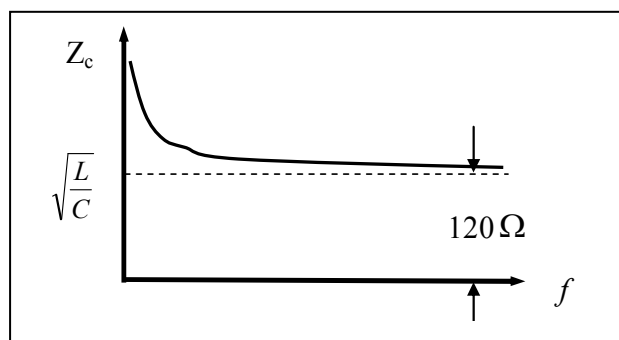


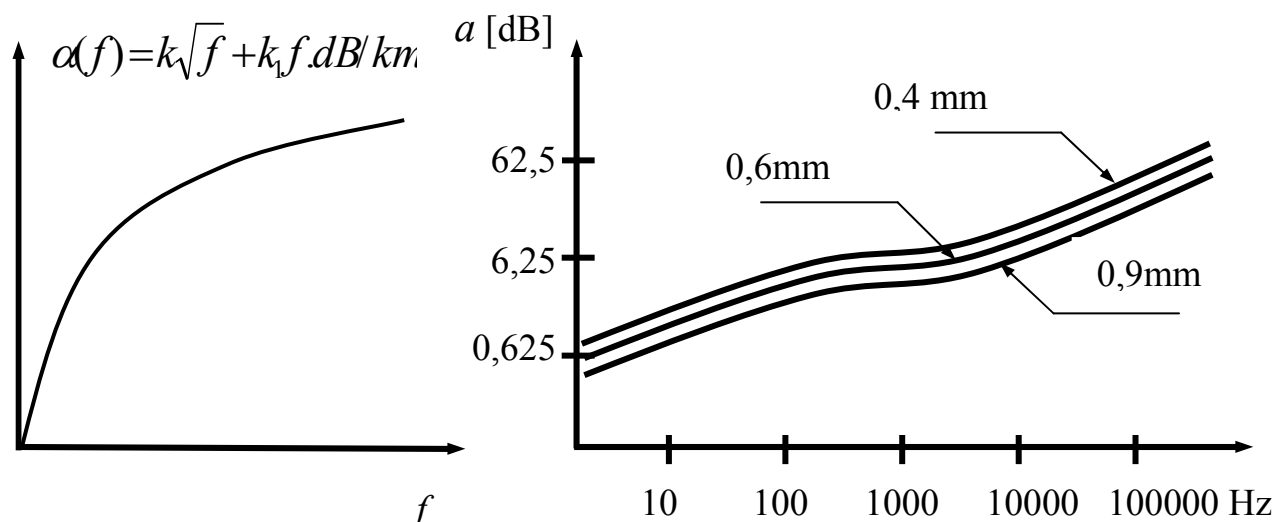
#### Абонатни кабелни двойки

- 0,4, 0,5, 0,63 0,9 mm
- до 3000 усукани двойки в кабел
- изолация PVC, PE
- входен импеданс  $Z_o = 600 \Omega$
- Условие за минимално затихване  
 $LG = CR$
- максимална дължина 5-10 km

