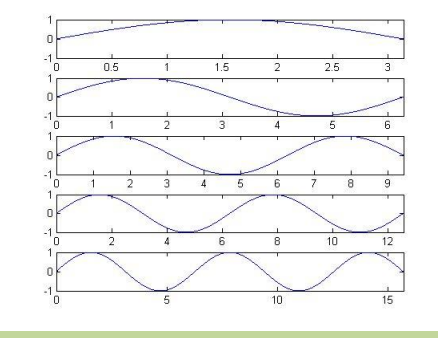
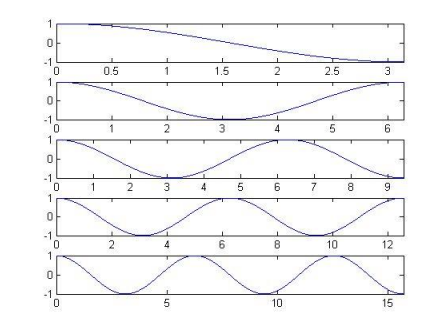
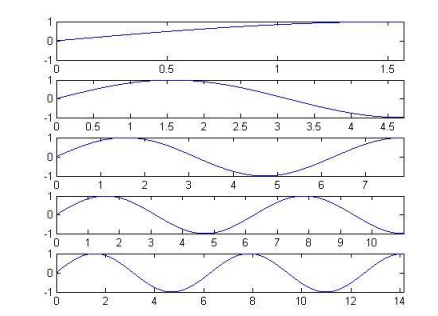



példatár összefoglaló:	feladatok:	megoldások:
$\frac{\partial u(z,t)}{\partial z} = -R' i(z,t) - L' \frac{\partial i(z,t)}{\partial t}$ $\frac{\partial i(z,t)}{\partial z} = -G' u(z,t) - C' \frac{\partial u(z,t)}{\partial t}$	<p>Írja fel a táviróegyenleteket ideális távvezetékre az időtartományban!</p>	$\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = -L' \frac{\partial i(x,t)}{\partial t}$ $\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = -C' \frac{\partial u(x,t)}{\partial t}$
$U(z) = U^+ e^{-\gamma z} + U^- e^{\gamma z}$ $I(z) = I^+ e^{-\gamma z} + I^- e^{\gamma z}$	<p>Egy ideális távvezeték bemenetén a feszültség komplex amplitúdója $U_1=500$ V, a lezárásán $U_2=400 e^{-j\pi/2}$ V. A hullámimpedancia $Z_0=75 \Omega$, a fázisgyűttható $\beta=0,3\pi$ 1/m, a vezeték hossza $h=15$ m.</p> <p>Írja fel a feszültség komplex amplitúdóját pozitív és negatív x irányokba haladó hullámok összegeként!</p>	$\beta h = 9\pi / 2$ $U(x) = \underbrace{U_0^+ e^{-j\beta x}}_{x=0 \rightarrow 500} + \underbrace{U_0^- e^{j\beta x}}_{x=h \rightarrow -400j}$ $U_0^+ = 450V$ $U_0^- = 50V$
$Z_0 = \frac{U^+}{I^+} = -\frac{U^-}{I^-}$ $Z_0 = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$ <p>kiegészítésképpen:</p> $U^+ + U^- = Z_0 (I^+ - I^-) = U_2$ $I^+ + I^- = \frac{(U^+ - U^-)}{Z_0} = I_2$ $U_{\max} = U^+ + U^- $ $U_{\min} = \left U^+ - U^- \right $	<p>Adja meg a hullámmellenállás definícióját távvezeték esetén!</p> <p>Egy ideális távvezeték bemenetén a feszültség komplex amplitúdója $U_1=500$ V, a lezárásán $U_2=400 e^{-j\pi/2}$ V. A hullámimpedancia $Z_0=75 \Omega$, a fázisgyűttható $\beta=0,3\pi$ 1/m, a vezeték hossza $h=15$ m, és kiszámoltuk, hogy $U_0^+=450$ V és $U_0^-=50$ V.</p> <p>Határozzuk meg a távvezeték lezárásán átfolyó I_2 áramot!</p>	<p>A távvezetéken pozitív z irányban haladó feszültség-hullám (U^+) és áramhullám (I^+) komplex amplitúdójának aránya.</p> <p>egyikféle megoldás (hullámösszetevőkből):</p> $I_2 = \frac{(U^+ - U^-)}{Z_0} = \frac{(-jU_0^+ - jU_0^-)}{Z_0} = -j6,67A$ <p>másikféle megoldás (lánckarakterisztikából):</p> $U_2 \cos(\beta h) + I_2 Z_0 j \sin(\beta h) = U_1$ $-400j \cos(\pi/2) + I_2 75j \sin(\pi/2) = 500$ $I_2 = -j6,67A$

<p>reflexiós tényező általános helyen:</p>	<p>Definiálja a reflexiós tényezőt, mint a hely függvényét egy mondatban!</p>	<p>A negatív ill. pozitív irányba haladó feszültség hullámok adott pontbeli komplex amplitúdójának hányadosa.</p>
$r = \frac{U^- e^{\gamma x}}{U^+ e^{-\gamma x}} = -\frac{I^- e^{\gamma x}}{I^+ e^{-\gamma x}}$ <p>reflexiós tényező a távvezeték végén (x=h):</p>	<p>Adja meg a távvezeték lezárására vonatkozó reflexiós együttható definícióját!</p>	<p>A távvezeték végéről visszapattnó feszültség hullám komplex amplitúdójának és a távvezetéken a lezárás felé haladó feszültség hullám komplex amplitúdójának aránya a lezárás helyén mérve.</p> $r = \frac{U_2^-}{U_2^+}$
