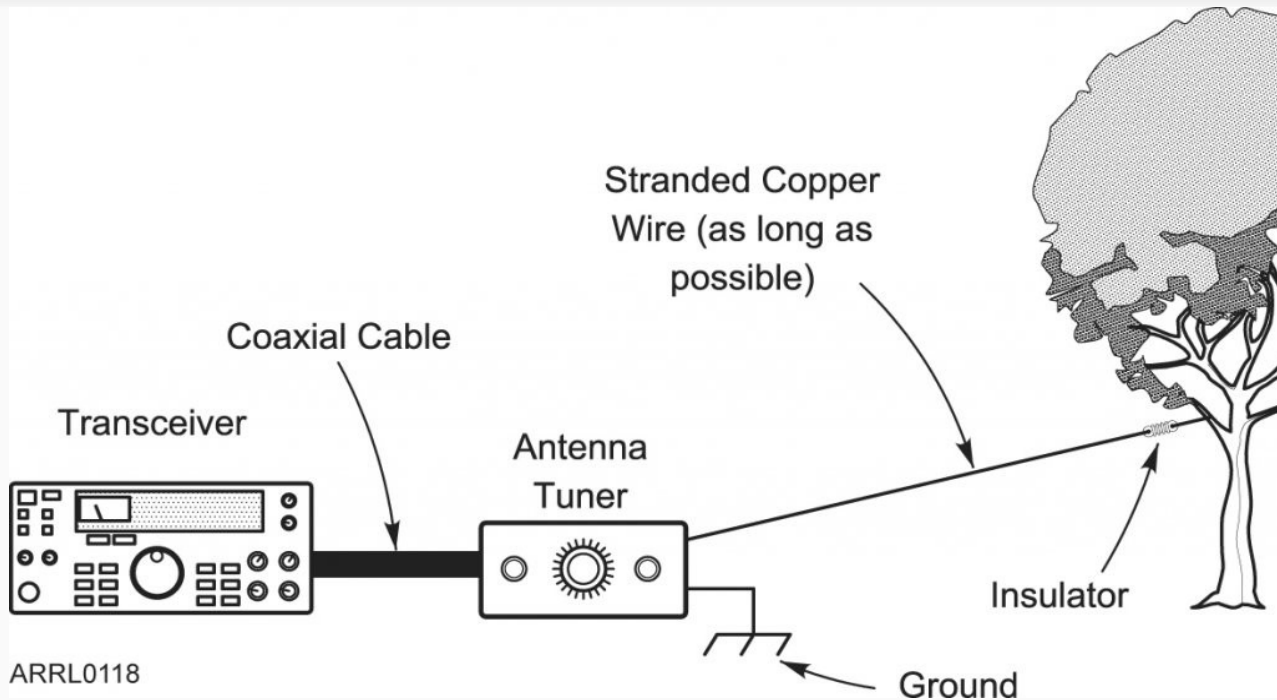


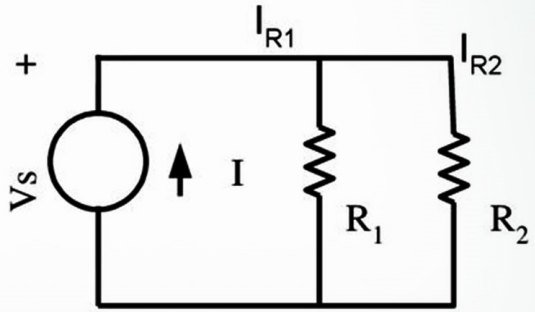
Tápvonalak



Miről beszélünk?

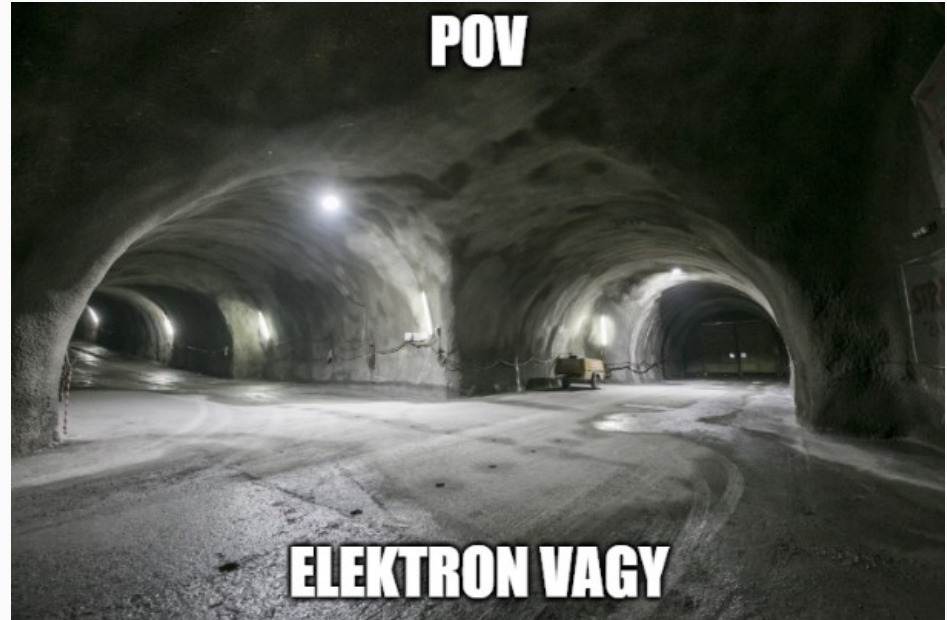


Gimis fizika



$$I_{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$
$$I_{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

<https://youtu.be/2AXv49dDQJw?t=645>



Miről beszélünk?

$$\frac{\partial V(x)}{\partial x} = -(R + j\omega L) I(x)$$

$$\frac{\partial I(x)}{\partial x} = -(G + j\omega C) V(x)$$

Fincsi, mi?