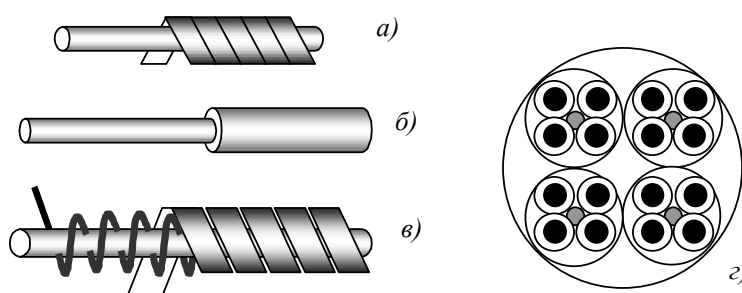
#### Симетрични кабелни линии

- 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  $120 \Omega$

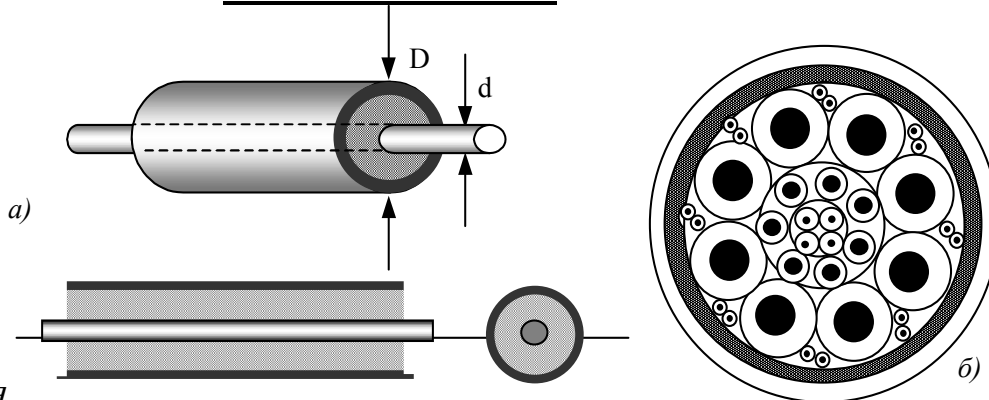




### Конструкции на кабелите



### Коаксиални кабели



#### 1. Конструкция

2. Характеристики и параметри: честотна лента до 60 MHz, 2000 телефонни канала, 2 телевизионни канала, отсъства преслушване

- *вълново съпротивление*

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

- *километрично затихване*

$$a(f) = k + k_1\sqrt{f} + k_2f$$

#### 3. Видове:

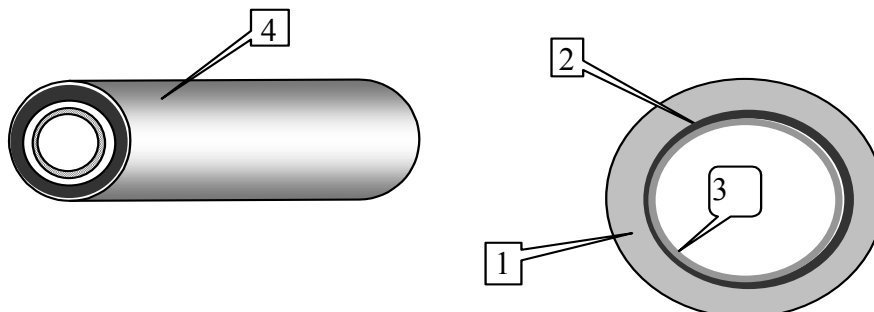
- магистрални (стандартни);
- малогабаритни;

- 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.

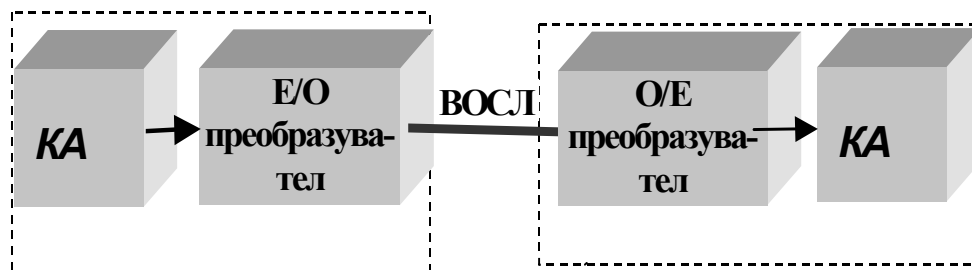
**Характеристики:** 30 до 100 GHz, 30 000 канала

