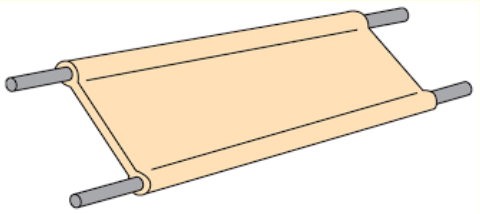
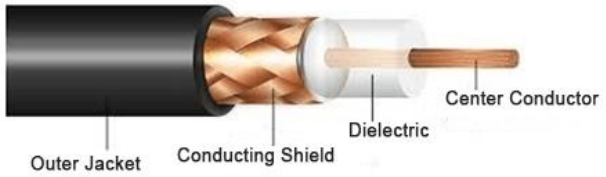
13. Линии с разпределени параметри

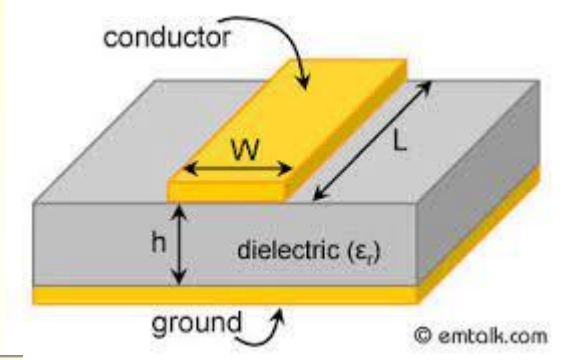
1 Линия с разпределени параметри- определение и основни понятия

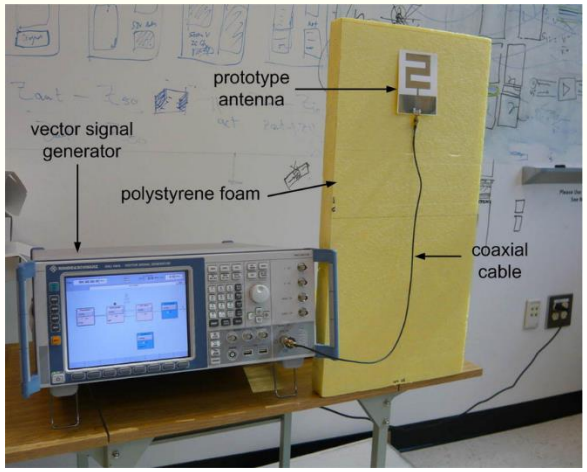
Линията с разпределени параметри е система от проводници, чиято дължина е съизмерима с дължината на ЕМ вълна и е предназначена за пренасяне на ЕМ енергия.

Пример: **двупроводни линии, коаксиални и микролентови линии.**





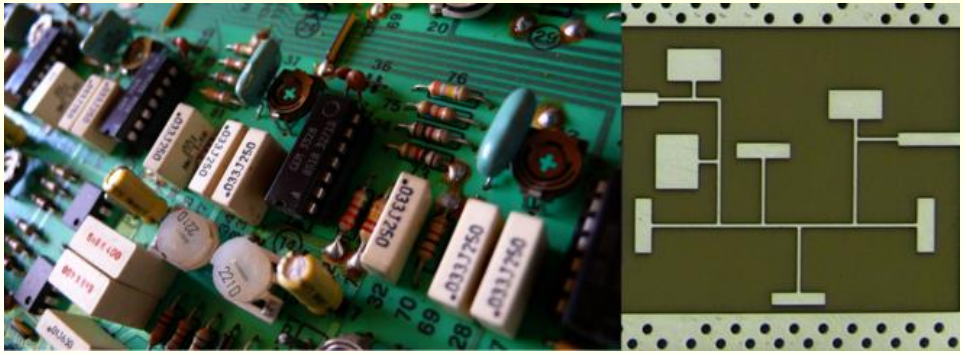




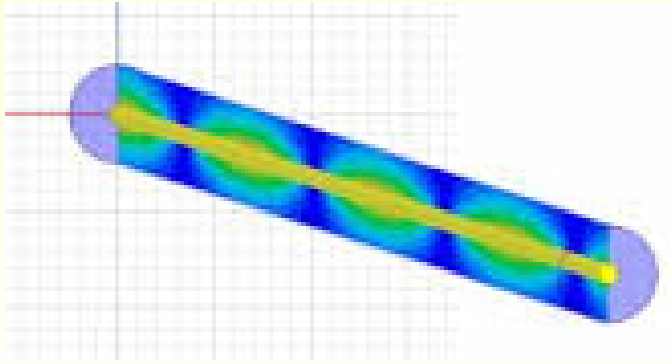
Линии с разпределени параметри

- линия от два проводника с дължина 30 м може да се разглежда, като линия с разпределени параметри при честота на сигнала f = 15 MHz и дължина на ЕМ вълна λ = 20 m. λ=c.T=c/f= 3.10^8/15.10^6=20 m

