

Föreläsning 2: Transmissionsledningar

Kapitel 2.1 i Pozar

Senaste föreläsningen

- Introduktion till analog elektronik
 - Antenner
 - Förstärkare
 - Oscillatorer
 - Blandare
 - Filter
- Introduktion till projektet
 - Design och tillverkning av en mikrovågsförstärkare
 - Ingen laboration med steg för steg instruktioner

Dagens föreläsning

- Arbetsredskap för design av mikrovågskretsar
- Repetition från Telekommunikationskursen
- Transmissionsledningsteori

Telekommunikation

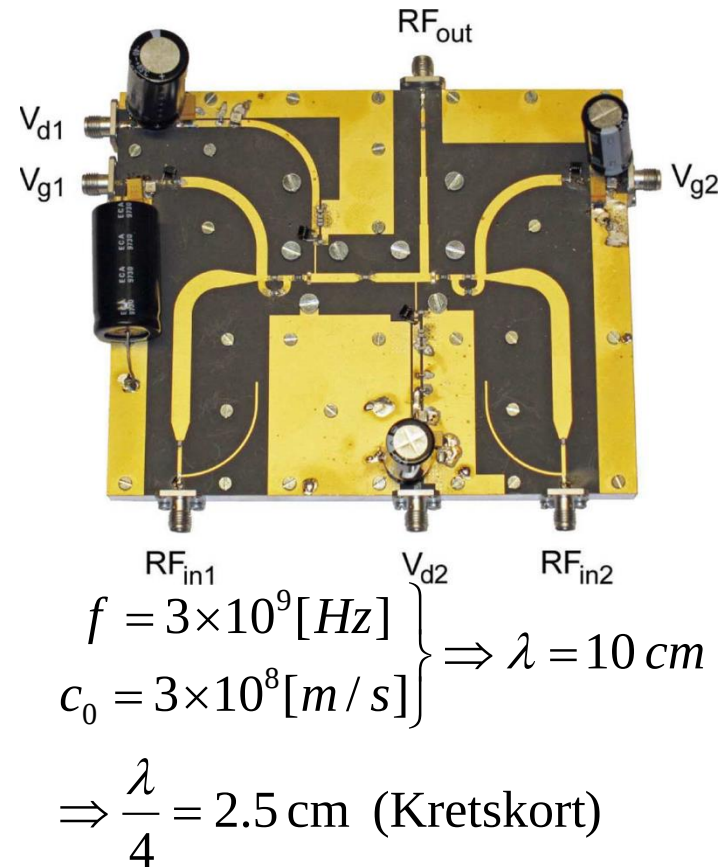
- Transmissionsledning
- Ström / spänningsvågor
- Reflektionskoefficient
- Inimpedans
- Smith diagrammet
- Impedansanpassning med olika matchningsnät

Transmissionsledningar



$$\left. \begin{array}{l} f = 50[\text{Hz}] \\ c_0 = 3 \times 10^8[\text{m/s}] \end{array} \right\} \Rightarrow \lambda = 6000\text{km}$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda}{4} = 150 \text{ mil (Sveriges längd)}$$