## Електрически съединители

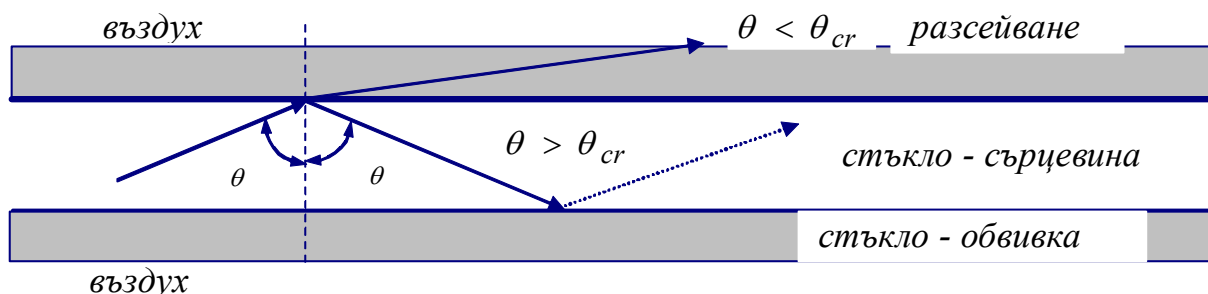
**Видове:** кръгли, правоъгълни, многоизводни, квазиправоъгълни, жакове; коаксиални, многоизводни

**Технология на съединенията:** запояване, крамповане, репинговане, прищипване

## Кабели с оптични влакна



## Разпространение на светлината в стъкловакно (стъкловод)

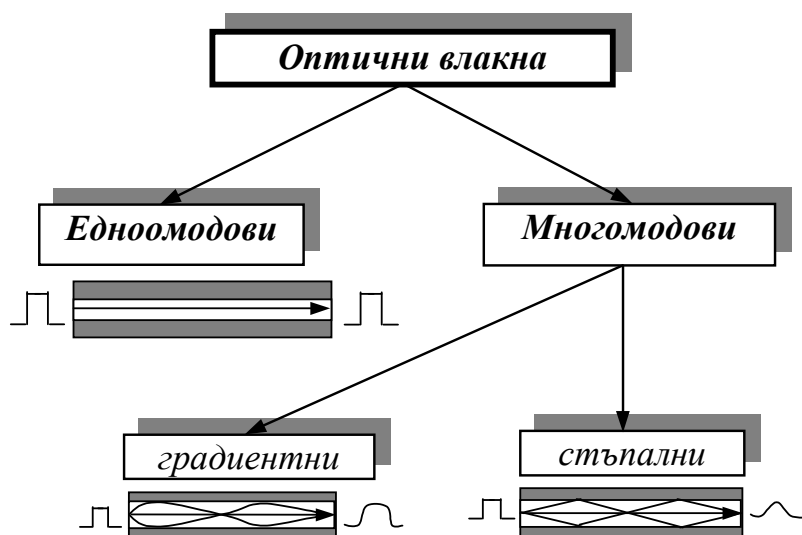


$\Theta_{cr}$  – критичен ъгъл на падане

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

Ако  $\Theta < \Theta_{cr}$  – разсейване на светлината 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

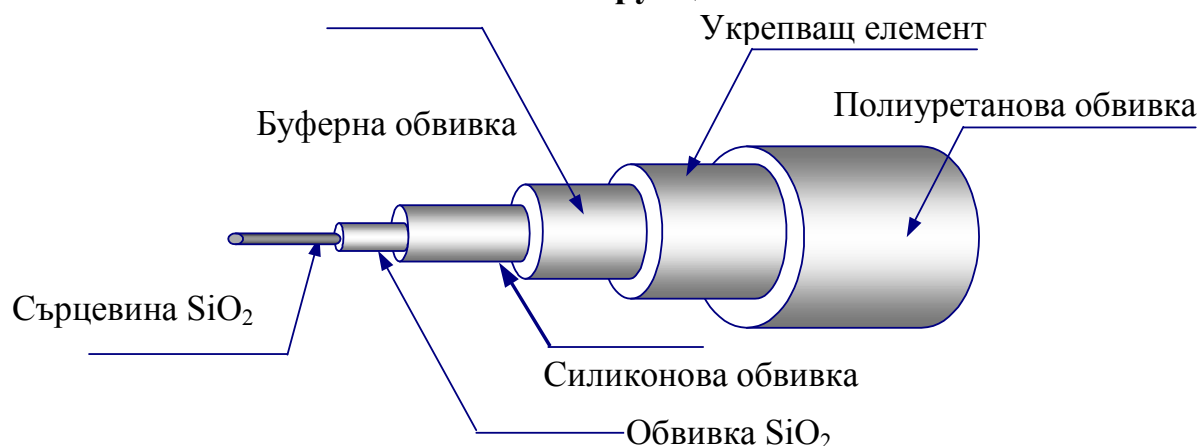
- диаметър на сърцевината:  $8\ \mu m$ ,
- обвивка:  $125\ \mu m$
- много малко затихване
- използва се лазерен източник