$$\operatorname{Re}(\gamma) = \alpha = (a^2 + b^2)^{1/4} \cos(\psi)$$

$$\operatorname{Im}(\gamma) = \beta = (a^2 + b^2)^{1/4} \sin(\psi)$$

$$Y_{\text{Lossless}} = \begin{bmatrix} \frac{-j\cot(\beta l)}{Z_o} & \frac{j\csc(\beta l)}{Z_o} \\ \frac{j\csc(\beta l)}{Z_o} & \frac{-j\cot(\beta l)}{Z_o} \end{bmatrix}$$

$$Z_{\text{Lossless}} = \begin{bmatrix} -jZ_o \cot(\beta l) & -jZ_o \csc(\beta l) \\ -jZ_o \csc(\beta l) & -jZ_o \cot(\beta l) \end{bmatrix}$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

$$V(x) = V_{(+)} e^{-\gamma x} + V_{(-)} e^{+\gamma x}$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_o} (V_{(+)} e^{-\gamma x} - V_{(-)} e^{+\gamma x})$$

$$a \equiv RG - \omega^2 LC = \omega^2 LC \left[\left(\frac{R}{\omega L} \right) \left(\frac{G}{\omega C} \right) - 1 \right]$$

$$b \equiv \omega CR + \omega LG = \omega^2 LC \left(\frac{R}{\omega L} + \frac{G}{\omega C} \right)$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

$$\psi \equiv \frac{1}{2} \operatorname{atan2}(b, a)$$

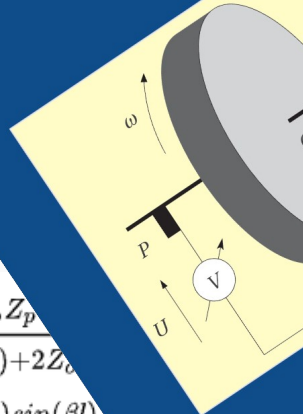
$$Z_{\text{in}}(\ell)$$

$$Z_{\text{in}}(\ell)$$

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o}$$

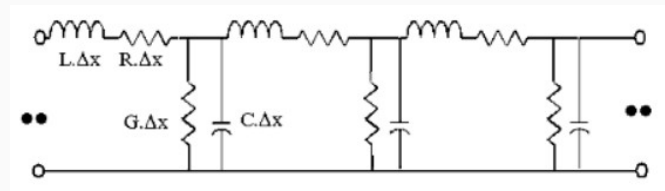
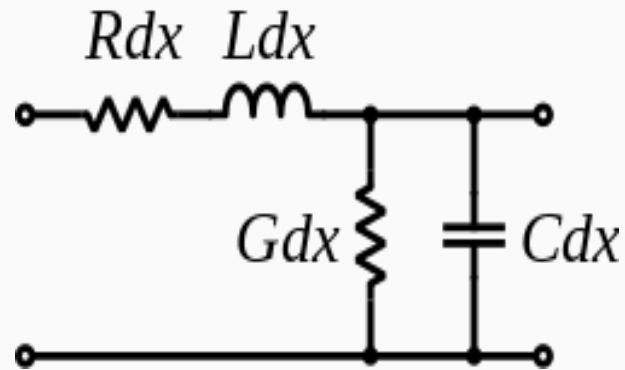
$$S_{\text{Lossless}} = \begin{bmatrix} \frac{(Z_o^2 - Z_p^2) \sin(\beta l)}{(Z_o^2 + Z_p^2) \sin(\beta l) - j2Z_o Z_p \cos(\beta l)} & \frac{2Z_o Z_p}{j(Z_o^2 + Z_p^2) \sin(\beta l) + 2Z_o Z_p \cos(\beta l)} \\ \frac{2Z_o Z_p}{j(Z_o^2 + Z_p^2) \sin(\beta l) + 2Z_o Z_p \cos(\beta l)} & \frac{(Z_o^2 - Z_p^2) \sin(\beta l)}{(Z_o^2 + Z_p^2) \sin(\beta l) - j2Z_o Z_p \cos(\beta l)} \end{bmatrix}$$

Bílicz Sándor
ELEKTROMÁGNES TEREK
PÉLDATÁR



A tápvezeték modellje

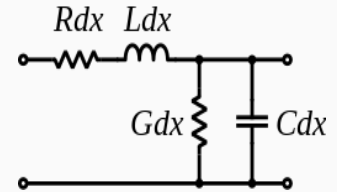
- Kapcsolat az adó-vevő és az antenna között
- Elvárások:
 - Veszteségmentes átvitel
 - Ne sugározzon
- Hullámhosszal összemérhető méretek
Szükséges a hullámjelenségek figyelembevétele
→ Távvezeték
- Elosztott paraméterű hálózat



Hullámimpedancia

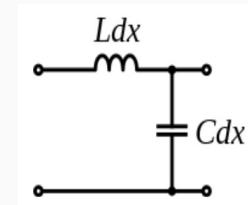
- Végtelen hosszú vezetéken kialakuló feszültség és áram aránya
- VAGY a kialakuló elektromos és mágneses térerősség aránya
- Tápvonal hullámimpedanciája:
 - R: Hosszegységre eső ellenállás
 - G: Hosszegységre eső szivárgás
 - L: Hosszegységre eső induktivitás
 - C: Hosszegységre eső kapacitás