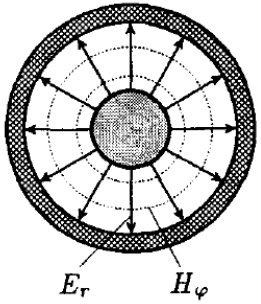
- За един период T на вълната, вълната се разпространява на участък от линията с дължина λ. Следователно ще има фазова разлика между сигнала на входа и сигнала по дължината на линията.



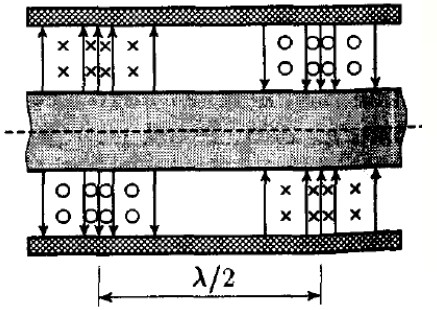
НЧ филтърна система с дискретни и разпределени параметри



Разпределение на U (E) в коаксиална линия



Разпределение на E и H в коаксиална линия

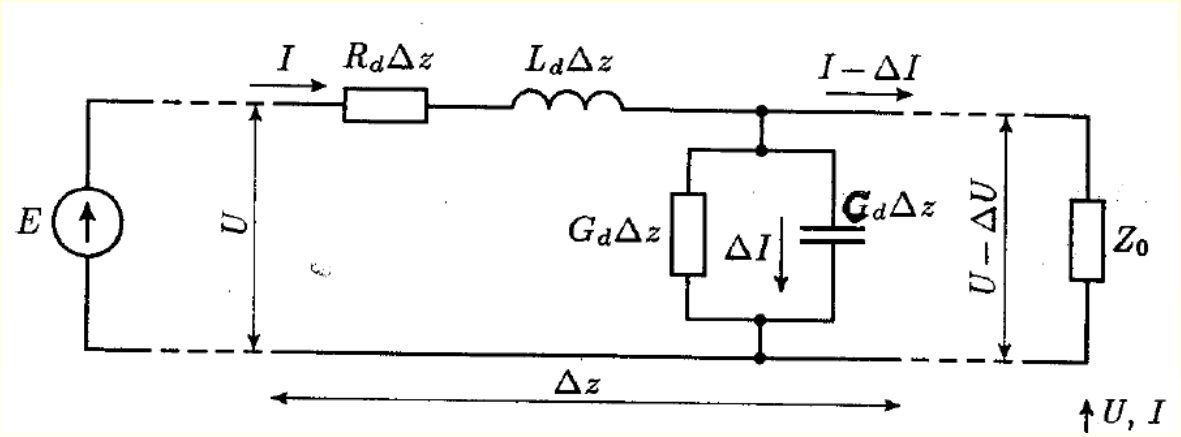


13. Линии с разпределени параметри

Δz - участък от линията с малка дължина

ΔR - съпротивление на участъка Δz от линията

ΔL - индуктивност на участъка Δz



ΔC - капацитет между двата проводника на участъка

ΔG - проводимост на участъка от линията

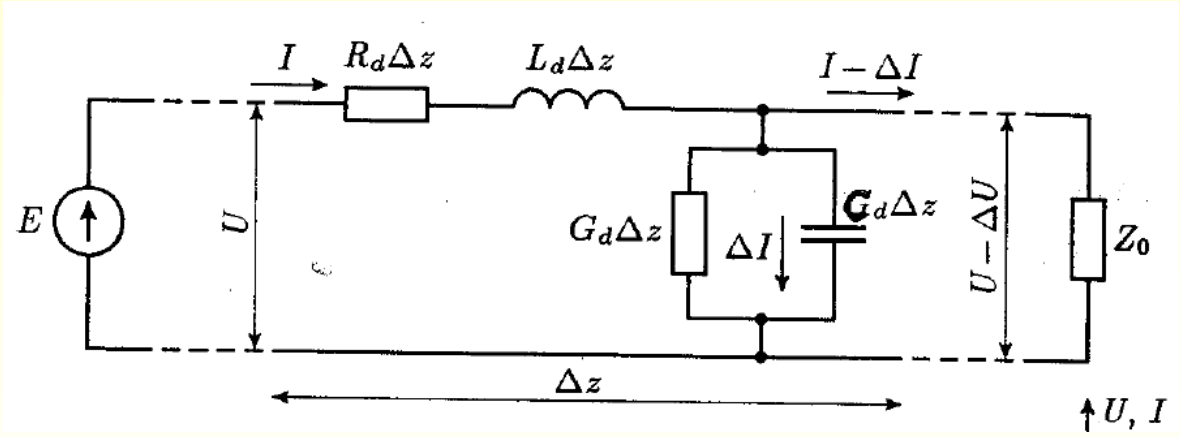
Еквивалентната схема на линията може да се представи с помощта на елементите ΔR, ΔL, ΔC, и ΔG, като безброй много участъци с безкрайно малка дължина Δz.

13. Линии с разпределени параметри

$\omega\Delta L >> \Delta R; \quad \omega\Delta C >> \Delta G$

- Допускаме, че няма загуби на енергия при разпространението на сигнала:

Линия, в която не се отчитат загуби се нарича **идеална линия**.



Z_0 товар на края на линията

Реалната линия с разпределени параметри при високи честоти е близка до **идеалната**, защото с повишаване на честотата реактивното съпротивление $\omega\Delta L$ и реактивната проводимост $\omega\Delta C$, приемат много големи стойности в сравнение със съответните активни съпротивление ΔR и *проводимост* ΔG .

13. Линии с разпределени параметри

2 Параметри

2.1 Разпределени параметри