### Многомодово влакно

- диаметър на сърцевината:  $50\ \mu m$
- обвивка:  $125-150\ \mu m$
- големи затихвания и изкривявания
- добри за къси разстояния и ниски скорости на предаване
- източник на входа - светодиода



### Конструкция



### Характеристики:

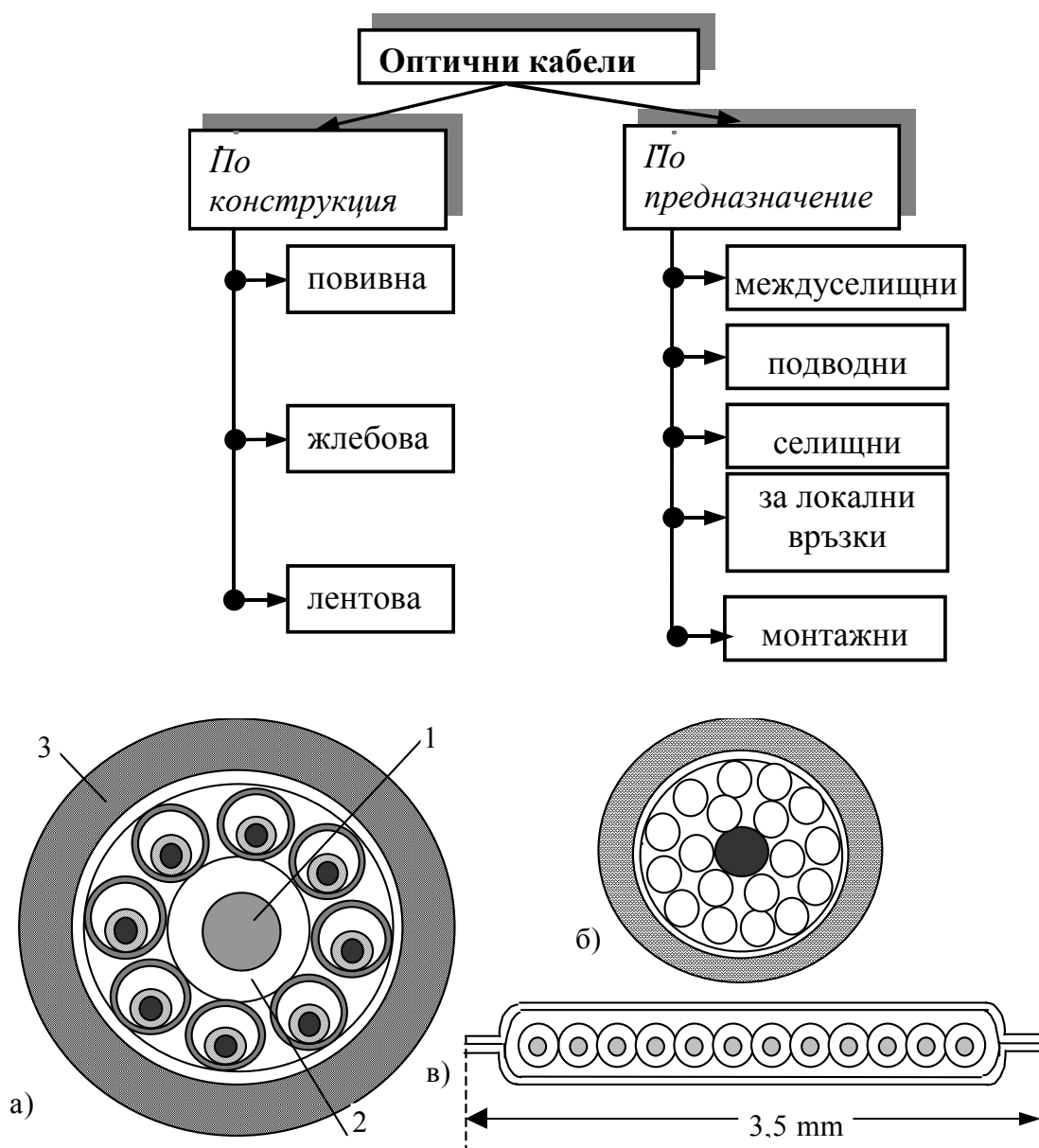
Дължина на светлинните вълни:  $800\ \text{nm} \div 1600\ \text{nm}$ ;  $f = 1.10^{14}\ \text{Hz}$