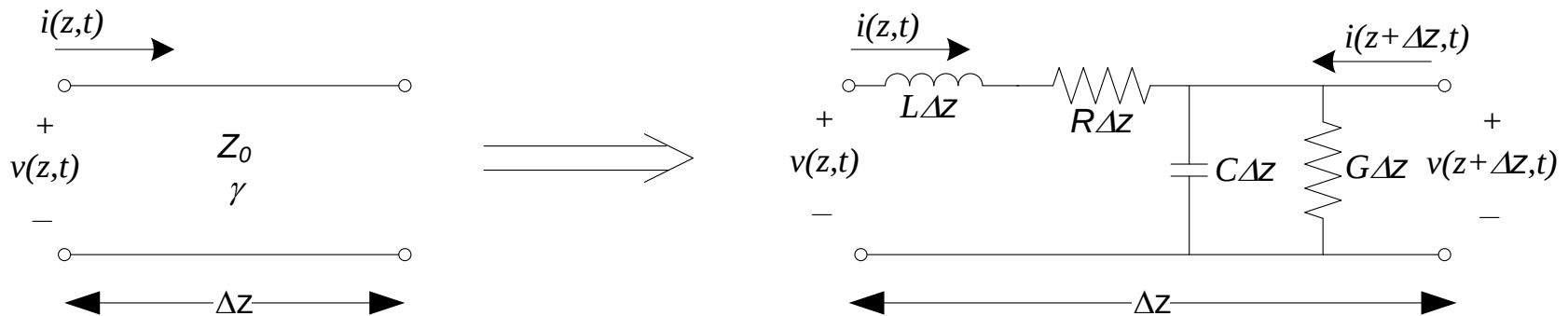


Transmissionsledningar

- Elektriska ledningar vars längd är jämförbar med signalens våglängd
- Distribuerade nät där spänning och ström kan variera över ledningens längd
- Reflektioner och stående vågmönster uppstår
- Vanlig kretsteori: Ohms lag, Kirchhoff's lagar kan inte längre användas
- TRANSMISSIONSLEDNINGSTEORI

Telegrafekvationerna (1/3)

- En kort bit av en transmissionsledning kan beskrivas av L, R, C, G



- Genom KVL och KCL så fås sambanden

$$v(z, t) - R\Delta z i(z, t) - L\Delta z \frac{\delta i(z, t)}{\delta t} - v(z + \Delta z, t) = 0$$

$$i(z, t) - G\Delta z v(z + \Delta z, t) - C\Delta z \frac{\delta v(z + \Delta z, t)}{\delta t} - i(z + \Delta z, t) = 0$$

Telegrafekvationerna (2/3)

- Differentiera uttrycken och använd $j\omega$ metoden

$$\frac{dV(z)}{dz} = -(R + j\omega L)I(z)$$

$$\frac{dI(z)}{dz} = -(G + j\omega C)V(z)$$

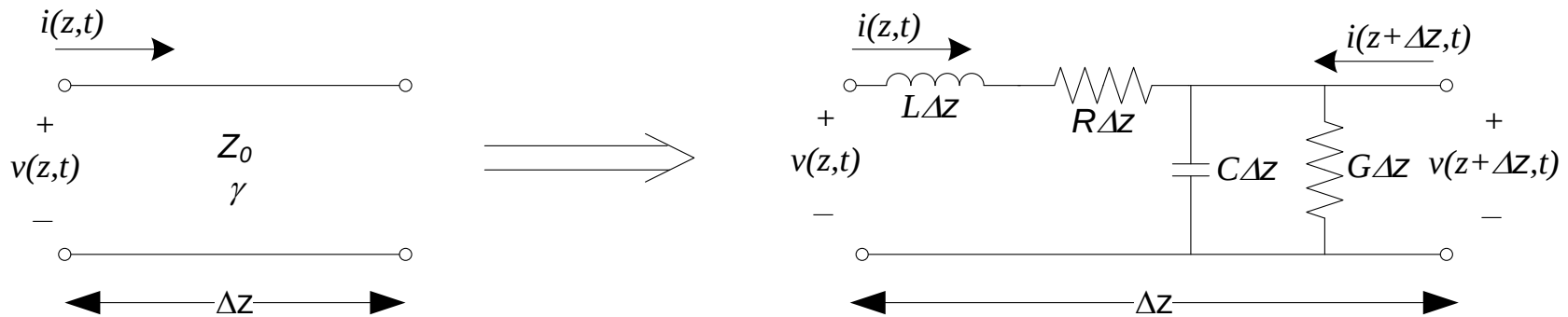
- Lös ut $V(z)$ samt $I(z)$ och lös vågekvationerna

$$\frac{d^2V(z)}{dz^2} - \gamma^2 V(z) = 0$$

$$\frac{d^2I(z)}{dz^2} - \gamma^2 I(z) = 0$$

$$\gamma^2 = (R + j\omega L)(G + j\omega C)$$

Telegrafekvationerna (3/3)



Vågutbredningskonstant:

Spänningsvåg:

Strömvåg:

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

$$V(z) = V_0^+ e^{-\gamma z} + V_0^- e^{\gamma z}$$

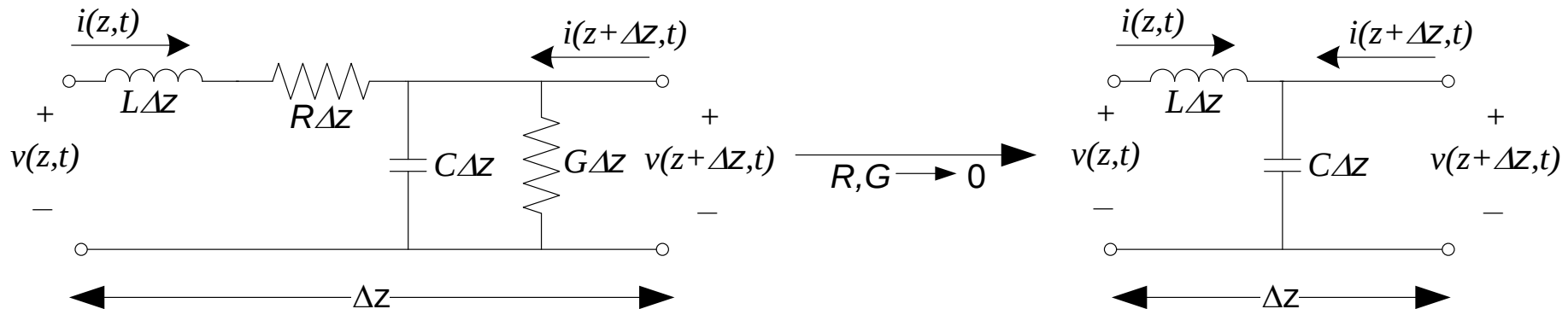
$$I(z) = I_0^+ e^{-\gamma z} + I_0^- e^{\gamma z}$$

$$I(z) = \frac{\gamma}{R + j\omega L} (V_0^+ e^{-\gamma z} - V_0^- e^{\gamma z})$$

Karaktäristisk impedans:

$$Z_0 = \frac{R + j\omega L}{\gamma} = \frac{V_0^+}{I_0^+} = \frac{-V_0^-}{I_0^-} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

Förlustfri transmissionsledning



Vågutbredningskonstant:

Spänningsvåg:

Strömvåg:

$$\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{LC}$$

$$V(z) = V_0^+ e^{-j\beta z} + V_0^- e^{j\beta z}$$

$$I(z) = I_0^+ e^{-j\beta z} + I_0^- e^{j\beta z} =$$

$$= \frac{1}{Z_0} (V_0^+ e^{-j\beta z} - V_0^- e^{j\beta z})$$

Karaktäristisk impedans:

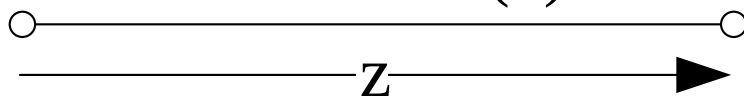
$$Z_0 = \frac{V_0^+}{I_0^+} = \frac{-V_0^-}{I_0^-} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Ström och spänning

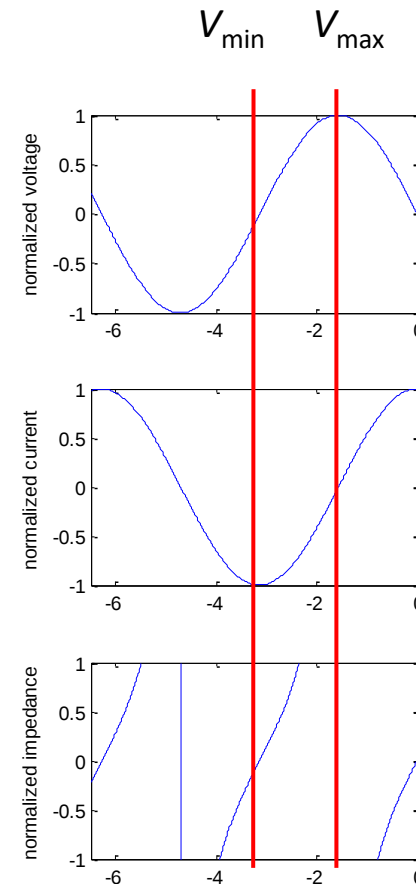
- Ström och spänning är summan av infallande och reflekterade vågor