Разпределени параметри са стойностите на индуктивността, съпротивлението, капацитета и проводимостта **за 1m дължина** на линията.

$$R_d = \frac{\Delta R}{\Delta z}(\Omega / m); \quad L_d = \frac{\Delta L}{\Delta z}(H / m); \quad C_d = \frac{\Delta C}{\Delta z}(F / m); \quad G_d = \frac{\Delta G}{\Delta z}(S / m);$$

RG8/U - Rd~1 Ω/m, Ld~250 nH/m, Cd~100 pF/m, G~0.1 mS/m

Зависят от конструкцията на линията, диаметрите на проводниците, разстоянието и изолацията между тях, диелектричната проницаемост на материалите.

- Пълното съпротивление и пълната проводимост за малък участък са:

$$Z_d = \sqrt{R_d^{\,2} + (\omega L_d)^2} \qquad Y_d = \sqrt{G_d^{\,2} + (\omega C_d)^2}$$

2.2 Параметри на линиите

- Характеристичен импеданс:

$$Z_C = \frac{U}{I} = \sqrt{\frac{R_d + j\omega L_d}{G_d + j\omega C_d}}$$

- Вълново съпротивление : $\omega L_d >> R_d; \quad \omega C_d >> G_d$

коаксиалните кабели са с вълново съпротивление- **50**, 52, **75**, или 93 Ω

$$Z_C = \rho = \frac{U_m}{I_m} \qquad \rho = \sqrt{\frac{L_d}{C_d}}$$

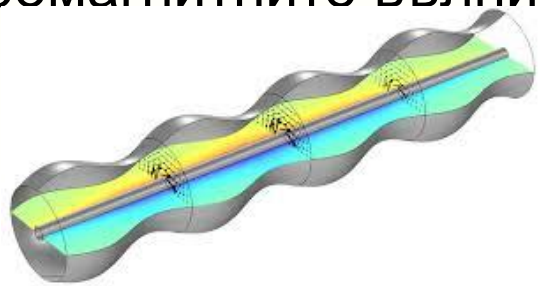
- за идеална линия (без загуби)

Зад. Определете вълновото съпротивление при Ld~250 nH/m, Cd~100 pF/m?

- Скорост на разпространение на електромагнитните вълни в идеалната линия:

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_d C_d}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

V=? (m/s)

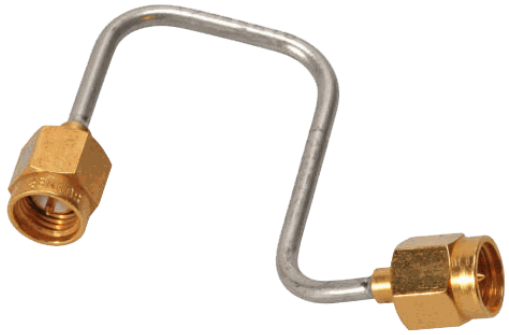


13.Видове коаксиални линии

Преимущества на коаксиалните линии:

1. работят от НЧ до СВЧ (от 0 Hz до ~20 GHz) за мощности mWдо 1kW!