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

Пропускателна възможност:  $F_k = 3000 \div 6\ 000\ \text{GHz}$ ,  $20\ 000\ \text{GHz}$ . реално  $600\ \text{Mbit/s}$ .  
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;*

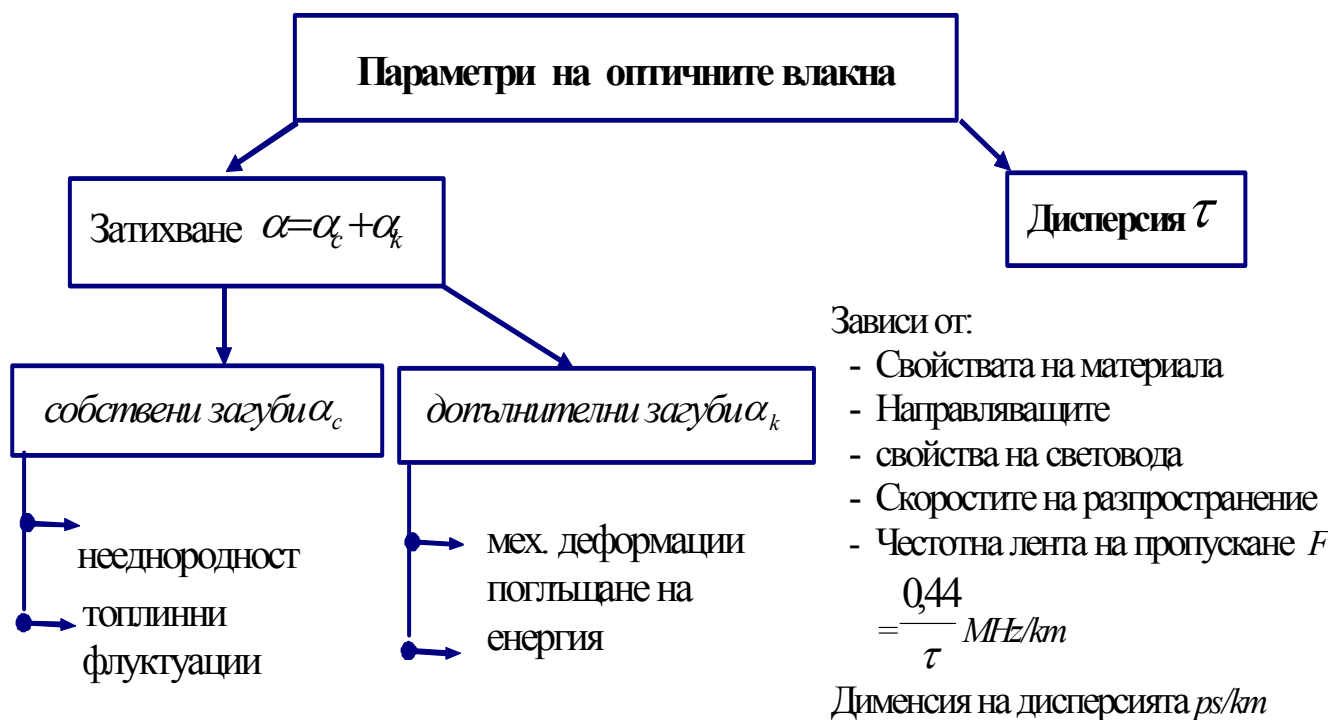
*б) с повивна конструкция, централно медно жило и оловна обвивка;*