$$V(z) = V^+(z) + V^-(z)$$

$$I(z) = I^+(z) + I^-(z)$$

$$Z_0(z) = \frac{V^+(z)}{I^+(z)}$$


- Effektflödet på ledningen är konstant



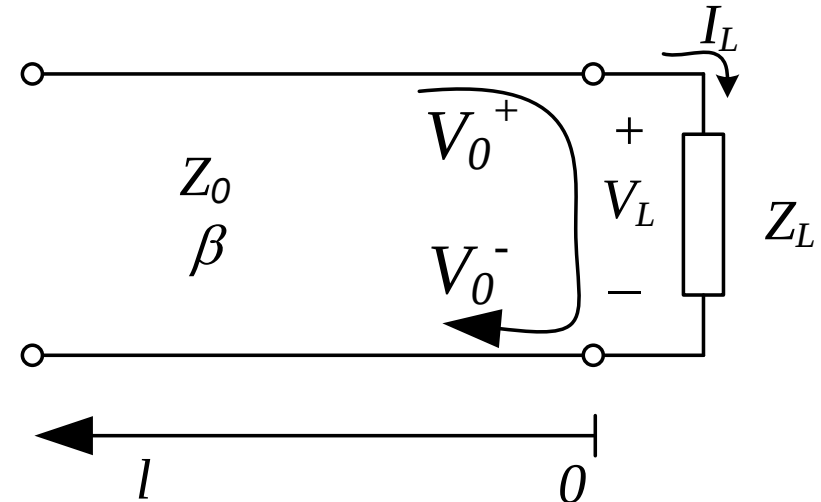
Lastad transmissionsledning

Notera att $l=0$ vid last och mäts positivt från lasten

$$Z_L = \frac{V(0)}{I(0)} = \frac{V_0^+ + V_0^-}{I_0^+ - I_0^-} = Z_0 \frac{V_0^+ + V_0^-}{V_0^+ - V_0^-}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}}} \quad (\text{P2.17})$$

$$\Gamma(l) = \frac{V_0^- e^{-j\beta l}}{V_0^+ e^{j\beta l}} = \Gamma(0) e^{-2j\beta l} \quad (\text{P2.24})$$

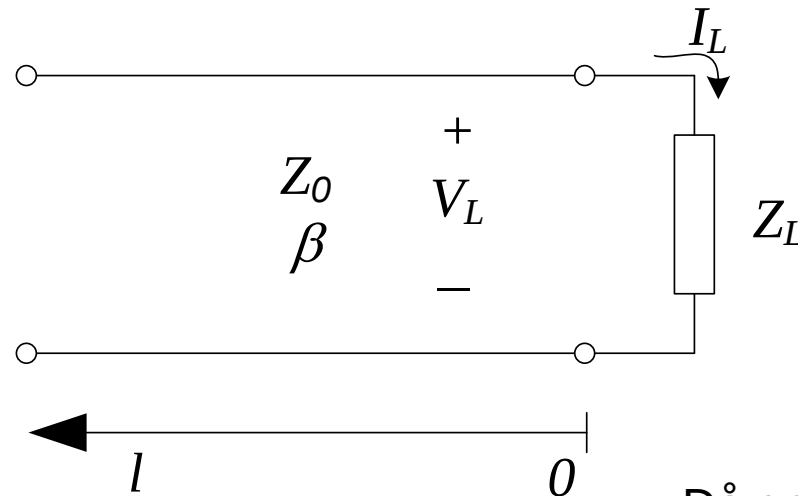


$$\lambda f = v_p = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{v_p} = \frac{\omega}{c_0} \sqrt{\epsilon_r}$$

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Effekt levererad till lasten



Då generatoren är matchad

$$P_{avg} = \frac{1}{2} \operatorname{Re}\{V(z)I^*(z)\} = \frac{1}{2} \frac{|V_0^+|^2}{Z_0} [1 - |\Gamma|^2] \quad (\text{P2.19})$$