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

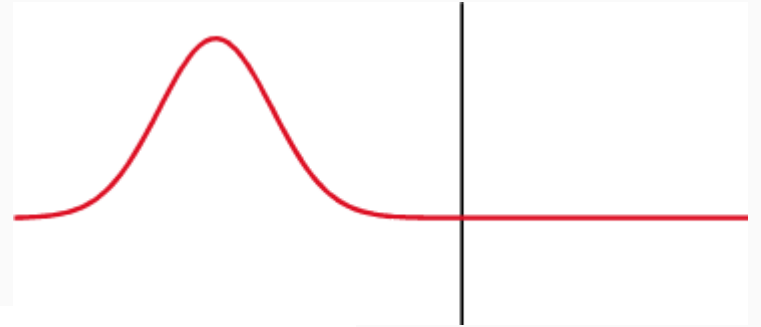
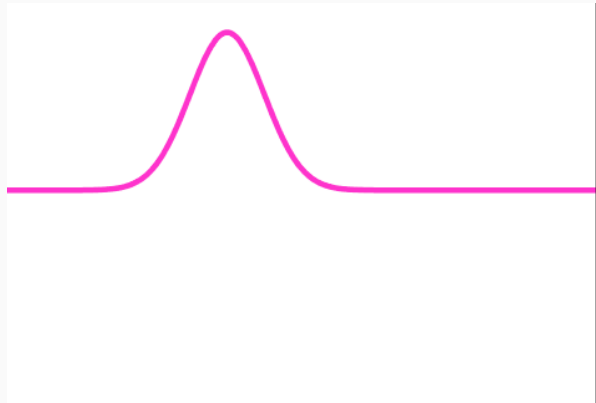


- Ideális tápvonal esetén:
 - Nincs veszteség a tápvonalon
 - Gyakorlatban is jó közelítés

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$



Reflexió

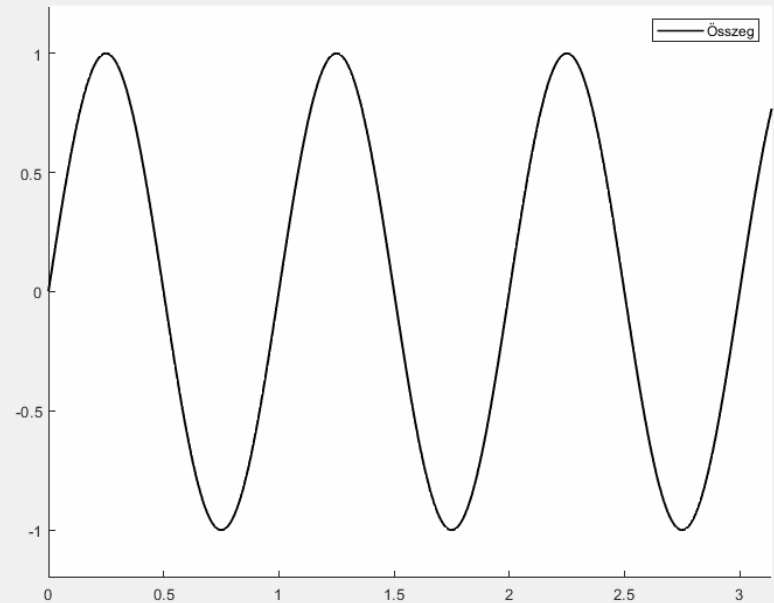
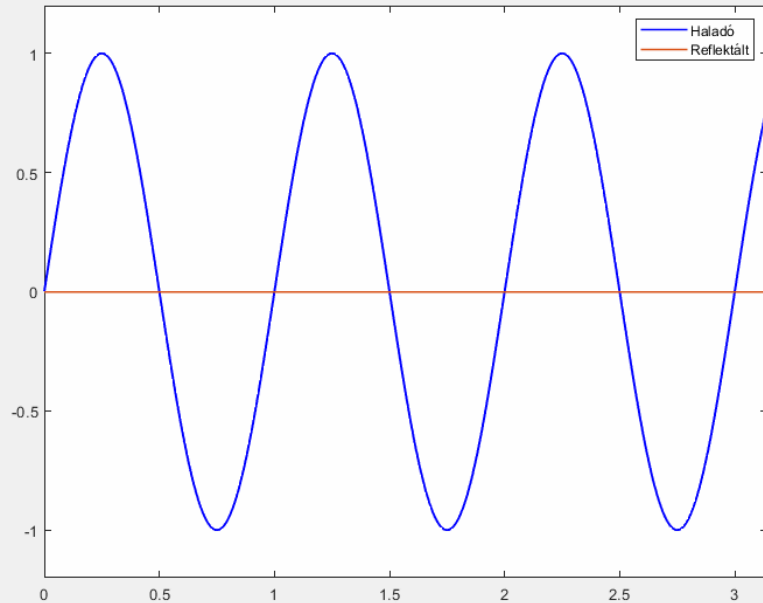


$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

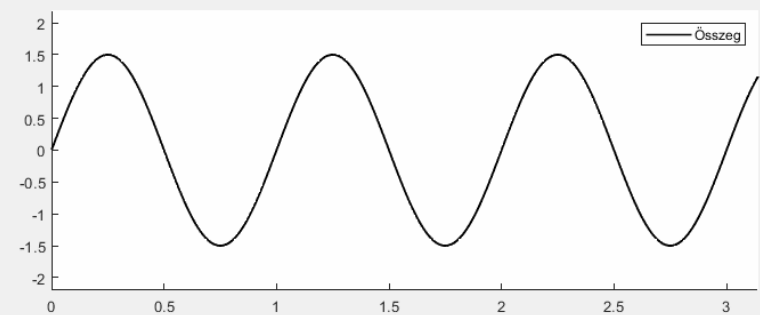
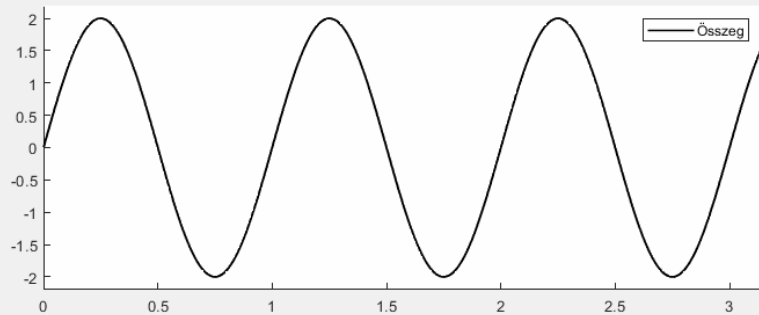
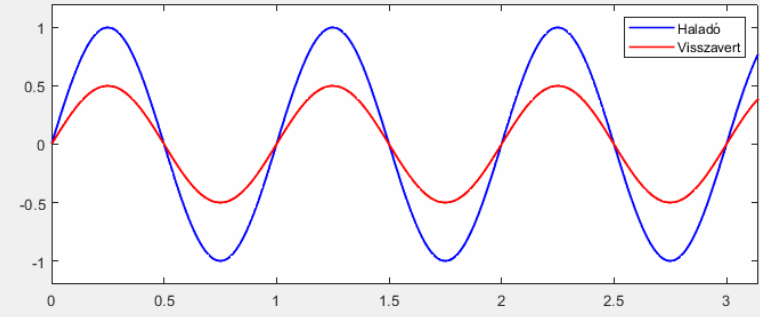
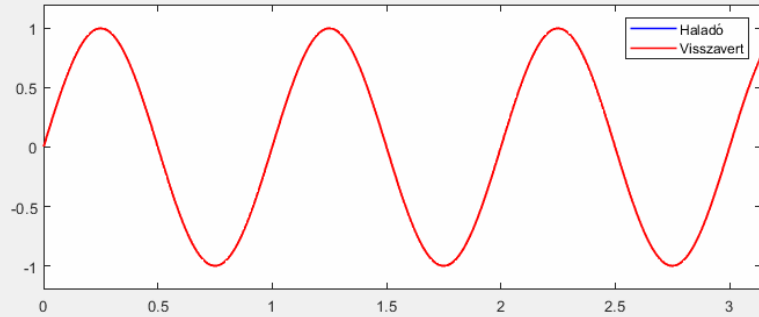
<https://ophysics.com/waves3.html>