1. **екранировката не позволява излъчване и са шумозащитени.**
2. **удобни за връзка;**
3. **лесни и евтини за производство.**



Видове коаксиални линии:

- **гъвкави коаксиални кабели;**
- **полутвърди коаксиални линии;**
- **твърди коаксиални линии;**
- **коаксиални линии с 2 и повече екранировки;**
- **коасиални линии с въздушно, полиетиленово или тефлоново диелектрично запълване**

Кабели

Коаксиалните кабели са с характеристичен импеданс(вълново съпротивление) 50, 52, 75, или 93 Ω

За диелектрик се използват материалите:
PE is Polyethylene (ε_r~2.4);
PTFE is Polytetrafluoroethylene (тефлон ε_r~2.05);
ASP is Air Space Polyethylene

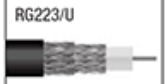
Различни системи за означение - най-разпространена е RGXX/U

Radio Guide/Universal

Table of RG standards

type	impedance [ohms]	core	dielectric			overall diameter		braid	velocity factor	comments
			type	[in]	[mm]	in	mm			
RG-6/U	75	1.0 mm	Solid PE	0.185	4.7	0.270	6.86	double	0.75	Low loss at high frequency for cable television, satellite television and cable modems
RG-6/UQ	75		Solid PE			0.298	7.57	quad		This is "quad shield RG-6". It has four layers of shielding; regular RG-6 only has one or two
RG-8/U	50	2.17 mm	Solid PE	0.285	7.2	0.405	10.3			Amateur radio; Thicknet (10BASE5) is similar
RG-8/X	50	1.0 mm	Solid PE	0.185	4.7	0.270	6.86	double	0.75	A thinner version, with the electrical characteristics of RG-8U in a diameter similar to RG-6

RG Coax Cable Applications

Cable Type	Impedance	Typical Application	Best feature	Trade Off
RG174/U	50 Ohm	Transmission of data signals in applications such as LAN/WAN or GPS	Small diameter, flexible	Higher signal loss than larger diameter cable such as RG58
RG188A/U	50 Ohm	Transmission of data signals in applications such as LAN/WAN or GPS in situations where high temperature performance is needed	Small diameter, flexible. High temperature rating of taped TFE outer jacket	Higher signal loss than larger diameter cable such as RG58 and higher cost than standard RG174
RG316/U	50 Ohm	Transmission of data signals in applications such as LAN/WAN or GPS in situations where high temperature performance is needed	Small diameter, flexible. High temperature rating of extruded FEP outer jacket	Higher signal loss than larger diameter cable such as RG58 and higher cost than standard RG174
RG58C/U	50 Ohm	Transmission of data signals in applications such as antenna feed cables or Ethernet backbones	Lower signal loss than smaller diameter cable such as RG174	Less flexible than smaller diameter cable such as RG174
RG142B/U	50 Ohm	Transmission of data signals in applications such as antenna feed cables or Ethernet backbones in situations where high temperature performance is needed	Lower signal loss than smaller diameter cable such as RG174. High temperature rating of extruded FEP jacket	Less flexible than smaller diameter cable such as RG174 and higher cost than RG58C cable.
RG59A/U	75 Ohm	Transmission of a video or audio signal in applications such as security systems or CATV	Lower signal loss than smaller diameter cable such as RG179. Flexibility of stranded center conductor cable	Higher signal loss than solid center conductor RG59B/U cable
RG59B/U	75 Ohm	Transmission of a video or audio signal in applications such as security systems or CATV	Lower signal loss than smaller diameter cable such as RG179 and RG59A/U stranded center conductor cable	Less flexible than smaller diameter cable such as RG179 or stranded center conductor RG59A/U
RG6/U	75 Ohm	Transmission of a video or audio signal in applications such as security systems or CATV	Lower signal loss than smaller diameter cable such as RG179 and both RG59A/U or RG59B/U cable	Less flexible than smaller diameter cable such as RG179 and both RG59A/U or RG59B/U
RG223/U 	50 Ohm	Transmission of data signals in applications such as LAN/WAN or GPS in situations where low signal loss and high shielding performance is needed	Lower signal loss and better shielding than smaller diameter cable such as RG174 or RG58C/U cables	Less flexible than smaller diameter cable such as RG174 and higher cost than single shielded RG58C cable
RG213/U	50 Ohm	Transmission of data signals in applications such as antenna feed cables in situations where low signal loss and high operating voltage performance is needed	Lower signal loss and higher operating voltage than RG58C/U cable	Larger diameter and less flexible than RG58C/U cable
RG179B/U	75 Ohm	Transmission of a video signal in applications such as security systems where high temperature performance is needed	Small diameter, flexible. High temperature rating of extruded FEP outer jacket	Higher signal loss and cost than larger diameter cable such as RG59
RG187/U	75 Ohm	Transmission of a video signal in applications such as security systems where high temperature performance is needed	Small diameter, flexible. High temperature rating of TFE taped outer jacket	Higher signal loss and cost than larger diameter cable such as RG59