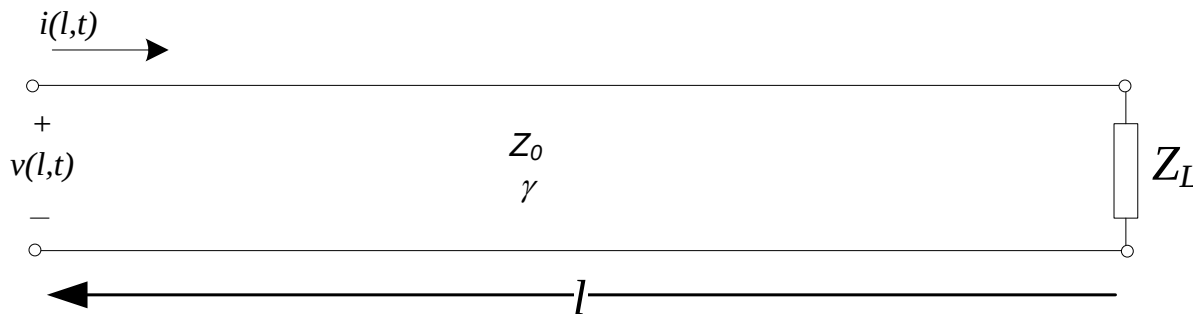
$$RL = -10 \log |\Gamma|^2 = -20 \log |\Gamma| \quad \text{dB} \quad (\text{P2.20})$$

Ex 2.1 i Pozar löses på tavlan

Stående våg och impedans

$$\begin{aligned}
 V(l) &= V_0^+ e^{j\beta l} + V_0^- e^{-j\beta l} = \\
 &= |V_0^+| (1 + \Gamma e^{-2j\beta l}) = |V_0^+| (1 + |\Gamma| e^{j(\theta - 2\beta l)}) \\
 |V(l)| &= |V_0^+| |1 + |\Gamma| e^{j(\theta - 2\beta l)}| \\
 V_{\max} &= |V_0^+| (1 + |\Gamma|) \\
 V_{\min} &= |V_0^+| (1 - |\Gamma|) \\
 \text{SWR} &= \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (\text{P2.23})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I(l) &= I_0^+ e^{j\beta l} + I_0^- e^{-j\beta l} \\
 I(l) &= \frac{1}{Z_0} (V_0^+ e^{j\beta l} - V_0^- e^{-j\beta l}) \\
 Z(l) &= \frac{V(l)}{I(l)} = Z_0 \frac{V_0^+ e^{j\beta l} + V_0^- e^{-j\beta l}}{V_0^+ e^{j\beta l} - V_0^- e^{-j\beta l}} = \\
 &= Z_0 \frac{1 + \Gamma(0) e^{-2j\beta l}}{1 - \Gamma(0) e^{-2j\beta l}} \\
 Z(l) &= Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} \quad (\text{P2.26})
 \end{aligned}$$

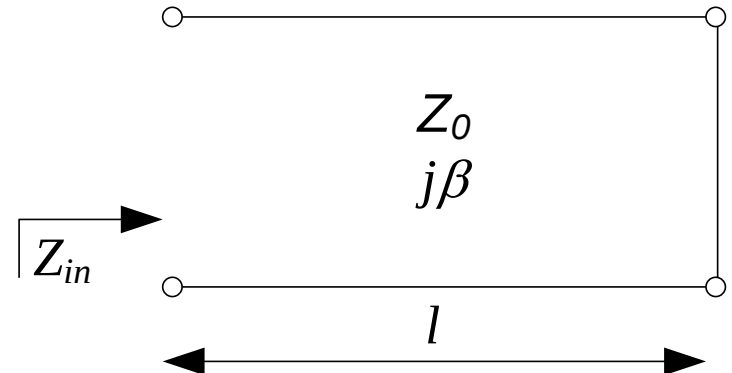


Specialfall: Lastimpedans

- Kortsluten ledning

$$Z(Z_L = 0) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} =$$

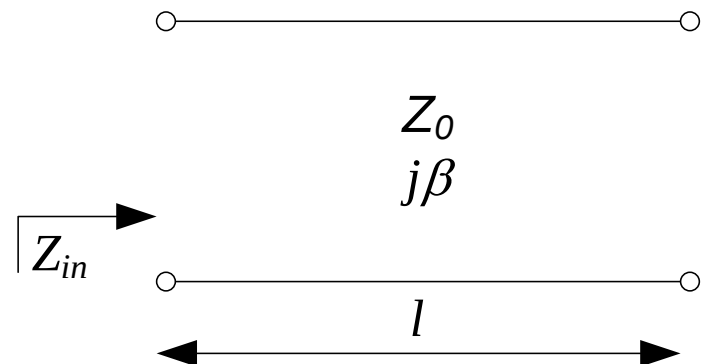
$$= \underline{\underline{jZ_0 \tan \beta l}} \quad (\text{P2.28})$$