<https://ophysics.com/waves5.html>

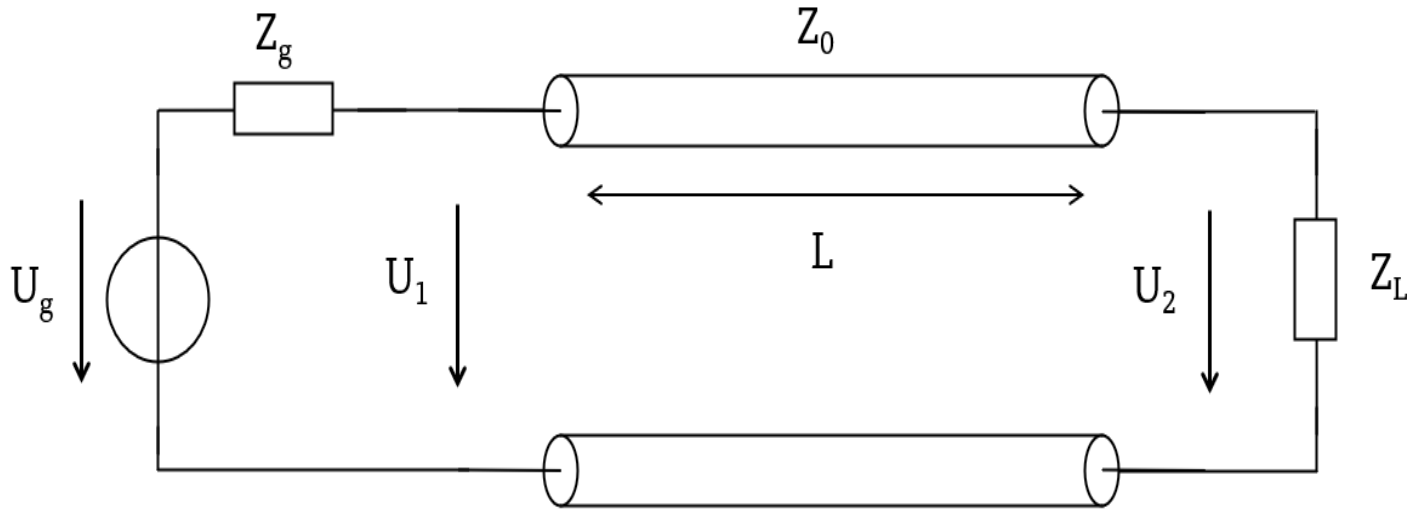
Haladó hullám (illesztett lezárás)



Haladó és visszavert hullám



Kérdés: Hogyan áll be az osztó?

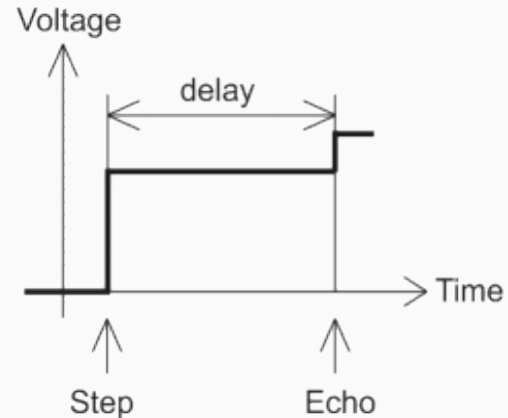
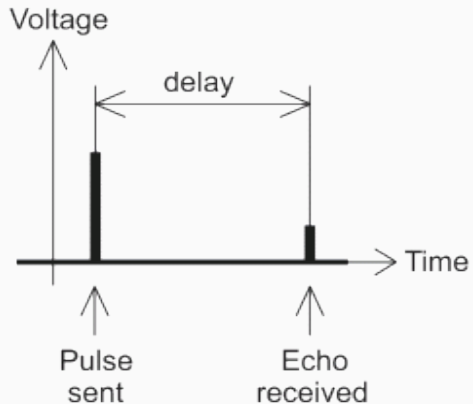


$$U_2 = \frac{Z_L}{Z_g + Z_L} \cdot U_g$$

$$\text{ha } Z_L = Z_0$$

Reflexió

- Teljesítmény visszaverődés
- Illesztetlen lezárásról (adott frekvencián)
- Más hullámimpedanciájú közegről



Hullámterjedés a tápvezetelen

- Szabadtéri terjedés: $\lambda = \frac{c}{f}$
- Rövidülési tényező:
 - Az EM hullám dielektrikumában halad, nem vákuumban
 - Lassabb a hullám terjedési sebessége (pl: 67%)