$r = \frac{U^- e^{\gamma h}}{U^+ e^{-\gamma h}} = -\frac{I^- e^{\gamma h}}{I^+ e^{-\gamma h}} = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0}$	<p>Egy $Z_0=600 \Omega$ hullámimpedanciájú ideális távvezeték R_2 lezáró ellenállásán $U_2^+=180 \text{ V}$ és $U_2^-=60 \text{ V}$. Mekkora a lezáró ellenállás?</p>	$r = \frac{U_2^-}{U_2^+} = \frac{60}{180}$ $r = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} = \frac{Z_2 - 600}{Z_2 + 600} \rightarrow Z_2 = 1,2 \text{ k}\Omega$
<p>kiegészítésképpen:</p> $U_2 = U_2^+ \left(1 + \frac{U_2^-}{U_2^+} \right) \rightarrow$ $U_2 = U_2^+ (1 + r) \rightarrow U_2 = U_2^+ 1 + r $ $U_{\max} = U_2^+ (1 + r)$ $U_{\min} = U_2^+ (1 - r)$	<p>Adja meg a reflexiós tényezőt egy ideális, légszigetelésű távvezeték lezárásán (a lezárás egy párhuzamos RLC kör), ha $Z_0=75 \Omega$, $R=75 \Omega$, $L=0,5 \text{ mH}$, $C=2 \text{ nF}$ és $\omega=5 \cdot 10^6 \text{ 1/s}$!</p>	$Z_2 = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C + \frac{1}{j\omega L}} = 49,39 - j35,56 \Omega$ $r = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} = -0,11 - j0,32$
$U_2 = U_2^+ (1 + r) \rightarrow U_2 = U_2^+ 1 + r $ $U_{\max} = U_2^+ (1 + r)$ $U_{\min} = U_2^+ (1 - r)$	<p>Egy $Z_0=50 \Omega$ hullámellenállású távvezeték lezárásán a feszültség $u_2=100 \cos(\omega t) \text{ V}$, a lezáró kétpólus impedanciája ω körfrekvencián $Z_2=(50-j50) \Omega$. Határozza meg a pozitív irányban haladó feszültség hullám komplex csúcsértékét a lezárás helyén!</p>	$r = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} = 0,2 - 0,4j$ $ U_2^+ = \frac{ U_2 }{ 1 + r } = 79,06 \text{ V}$
	<p>Egy $Z_0=75 \Omega$ hullámellenállású, ideális, légszigetelésű távvezeték lezárásán a beeső és a reflektált áram hullám amplitúdója $I_2^+=3 \text{ A}$ és $I_2^-=1 \text{ A}$. Számítsa ki a vezetéken a feszültség csúcsértékének legnagyobb és legkisebb értékét!</p>	$r = -\frac{I^-}{I^+} = -\frac{1}{3}$ $U_2 = Z_0 (I_2^+ - I_2^-) = 150 \text{ V} \rightarrow U_2^+ = 225 \text{ V}$ $U_{\max} = 300 \text{ V}$ $U_{\min} = 150 \text{ V}$
	<p>Légszigetelésű, ideális, $Z_0=50 \Omega$ hullámellenállású távvezeték bemenetére szinuszos feszültségforrás, a végére 60Ω-os ellenállás van kapcsolva, amelyen a feszültség amplitúdója 100 V. Mekkora a legnagyobb és legkisebb feszültség amplitúdó a vezeték mentén?</p>	$r = \frac{R_2 - Z_0}{R_2 + Z_0} = \frac{1}{11} \rightarrow U_2^+ = 91,67 \text{ V}$ $U_{\max} = 100 \text{ V}$ $U_{\min} = 83,34 \text{ V}$