L-com Global Connectivity

For more information, visit us at www.L-com.com or call 1-800-343-1455

© L-com, Inc. All Rights Reserved

Максимална честота на работа на коаксиалната линия:

$$f_c(GHz) = \frac{190.85}{(D+d)\sqrt{\varepsilon_R}}$$

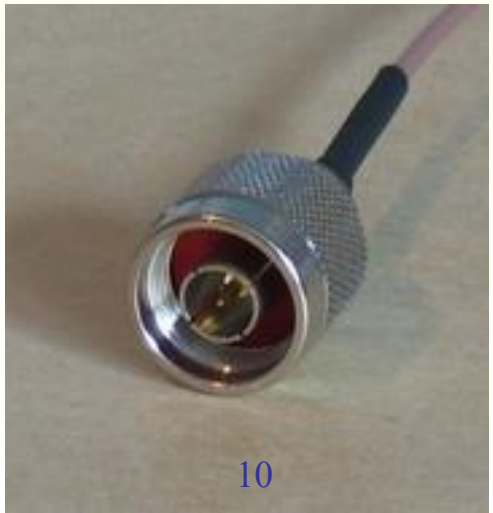
for D and d in millimeters

Коаксиални линии - СЪЕДИНИТЕЛИ

APC-7mm (18 GHz) Г<0.001

BNC

N-type- до 20 GHz
0.02<Г<0.1



SMA- до 18 (26) GHz
sub-miniature-adaptor

13. Линии с разпределени параметри

- **Константа на разпространение** $\gamma=\alpha+j.\beta$

$$U(z)=U_m.e^{-\gamma.z}.e^{j\omega.t}=U_m e^{-(\alpha+j\beta).z}.e^{j\omega.t}=U_m e^{-\alpha.z}e^{j(\omega.t-\beta.z)}=e^{-\alpha.z}U_m\sin(\omega.t-\beta.z)$$

- **Фазова константа** (изменението на фазата на вълната на единица дължина на линията)

$$\beta=\frac{\omega}{v}\approx\omega\sqrt{L_d C_d}=\frac{2\pi.f}{\lambda/T}=\frac{2\pi.f}{\lambda.f}=\frac{2\pi}{\lambda}$$

- **Коефициент на затихване** – изразява затихването на вълната в линия със загуби (намаляването на амплитудата с разстоянието).

$$\alpha=\frac{R_d}{2}\sqrt{\frac{C_d}{L_d}}+\frac{G_d}{2}\sqrt{\frac{L_d}{C_d}}$$

~0.1 dB/m f=100 MHz
~1 dB/m f =1 GHz

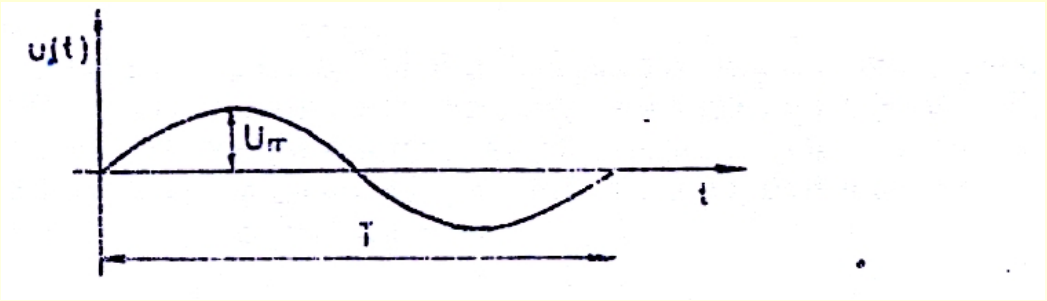
- **Входен импеданс (съпротивление)** се изразява с отношението на напрежението и тока, които съответстват на определена дължина от линията (т.е на определено разстояние (x) **от края на линията**).