Rel. velocity ratio

RG58c/u

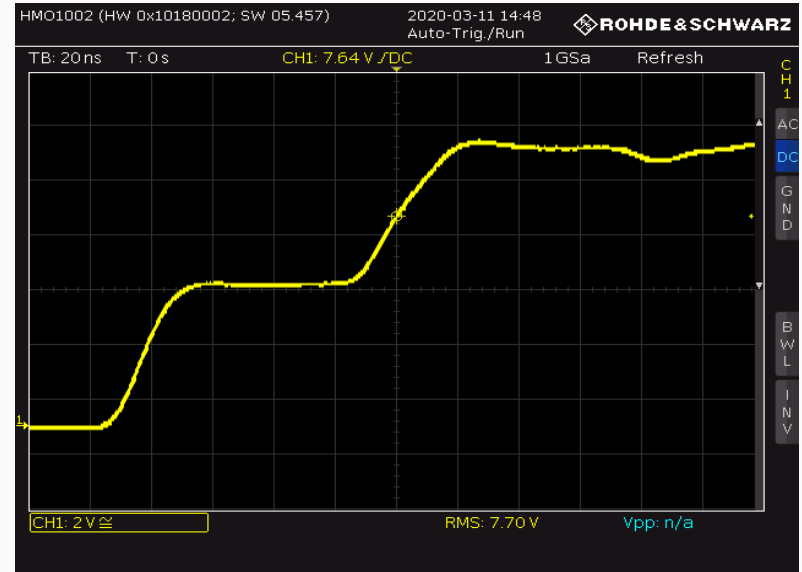
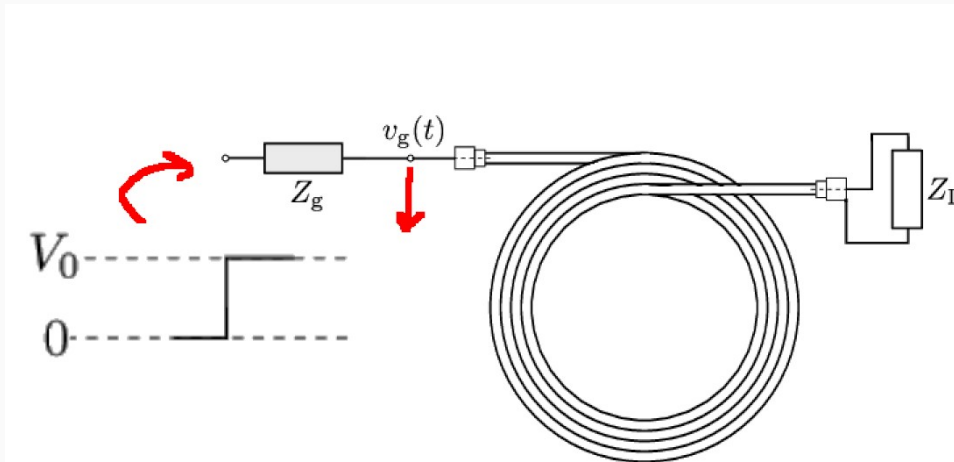
V rel

%

67,0

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot c$$

Demó



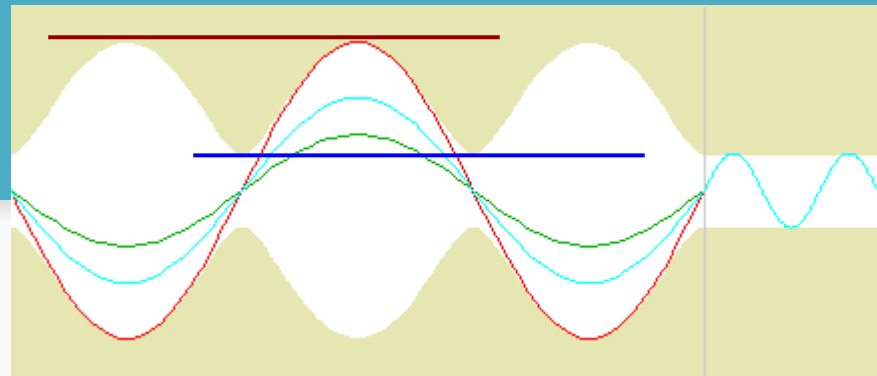
hosszú kábel, szakadás

Állóhullám arány (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio

- Ugyan ezt fejezi ki, más szemlélettel
 - A szuperponált hullámamplitúdó maximumának és minimumának a hányadosa
- VSWR = 1
 - illesztett lezárás
- VSWR = ∞
 - minden visszaverődik

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$



Return Loss (dB)	Reflected Pwr (%)	Forward Power (%)	Mismatch Loss (dB)	VSWR	Reflection Coefficient
0.00	100.00	0.00	∞	∞	1.00
1.00	79.43	20.57	6.87	17.39	0.89
2.00	63.10	36.90	4.33	8.72	0.79
3.00	50.12	49.88	3.02	5.85	0.71
4.00	39.81	60.19	2.20	4.42	0.63
5.00	31.62	68.38	1.65	3.57	0.56
6.00	25.12	74.88	1.26	3.01	0.50
7.00	19.95	80.05	0.97	2.61	0.45
8.00	15.85	84.15	0.75	2.32	0.40
9.00	12.59	87.41	0.58	2.10	0.35
10.00	10.00	90.00	0.46	1.92	0.32
12.00	6.31	93.69	0.28	1.67	0.25
15.00	3.16	96.84	0.14	1.43	0.18
20.00	1.00	99.00	0.04	1.22	0.10
30.00	0.10	99.90	0.00	1.07	0.03
∞	0.00	100.00	0.00	1.00	0.00