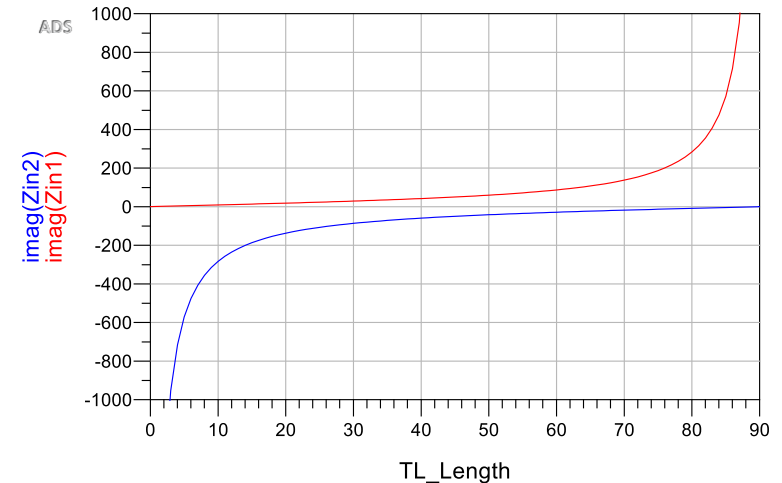
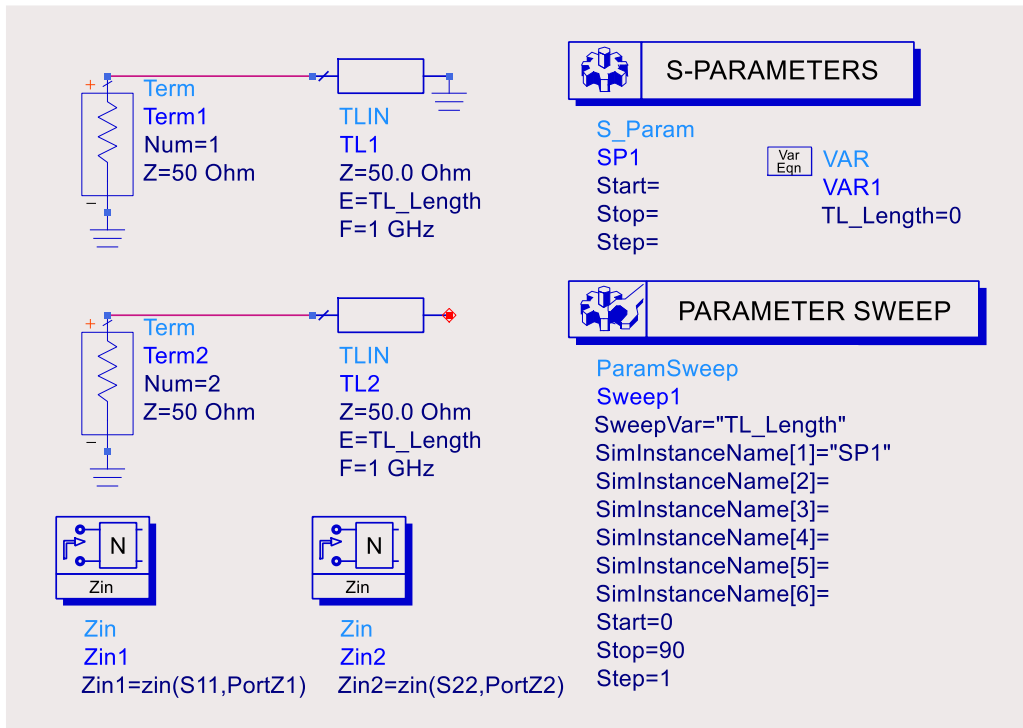
- Öppen ledning

$$Z(Z_L \rightarrow \infty) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} =$$

$$= Z_0 \frac{1}{j \tan \beta l} = \underline{\underline{-jZ_0 \frac{1}{\tan \beta l}}} \quad (\text{P2.30})$$