*в) оптичен кабел с лентова конструкция.*

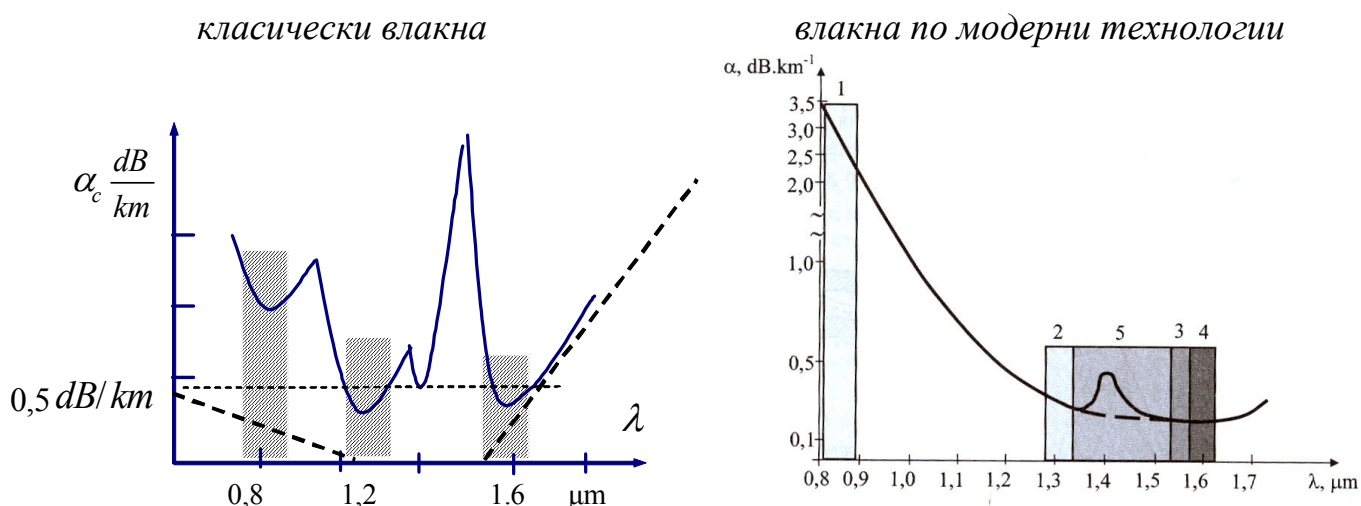
Кабелите с жлебова конструкция имат полиетиленова сърцевина с жлебове, в които се разполагат отделните влакна.

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 кабели се нормират от ITU с препоръки G-651 – G.655, задаващи всички параметри. Тези норми се спазват от производителите.



### Собствено затихване



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 кабели с градиентен индекс** (диаметър на сърцевината 62.5  $\mu\text{m}$  и на обвивката - 125  $\mu\text{m}$ ) трябва да имат затихване 3.2 dB/km при дължина на вълната 0.85  $\mu\text{m}$  и 0.9 dB/km при 1.3  $\mu\text{m}$ .

**Едномодовите кабели**, съгл. препоръка G.652 на ITU-T с диаметър на сърцевината 9.3  $\mu\text{m}$  и на обвивката 125  $\mu\text{m}$  трябва да имат при дължина на вълната 1.310  $\mu\text{m}$  затихване <0.5 dB/km и дисперсия <3.5 ps/m.km, а при дължина на вълната 1.550  $\mu\text{m}$  съответно затихване <0.4 dB/km и дисперсия <18 ps/m.km

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

## Оптични източници, приемници и усилватели

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

**Лазерните диоди** излъчват кохерентна светлина в силно концентриран лъч, който лесно се подава в едномодово влакно. Този сигнал може да се модулира с много висока честота – с много къси импулси със скорости на предаване десетки Gbit/s.