Állóhullámarány - SWR

- VSWR - Voltage Standing Wave Ratio
- A tápvonal mentén a legnagyobb és a legkisebb feszültség aránya

$$SWR = \frac{U_{max}}{U_{min}} \quad 1 \leq SWR < \infty$$

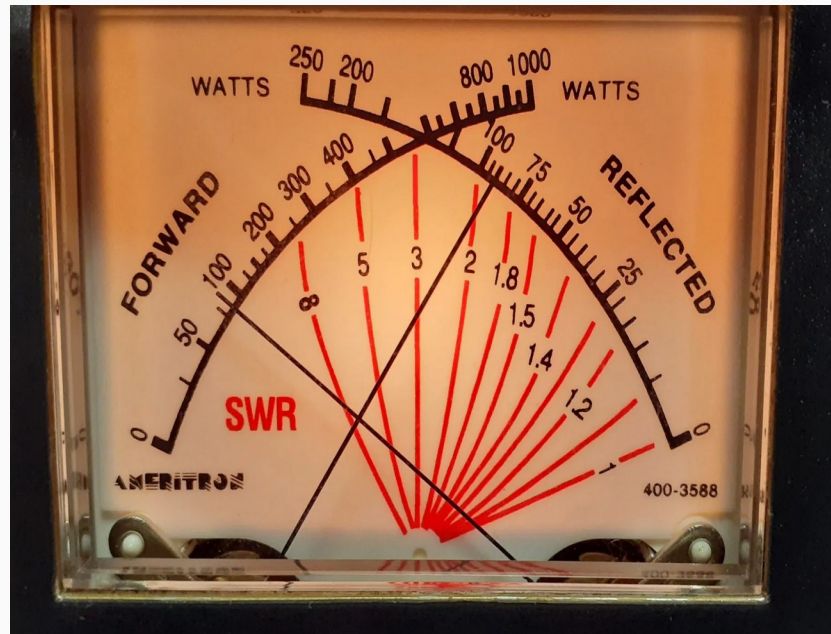
- Ökölszabály: $SWR < 2; 3$



Miért rossz a visszavert hullám?

- Romlik a hatásfok
- Károsíthatja az adófokozatot
 - túlmelegedés
 - nagyobb feszültség
- Kritikus SWR érték: 2-3 körül (10-25% visszaverődés)
- Elkerülhető:

Illesztőhálózat



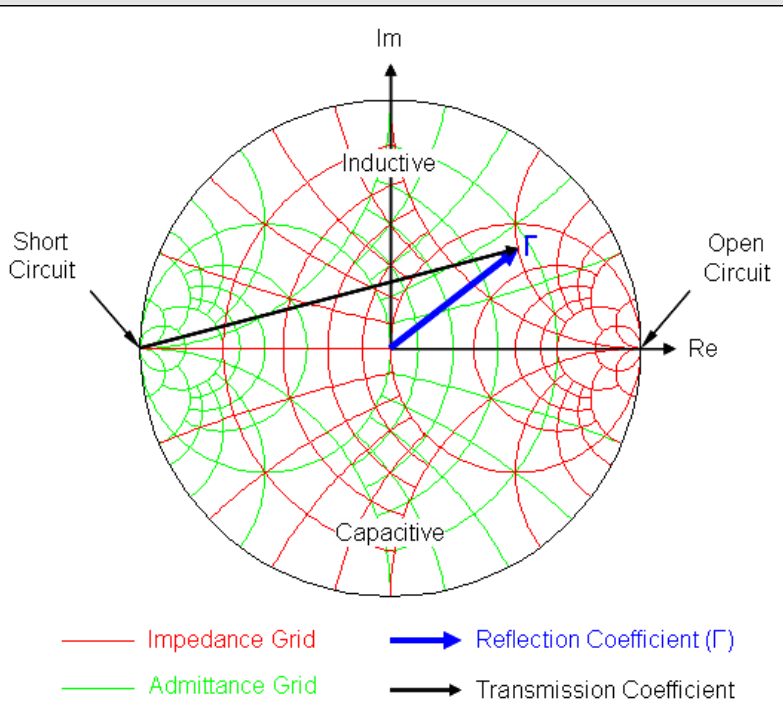
Miért rossz a visszavert hullám?

- Romlik a hatásfok
- Károsíthatja az adófokozatot
 - túlmelegedés
 - nagyobb feszültség
- Kritikus SWR érték: 2-3 körül (10-25% visszaverődés)
- Elkerülhető:

Illesztőhálózat



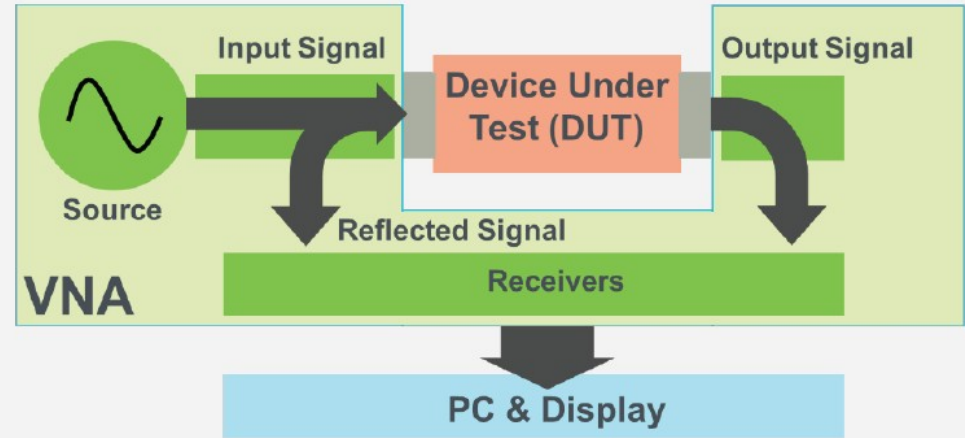
Smith-diagram



- Grafikus eszköz összetett számításokra
- Impedanciák ábrázolása
- Tápvonal impedanciára gyakorolt hatásának vizsgálata
- Impedanciaillesztési feladatok megoldása