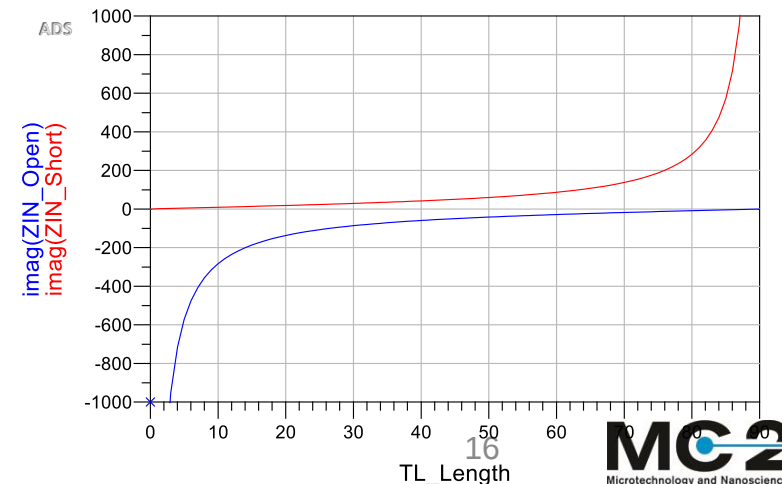


Specialfall: Lastimpedans



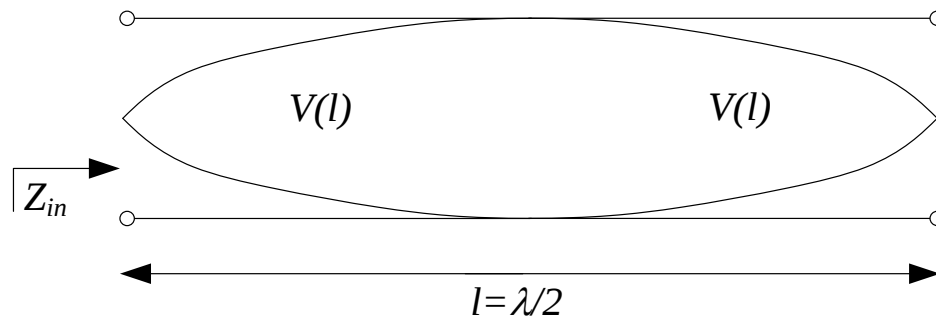
$$\text{Eqn} Z_{IN_Short} = j * 50 * \tan(TL_Length * \pi / 180)$$

$$\text{Eqn} Z_{IN_Open} = -j * 50 / \tan(TL_Length * \pi / 180)$$



Specialfall: Ledningslängd $\lambda/2$

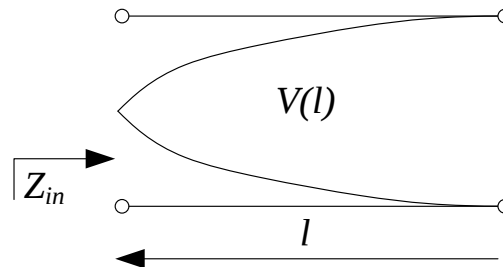
- $\lambda/2$ eller 180° lång ledning
- Spänningen (strömmen) vid last och port lika



$$Z_{IN}(l = \lambda / 2) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2}\right)}{Z_0 + jZ_L \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2}\right)} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\pi)}{Z_0 + jZ_L \tan(\pi)} = \underline{\underline{Z_L}} \quad (\text{P2.31})$$