$$Z_{in}(x)=\frac{U\ (x)}{I\ (x)}$$

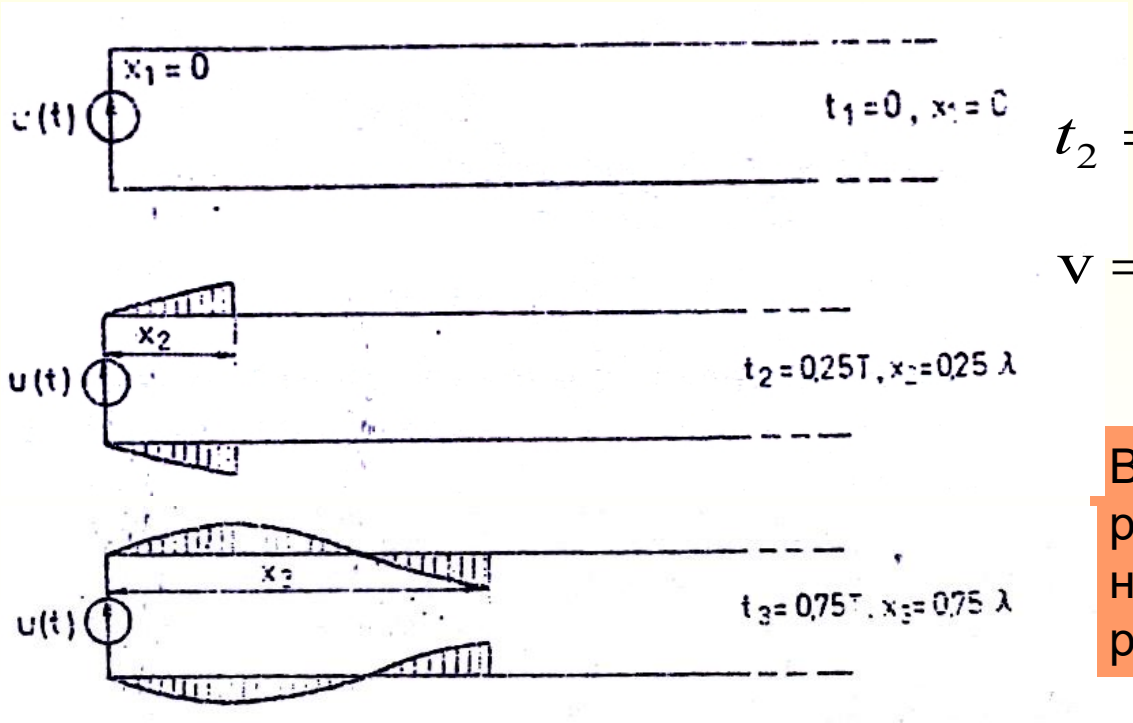
13. Линии с разпределени параметри

3.Бягащи вълни в идеална линия с разпределени параметри

$u = U_m \sin \omega t$ На двупроводна линия е подадено ВЧ синусоидално напрежение с период T, на жилото U (V) а на оплетката 0.



Допускаме, че линията е безкрайно дълга и без загуби R=0, G=0.



$$t_1 = 0 \quad \rightarrow \quad u = 0$$

$$t_2 = 0{,}25T \quad \lambda = \mathrm{v}.T$$

$$\mathrm{v} = \frac{1}{\sqrt{L_d.C_d}} = const = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

В двупроводната линия се разпространява вълна на тока и напрежението съпроводена с разпространение на ЕМ вълна!

13. Линии с разпределени параметри

- Вълната на напрежението ще достигне на разстояние **z** от началото на линията за време *Δt* :

$$\Delta t = \frac{z}{\mathrm{v}}$$

Напрежението в дадена точка (**z**), отдалечена от началото на линията (мястото на включване на генератора) на разстояние **z** е:

$$u(\mathrm{z}) = U_m \sin\left[\omega\left(t - \frac{z}{\mathrm{v}}\right)\right]$$