	<p>Egy szakadással lezárt távvezeték bemenetén a feszültség komplex amplitúdója $U_1=50 e^j \text{ V}$, $\lambda_g=0,28 \text{ h}$. Határozza meg a feszültség maximális amplitúdóját a vezeték mentén!</p>	$\beta h = \frac{2\pi}{0,28 \text{ h}} h = 50\pi / 7$ $ U_2 \left \cos(\beta h) + \frac{Z_0 j \sin(\beta h)}{Z_2} \right = U_1 $ $r = 1 \rightarrow U_2^+ = 27,75 \text{ V}$ $U_{\max} = 55,50 \text{ V}$
	<p>Egy ideális távvezeték bemenetén a feszültség komplex amplitúdója $U_1=500 \text{ V}$, a lezárásán $U_2=400 e^{-j\pi/2} \text{ V}$. A hullámimpedancia $Z_0=75 \Omega$, a fázisegytátható $\beta=0,3\pi \text{ 1/m}$, a vezeték hossza $h=15 \text{ m}$, és kiszámoltuk, hogy $U_0^+=450 \text{ V}$ és $U_0^-=50 \text{ V}$.</p> <p>Adja meg azt a legkisebb x_1 koordinátát, ahol a feszültség amplitúdója minimális!</p> <p>Megjegyzés: ennél a feladatnál a távvezeték végén is minimális a feszültség amplitúdója!</p>	$r = - r $ $\frac{U^- e^{j\beta x}}{U^+ e^{-j\beta x}} = -\frac{U^-}{U^+} \rightarrow x = \frac{\pi}{2\beta} = 1,67 \text{ m}$ $U(x) = U_0^+ e^{-j\beta x} + U_0^- e^{j\beta x}$ $x = \pi / (2\beta) \rightarrow 400 \text{ j} \quad -jU_0^+ \quad jU_0^-$

	<p>Egy ideális távvezeték bemenetén a feszültség komplex amplitúdója $U_1=500\text{ V}$, a lezárásán $U_2=400\text{ e}^{j\pi/2}\text{ V}$.</p> <p>A hullámimpedancia $Z_0=75\ \Omega$, a fázisgyűthető $\beta=0,3\pi\text{ 1/m}$, a vezeték hossza $h=15\text{ m}$, és kiszámoltuk, hogy $U_0^+=450\text{ V}$ és $U_0^-=50\text{ V}$.</p> <p>Kizárólag U_0^+ és U_0^- ismeretében adjuk meg a távvezeték elején és végén a feszültségamplitúdót!</p> <p>Megjegyzés: $U_1^+ = U_2^+$ és $U_1^- = U_2^-$</p>	$r(h) = \frac{U^-}{U^+} e^{j2\beta h} = \frac{1}{9} e^{0,6\pi h}$ $r(0) = \frac{U^-}{U^+} = \frac{r(h)}{e^{j2\beta h}} = \frac{1}{9}$ $ U_2 = U_2^+ 1 + r(h) = 400\text{V}$ $ U_1 = U_1^+ 1 + r(0) = 500\text{V}$ <p>egyszerűbben: $U_1 = U_0^+ + U_0^- = 500\text{V}$</p>
<p>veszteségmentes távvezeték:</p> $\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{L'C'}$ $Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$ $\Lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi v}{\omega}$ <p>kiegészítésképpen:</p> $c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}$ $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$	<p>Egy veszteségmentes légszigetelésű távvezeték hosszegységre eső induktivitása $5/3\text{ m}\Omega/\text{km}$. Számítsa ki a vezeték Z_0 hullámellenállását!</p> <p>Adja meg annak az ideális <u>koaxiális</u> kábelnek a hullámimpedanciáját, amelynek szigetelése $\epsilon_r=4,5$ relatív dielektromos állandójú, és a kábel 2 m hosszú szakaszának kapacitása 120 pF!</p> <p>Poliétilén szigetelővel $Z_0=75\ \Omega$ hullámimpedanciájú <u>koaxiális</u> tápvonalat készítünk. A belső vezető sugara $r_1=0,6\text{ mm}$. Határozza meg a köpeny belső sugarát!