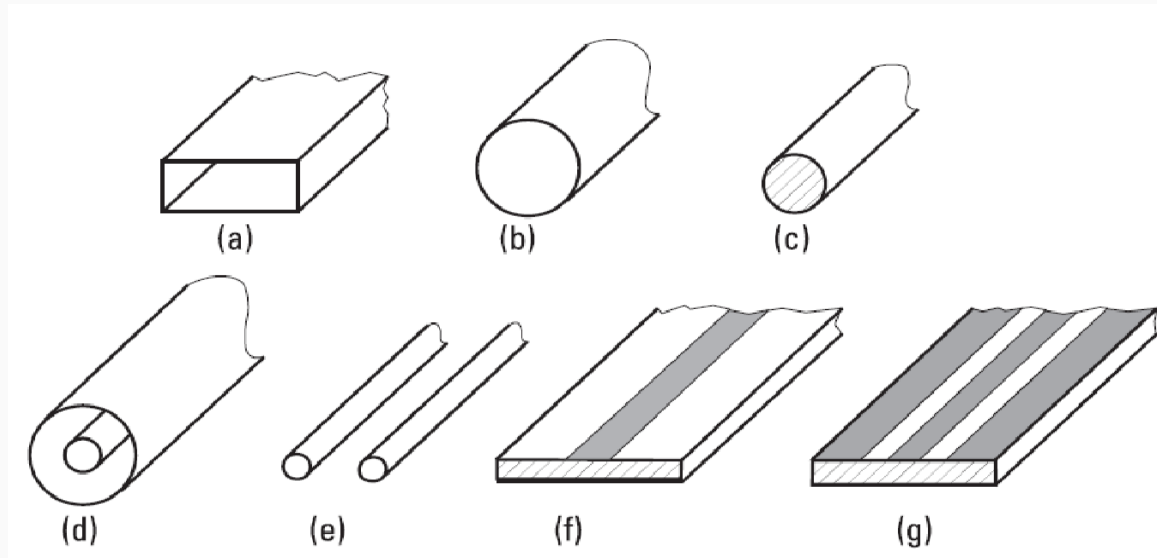
<https://www.microwaves101.com/encyclopedias/smith-chart-basics>

Nano VNA



<https://www.tek.com/en/blog/vna-back-%E2%80%93-93-now-it%E2%80%99s-time-come-speed>

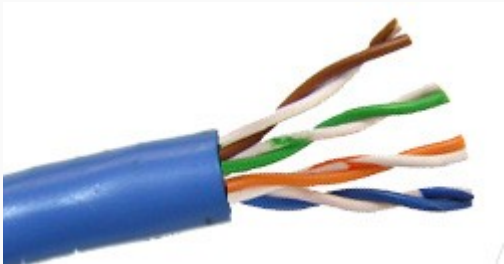
Tápvonalak fajtái



- a) Négyzetletű csőtápvonal
- b) Kör keresztmetszetű csőtápvonal
- c) Dielektrikummal kitöltött csőtápvonal (üvegszál)
- d) Koax kábel
- e) Lecher vezeték
- f) Mikroszalag vonal
- g) Koplanár vonal

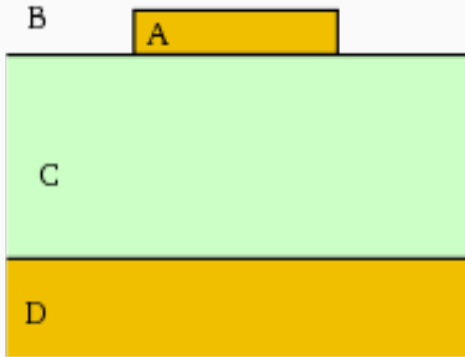
Macskalétra

- Szimmetrikus
- Lecher-vezeték
- Néhány 100 ohm

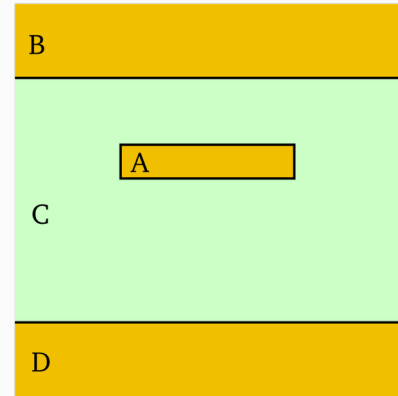


Microstrip, stripline

- NYÁK lemezeken kialakítva
- Aszimmetrikus



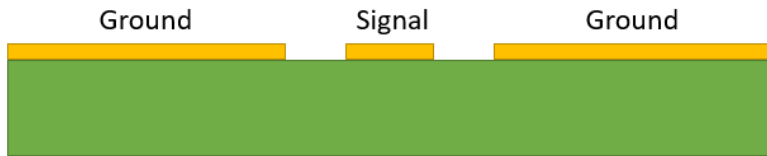
Mikrostrip



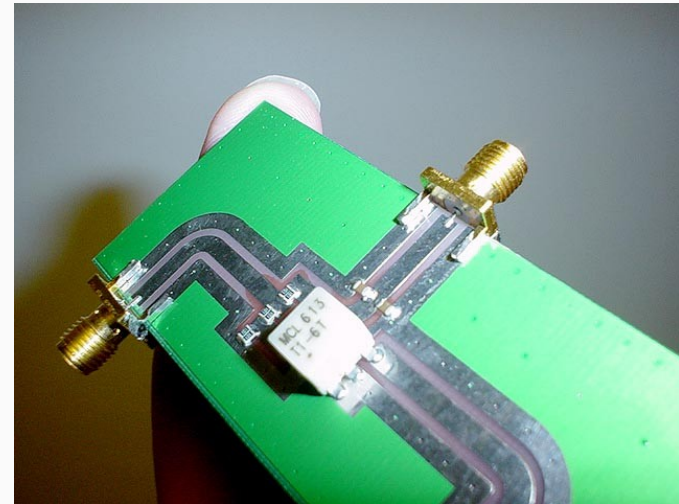
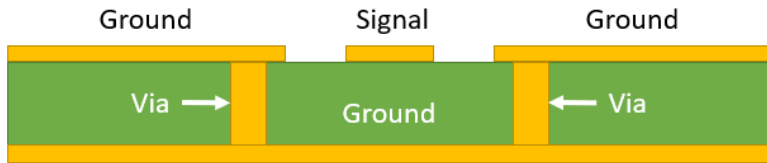
Stripline