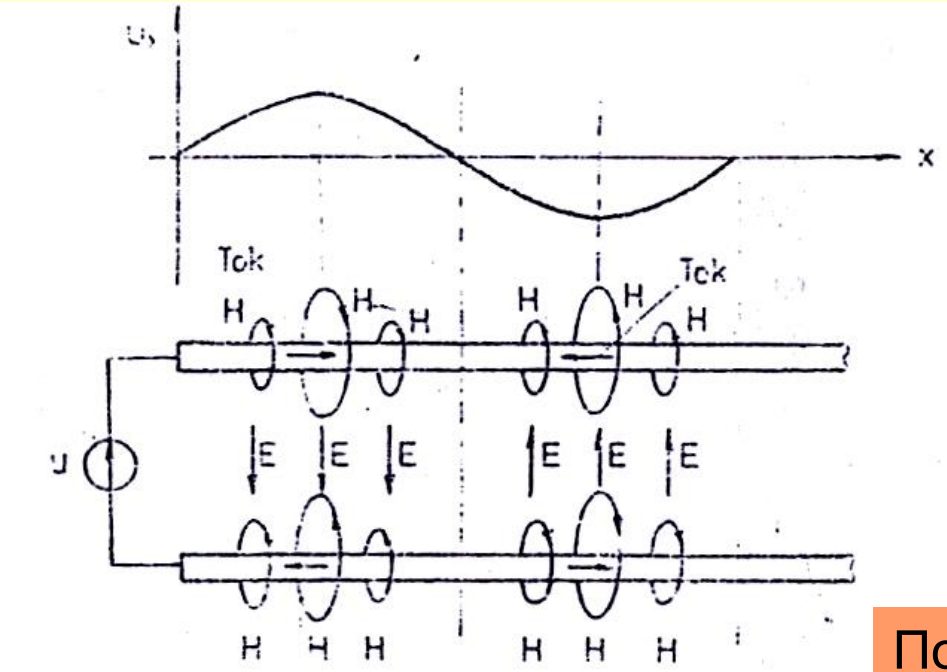
Напрежението е функция не само на времето t но и на разстоянието **z!** Това е съществена разлика между веригите със съсредоточени и разпределени параметри!

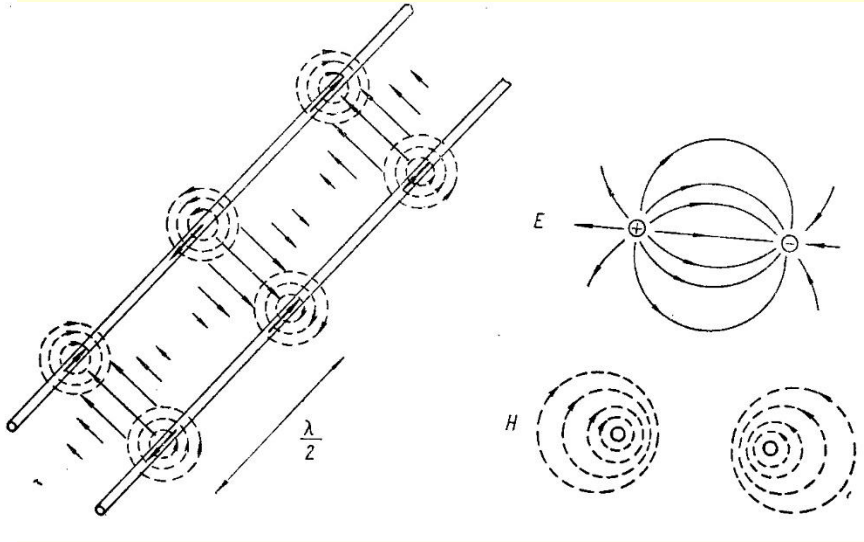
$$Z_C = \rho = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{\frac{L_d}{C_d}} \qquad i(\mathrm{z}) = I_m \sin\left[\omega\left(t - \frac{\mathrm{z}}{\mathrm{v}}\right)\right]$$

Поради активния характер на ρ, напрежението и токът в безкрайно дълга линия без загуби имат съвпадащи фази в цялата линия.

13. Линии с разпределени параметри

Вълновото съпротивление може да се разглежда по отношение на генератора, като входно съпротивление на безкрайно дълга линия.