</p> <p>Megjegyzés: $\epsilon_r=1$ (valójában $1,8$)</p> <p>Légszigetelésű, $Z_0=300\ \Omega$ hullámimpedanciájú Lecher tápvonalat készítünk $r_0=0,4\text{ mm}$ sugarú huzalból. Határozza meg a vezetők távolságát, ha a tápvonal veszteségmentesnek vehető!</p>	$c = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} \rightarrow C' = 6,67\text{ pF}$ $Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = 500\ \Omega$ $L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) l \quad C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$ $Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \sqrt{\frac{\mu_0\epsilon_0\epsilon_r}{\left(\frac{C}{l}\right)^2}} = 117,93\ \Omega$ $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0\epsilon_0\epsilon_r}{C'^2}} = \frac{\sqrt{\mu_0\epsilon_0\epsilon_r}}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \rightarrow r_2 = 2,1\text{ mm}$ $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0\epsilon_0\epsilon_r}{C'^2}} = \frac{\sqrt{\mu_0\epsilon_0\epsilon_r}}{\pi\epsilon_0\epsilon_r \ln\left(\frac{d}{r_0}\right)} \rightarrow d = 4,87\text{ mm}$
<p>ideális távvezeték:</p> $\begin{bmatrix} \cos(\beta h) & Z_0 j \sin(\beta h) \\ \frac{j \sin(\beta h)}{Z_0} & \cos(\beta h) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix}$	<p>Egy $Z_0=60\ \Omega$ hullámellenállású, ideális, légszigetelésű távvezeték nyitott végén a feszültség amplitúdója 60 V. Számítsa ki a vezeték végétől $x=50\text{ m}$ távolságban fellépő feszültség amplitúdóját, ha a frekvencia $f=10\text{ kHz}$.</p> <p>Az ideális távvezeték hullámellenállása $Z_0=200\ \Omega$, lezáró impedanciája $Z_2=100\text{ e}^{j\pi/4}\ \Omega$. A vezeték h hosszúsága a vezetéken mért hullámhosszal kifejezve: $h=15\ \lambda_g/8$. $U_2 =37,6\text{ V}$. Mekkora a forrás U_1 feszültségének amplitúdója?</p> <p>Megjegyzés: odabenn nem képezhetem Z_2 abszolútértékét, az amplitúdó itt tényleges amplitúdót jelent, ha az van megadva, hogy „komplex amplitúdót” kér, akkor meg a komplex szám kell.</p>	$\beta h = \frac{\omega}{c} h = 10\pi / 3$ $U_2 \cos(\beta h) + \cancel{I_2 Z_0 j \sin(\beta h)} = U_1 = -30\text{V}$ $\beta h = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{15\lambda}{8} = 30\pi / 8$ $ U_2 \left \cos(\beta h) + \frac{Z_0 j \sin(\beta h)}{Z_2} \right = U_1 $ <p>$\gg bh=30*\pi/8$; $\gg 37.6*\text{abs}(\cos(bh)+200*j*\sin(bh)/(100*\exp(j*\pi/4)))$</p> $ U_1 = 39,18\text{V}$

$Z_{be} = Z_0 \frac{Z_2 + Z_0 j \operatorname{tg}(\beta h)}{Z_0 + Z_2 j \operatorname{tg}(\beta h)}$	<p>Az ideális, légszigetelésű távvezeték hullámimpedanciája $Z_0=400 \Omega$, hossza $h=2$ km. A forrás frekvenciája $f=1$ MHz, a lezáró ellenállás $R=600 \Omega$. Számítsa ki a távvezeték forrásoldali bemeneti impedanciáját!</p>	$\beta h = \frac{\omega}{c} h = 40\pi / 3$ <p>>> $bh=40 \cdot \pi / 3$; >> $z_0=400$; >> $z_2=600$; >> $z_{be}=(z_0 \cdot (z_2 + z_0 \cdot j \cdot \tan(bh)) / (z_0 + z_2 \cdot j \cdot \tan(bh)))$</p> $Z_{be} = 329,22 e^{-j0,3463} \Omega$