**Светодиодите** излъчват светлина с по-широк спектър (некохерентна), по-неконцентрирана (с по-голям ъгъл на излъчване) 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 лимитира скоростта на предаване

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

**PIN-диодите** (Si, Ge или InGaAs) са по-евтини и се захранват с пониски 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 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 няколко пъти по-скъпи, изискват много по-високо захранващо напрежение (стотици 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 ербийум в оптичното влакно и напompване на енергия от специален лазер.

**Оптични съединения:** Оптичните влакна се свързват чрез неразглобяеми (заварки или механични връзки) и разглобяеми (различни куплунги с лещи или с челно свързване) съединения. За тях има строги норми за затихванията.



*Блокова схема на оптична комуникационна система*



## Ефирът като преносна среда

**Електромагнитните вълни – носител на сигнала**

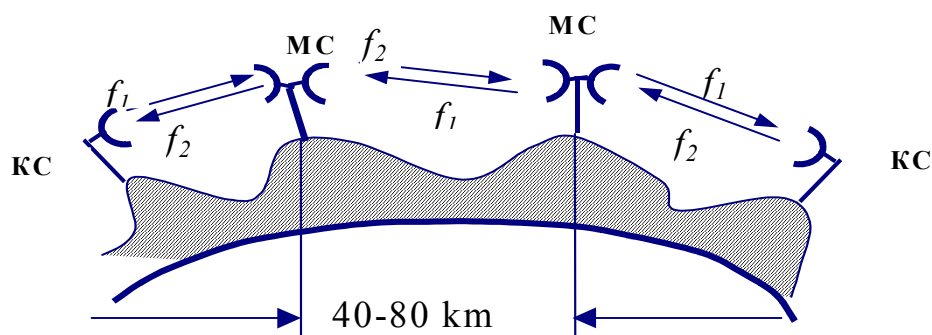
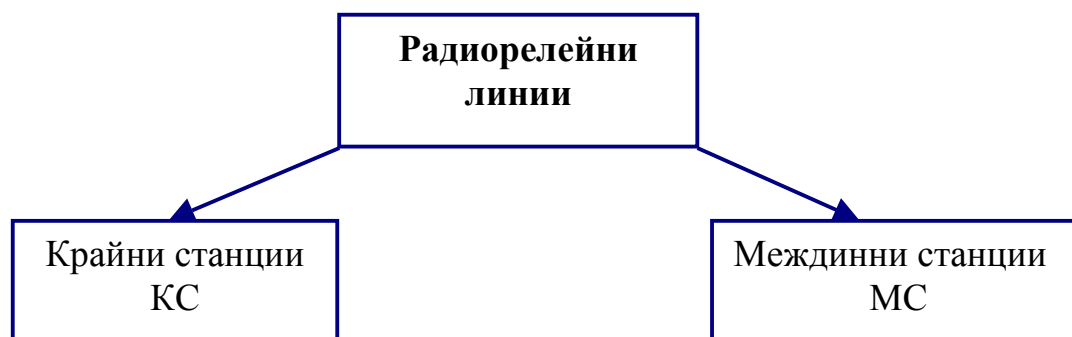
- период на хармоничната вълна  $T$
- честота на трептенето  $f = 1/T$ , Hz
- дължина на вълната  $\lambda$