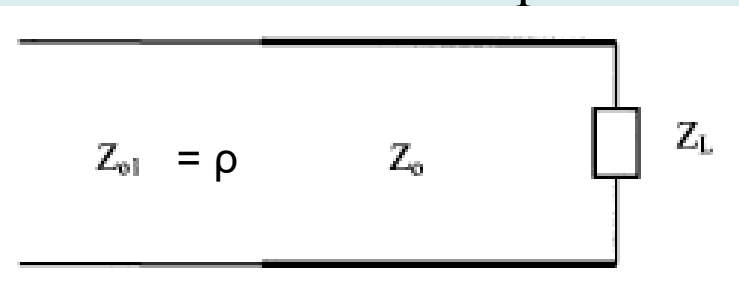


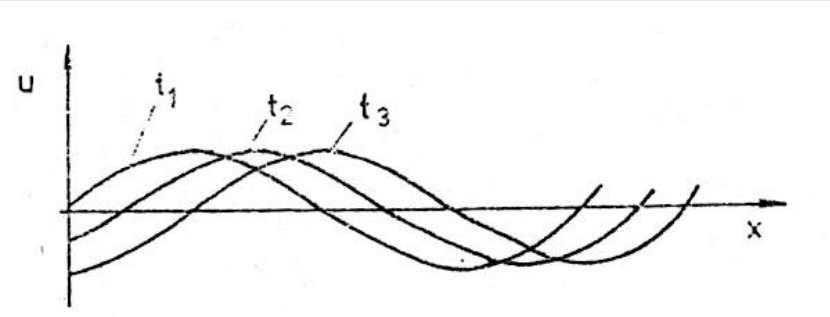
По двупроводната линия се разпространява напречна ЕМ вълна (ТЕМ).

По безкрайно дълга линия вълната на напрежението ще продължава да се разпространява до безкрай, т.е без отражение от края на линията. Такава вълна се нарича **бягаща вълна**.

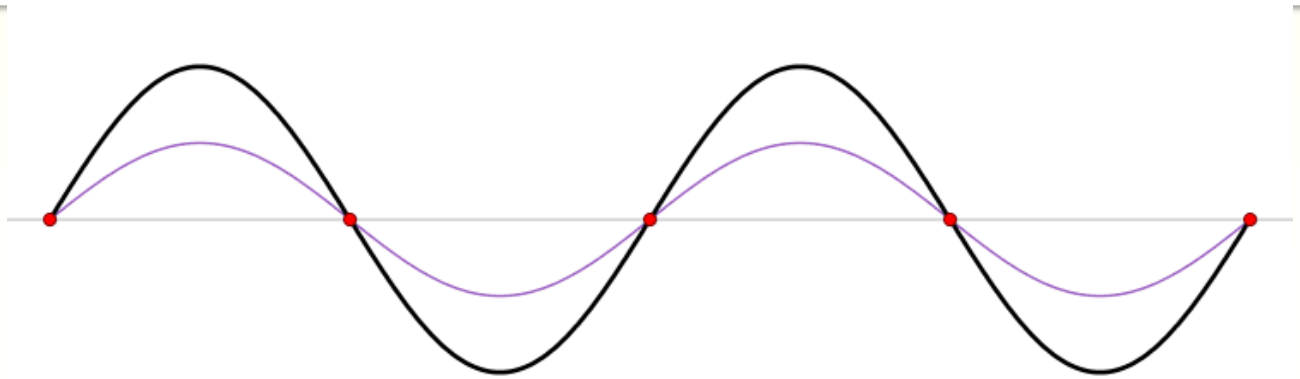
13. Линии с разпределени параметри

Бягащи вълни могат да се получат в линия с крайна дължина ако тя е натоварена с активно съпротивление $Z_L = R_L = \rho$ равно по стойност на нейното вълново съпротивление.





Съгласуване между линията и товара - когато е необходимо да се предаде максималната енергия от източник към даден товар се използва режим на бягаща вълна и съпротивление равно на вълновото. Ako $Z_L \neq \rho$ се появява **стояща** вълна и се поставя импедансен трансформатор с подходящо Z_0 за съгласуване.



Example 3.1: Calculate the equivalent impedance and admittance of a one-meter-long line that is operating at 1.6 GHz. The line parameters are: $L = 0.002\,\mu\text{H/m}$, $C = 0.012\,\text{pF/m}$, $R = 0.015\,\text{ohm/m}$, and $G = 0.1\,\text{mS/m}$. What is the characteristic impedance of this line?

$$Z = R + j\omega L = 0.015 + j2\pi \times 1.6 \times 10^{9} \times 0.002 \times 10^{-6}\,\Omega/\text{m}$$

$$= 0.015 + j20.11\,\Omega/\text{m}$$

$$Y = G + j\omega C = 0.0001 + j2\pi \times 1.6 \times 10^{9} \times 0.012 \times 10^{-12}\,\text{S/m}$$

$$= 0.1 + j0.1206\,\text{mS/m}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = 337.02 + j121.38\,\Omega$$