$Z_{be h=\lambda/4(2k+1)} = \frac{Z_0^2}{Z_2}$	<p>Egy ideális távvezeték hullámellenállása $Z_0=60 \Omega$, a vezeték hossza $h=\lambda/4$, a lezáró ellenállás $R_2=120 \Omega$. Határozza meg a vezetékszakas bemeneti impedanciáját!</p>	$Z_{be} = 30 \Omega$
$Z_{be rövidzárral_lezárt} = Z_0 j \operatorname{tg}(\beta h)$	<p>A $Z_0=150 \Omega$ hullámimpedanciájú, légszigetelésű, $\lambda_0/5$ hosszúságú ideális távvezeték szekunder oldalát rövidre zárjuk. Határozza meg a távvezeték primer oldalán mérhető bemeneti impedanciát!</p>	$\beta h = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{5} = 2\pi / 5 \rightarrow Z_{be} = j461,65 \Omega$
	<p>Egy háromnyolcad hullámhossz hosszúságú, rövidzárral lezárt, 50Ω hullámellenállású veszteségmentes távvezeték bemenetén a meddő teljesítmény -100 var. Adja meg a rövidzár áramának effektív értékét!</p> <p>Megjegyzés: az effektív érték mindig pozitív, valamint teljesítményszámításnál az IMPEDANCIA szögét kell mindig figyelembe venni! :D</p>	$\beta h = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{3\lambda}{8} = 3\pi / 4 \rightarrow Z_{be} = 50 e^{-j\pi/2} \Omega$ $Q = \frac{1}{2} I_1 ^2 Z_{be} \sin(-\pi / 2) \rightarrow I_1 = 2 A$ $ I_2 \left \frac{Z_2 j \sin(\beta h)}{Z_0} + \cos(\beta h) \right = I_1 $ $I_{2,eff} = \frac{ I_2 }{\sqrt{2}} = 2 A$
$Z_{be szakadással_lezárt} = \frac{Z_0}{j \operatorname{tg}(\beta h)}$	<p>Egy ideális, légszigetelésű távvezeték hullámimpedanciája $Z_0=75 \Omega$, hossza $h=5$ m. A vezeték $U=250$ V amplitúdójú, $f=100$ MHz frekvenciájú szinuszos feszültségforrás táplálja. Határozza meg a forrás áramának amplitúdóját, ha a vezeték végén szakadás van!</p>	$\beta h = \frac{\omega}{c} h = 10\pi / 3 \rightarrow Z_{be} = -j43,33 \Omega$ $ I = \frac{ U }{ Z_{be} } = 5,77 A$
	<p>Egy ötnyolcad hullámhossz hosszúságú, szakadással lezárt, 50Ω hullámellenállású veszteségmentes távvezeték bemenetén a meddő teljesítmény -25 var. Adja meg a szakadás feszültségének effektív értékét!</p>	$\beta h = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{5\lambda}{8} = 5\pi / 4 \rightarrow Z_{be} = 50 e^{-j\pi/2} \Omega$ $Q = \frac{1}{2} \frac{ U_1 ^2}{ Z_{be} } \sin(-\pi / 2) \rightarrow U_1 = 50 V$ $ U_2 \left \cos(\beta h) + \frac{Z_0 j \sin(\beta h)}{Z_2} \right = U_1 $ $U_{2,eff} = \frac{ U_2 }{\sqrt{2}} = 50 V$
$Z_{be hullámimpedanciával_lezárt} = Z_0$	<p>Egy $Z_0=240 \Omega$ hullámellenállású ideális távvezeték $u_s(t)=120 \cos(\omega t+0)$ V feszültséggel táplálunk. Határozza meg a forrás hatásos és meddő teljesítményét, ha a vezeték másik végén $R=Z_0$ ellenállás van!</p>	$P = \frac{1}{2} \frac{ U ^2}{ Z_{be} } \cos \varphi = 30 W$ $Q = \frac{1}{2} \frac{ U ^2}{ Z_{be} } \sin \varphi = 0 \text{ var}$