Радиовълни

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

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

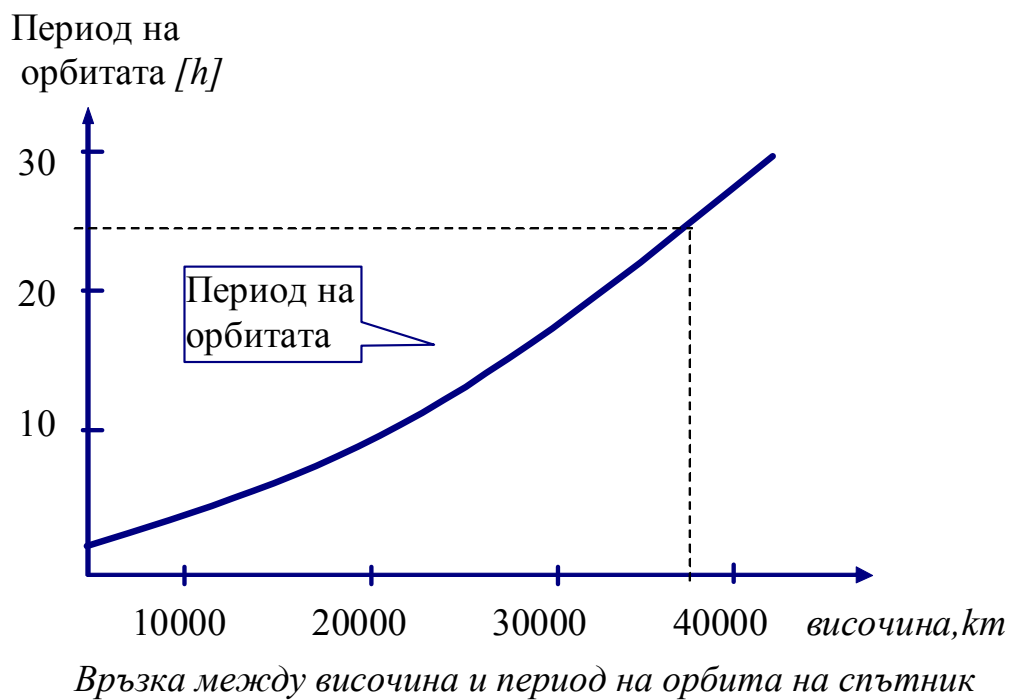
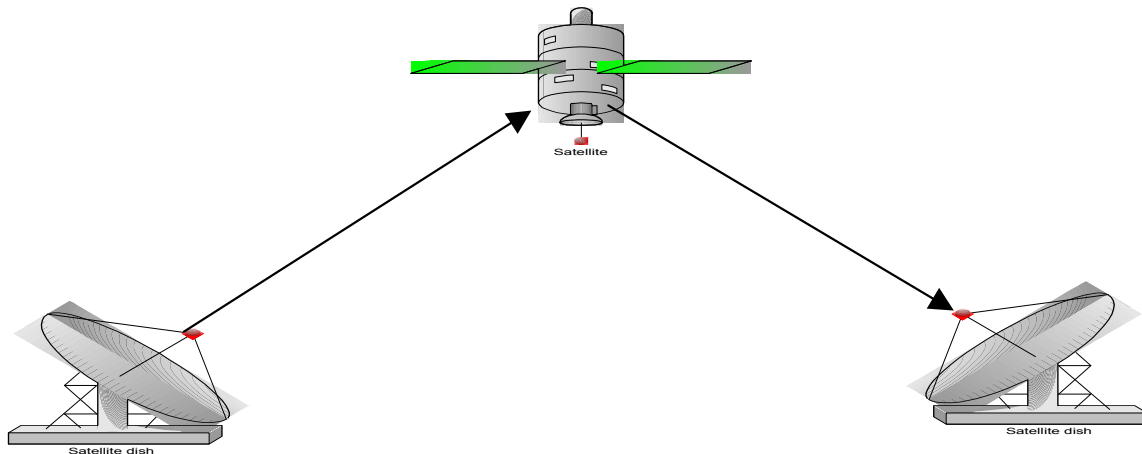
Честотни обхвати		Вълнови обхват	
Граници	Наименование (означение)	Граници	Наименование (означение)
30 - 300kHz	ниски честоти (НЧ, LF)	10 - 1km	дълги вълни (ДВ)
300 - 3000kHz	средни честоти (СЧ, MF)	1 - 0,1km	средни вълни (СВ)
3 - 30MHz	високи честоти (ВЧ, HF)	100 - 10m	къси вълни (КВ)
30 - 300MHz	много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



Остра насоченост на антените, две честоти за всяка отсечка, напр.  $f_1 = 4,6 \text{ GHz}$  и  $f_2 = 11 \text{ GHz}$ . Тези честоти се разпространяват само в зоната на пряка видимост. Смяна на честотите във всяка междинна станция. 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 20 MHz
- Разпространение на сигнала «земя-спътник-земя» 275 ms