Koplanár tápvezeték

Coplanar waveguide



Grounded coplanar waveguide



SMA csatlakozók rögzítésének egy módja

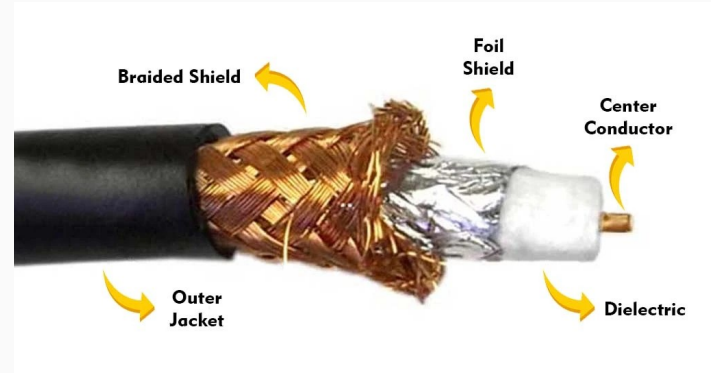
Csőtápvonalak

- Nagy teljesítmény
- Üregrezonátorok elve
- A rádióamatőröknél ritkán
- Radarok, műholdas alkalmazások
- Kis veszteség



Koaxiális kábel

- Aszimmetrikus
- Korlátozott teljesítmény
- 50 vagy 75 ohm tipikusan



PL-259 (Amphenol)
< 300 MHz



BNC
< 4 GHz



N csatlakozó
< 11 GHz (18 GHz)



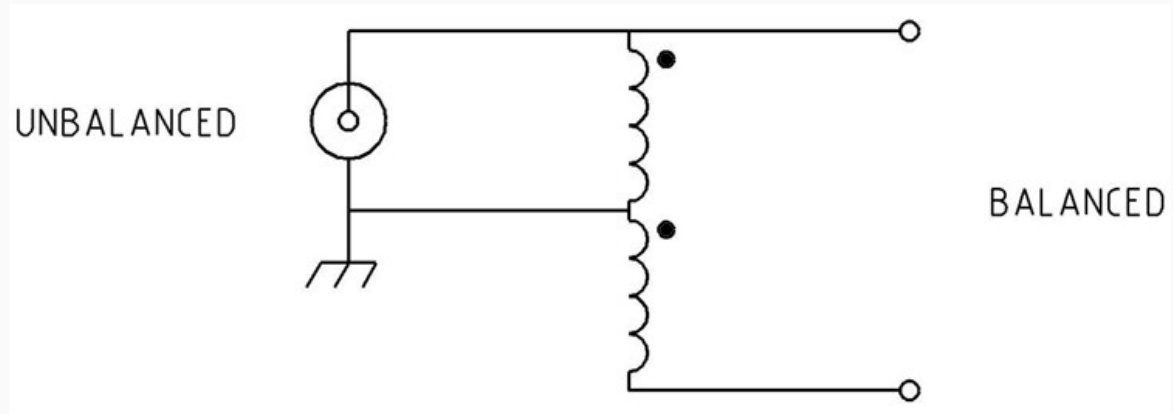
SMA
< 18 GHz (26.5 GHz) [34 GHz]

Mit látunk?

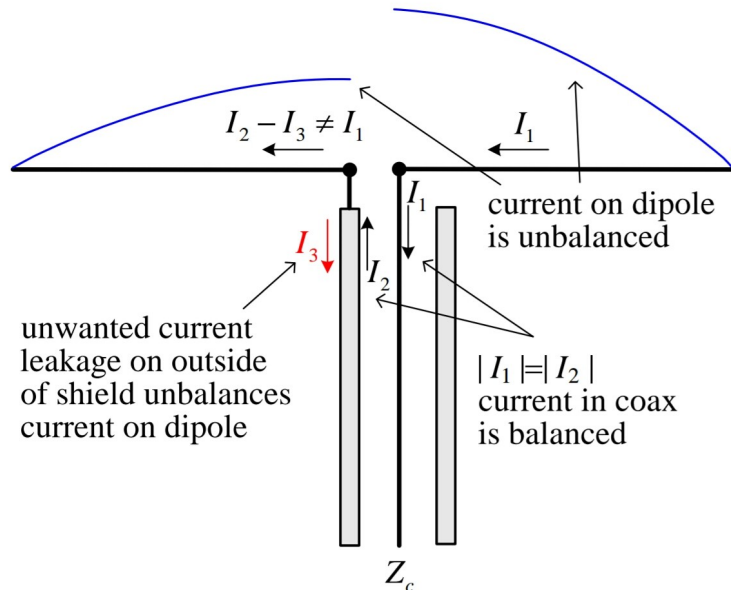


Balun transzformátor

- Szimmetrikus - aszimmetrikus illesztés (BALanced - UNbalanced)
- Impedancia transzformáció
- Cél: köpenyáram megszüntetése koax kábelen



Miért kell balun?



- Nem kívánt köpenyáramok megszüntetése
- Nélküle romlik a távoltéri karakterisztika
- Nem szeretnénk, hogy az antenna része legyen → zaj, sugárzás

Tápvonalak egyéb felhasználásai

- Fázistolás
- Reaktáns tag - negyedhullámú tápvonal
 - Lezárva szakadással: Soros rezgőkör
 - Lezárva rövidzárral: Párhuzamos rezgőkör
- Impedanciáttranszformátor
- Balun



$$Z_{\text{in}}(\ell) = Z_0 \frac{Z_L + j Z_0 \tan(\beta \ell)}{Z_0 + j Z_L \tan(\beta \ell)}$$