$VSWR = \sigma = \frac{ U _{\max}}{ U _{\min}} = \frac{1+ r }{1- r }$	<p>Adja meg az állóhullámarány definícióját, határait!</p> <p>Egy ideális távvezeték lezáró ellenállása $R_2=90 \Omega$. Mekkora a vezeték Z_0 hullámimpedanciája, ha az állóhullámarány $4/3$ és $R_2 > Z_0$?</p> <p>Legfeljebb mekkora határos teljesítmény szállítható egy 50Ω hullámellenállású kábelben, ha $VSWR=1,4$ és a megengedett maximális feszültségamplitúdó $2kV$?</p> <p>Megjegyzés: egyelőre nem értem pontosan, lehet hogy afféle átlagolás azáltal, hogy u_{\max} és u_{\min} szorzatát veszi...</p> <p>Legfeljebb mekkora határos teljesítmény szállítható egy 75Ω hullámellenállású kábelben, ha $VSWR=1,8$ és a megengedett maximális áramamplitúdó $8A$?</p>	<p>Az állóhullámarány a vezeték mentén mérhető maximális és minimális feszültségamplitúdó hányadosa.</p> $1 \leq \sigma \leq \infty$ $\sigma = \frac{1+ r }{1- r } = \frac{4}{3} \rightarrow r = \frac{1}{7}$ $r = \frac{R_2 - Z_0}{R_2 + Z_0} = \frac{1}{7} \rightarrow Z_0 = 120 \Omega$ $r = \frac{R_2 - Z_0}{R_2 + Z_0} = -\frac{1}{7} \rightarrow Z_0 = 67,5 \Omega$ $P = \frac{1}{2} \frac{U_{\max}^2}{Z_0} \frac{1}{VSWR} = 28,57 kW$ $P = \frac{1}{2} Z_0 I_{\max}^2 \frac{1}{VSWR} = 1,33 kW$
<p>mindkét végén zárt:</p> 	<p>Adja meg egy mindkét végén rövidre zárt, $l=3 \text{ km}$ hosszú, légszigetelésű távvezeték két egymást követő rezonancia frekvenciájának különbségét!</p> <p>Megjegyzés: a rövidrezárt végén a feszültség nyilvánvalóan zérus, a nyitott végén pedig maximuma van, ennek megfelelően adottak az ábrák.</p>	$l = \frac{1\lambda_1}{2} \rightarrow f_1 = \frac{1c}{2l} = 50 kHz$ $l = \frac{2\lambda_2}{2} \rightarrow f_2 = \frac{2c}{2l} = 100 kHz$ $l = \frac{3\lambda_3}{2} \rightarrow f_3 = \frac{3c}{2l} = 150 kHz$ $\Delta f = 50 kHz$
<p>mindkét végén nyitott:</p> 	<p>Mekkora a hossza a mindkét végén rövidrezárt, légszigetelésű, ideális távvezetéknek, ha a legkisebb rezonanciafrekvenciája 300 MHz?</p>	$h = \frac{1\lambda_1}{2} = \frac{1c}{2f_1} = 0,5 m$
<p>mindkét végén nyitott:</p> 	<p>Melyik az a legkisebb frekvencia, amelyen rezonancia léphet fel egy mindkét végén nyitott, $l=5 \text{ km}$ hosszú, légszigetelésű távvezetéken?</p>	$l = \frac{1\lambda_1}{2} \rightarrow f_1 = \frac{1c}{2l} = 30 kHz$
<p>egyik végén zárt, másik végén nyitott:</p> 	<p>Egy ideális, $l=300 \text{ m}$ hosszú légszigetelésű távvezeték egyik végén rövidzár, a másik végén szakadás van. Adja meg a három legkisebb rezonanciafrekvenciát!</p>	$l = \frac{1\lambda_1}{4} \rightarrow f_1 = \frac{1c}{4l} = 250 kHz$ $l = \frac{3\lambda_2}{4} \rightarrow f_2 = \frac{3c}{4l} = 750 kHz$ $l = \frac{5\lambda_3}{4} \rightarrow f_3 = \frac{5c}{4l} = 1250 kHz$