Specialfall: Ledningslängd $\lambda/4$

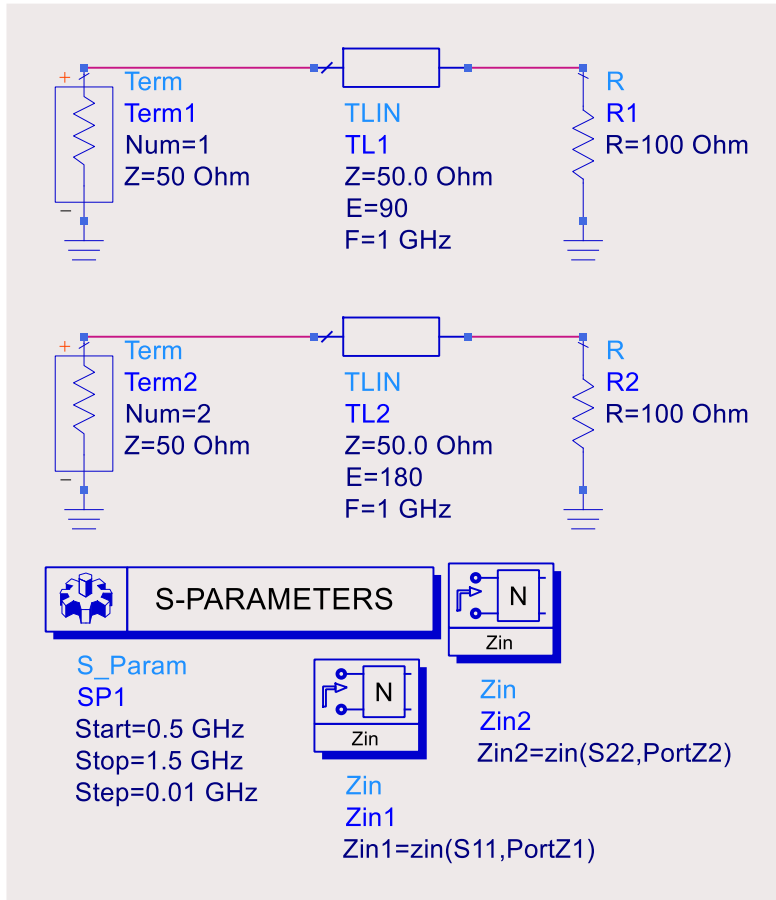
- $\lambda/4$ eller 90° lång ledning
- Spänningen (strömmen) vid last och port olika



$$Z_{IN}(l = \lambda / 4) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4}\right)}{Z_0 + jZ_L \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4}\right)} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}{Z_0 + jZ_L \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)} = \frac{Z_0^2}{Z_L}$$

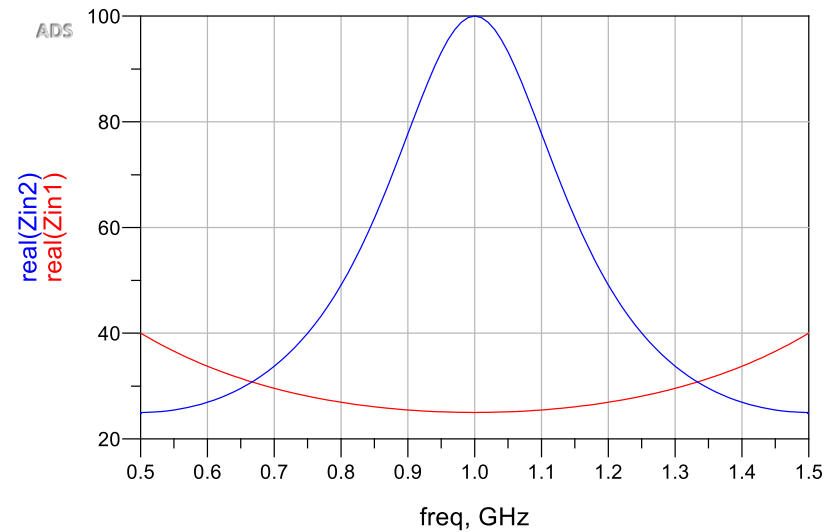
(P2.32)

Specialfall: Ledningslängd



$$Z_{in, \lambda/2} = Z_L = 100\ \Omega$$

$$Z_{in, \lambda/4} = \frac{Z_0^2}{Z_L} = \frac{50^2}{100} = 25\ \Omega$$



Inimpedans

- Inimpedansen av öppen kvartsvågsledning

$$Z_{in} = \lim \left(\frac{Z_0^2}{Z_L} \right)_{Z_L \rightarrow \infty} \rightarrow 0$$

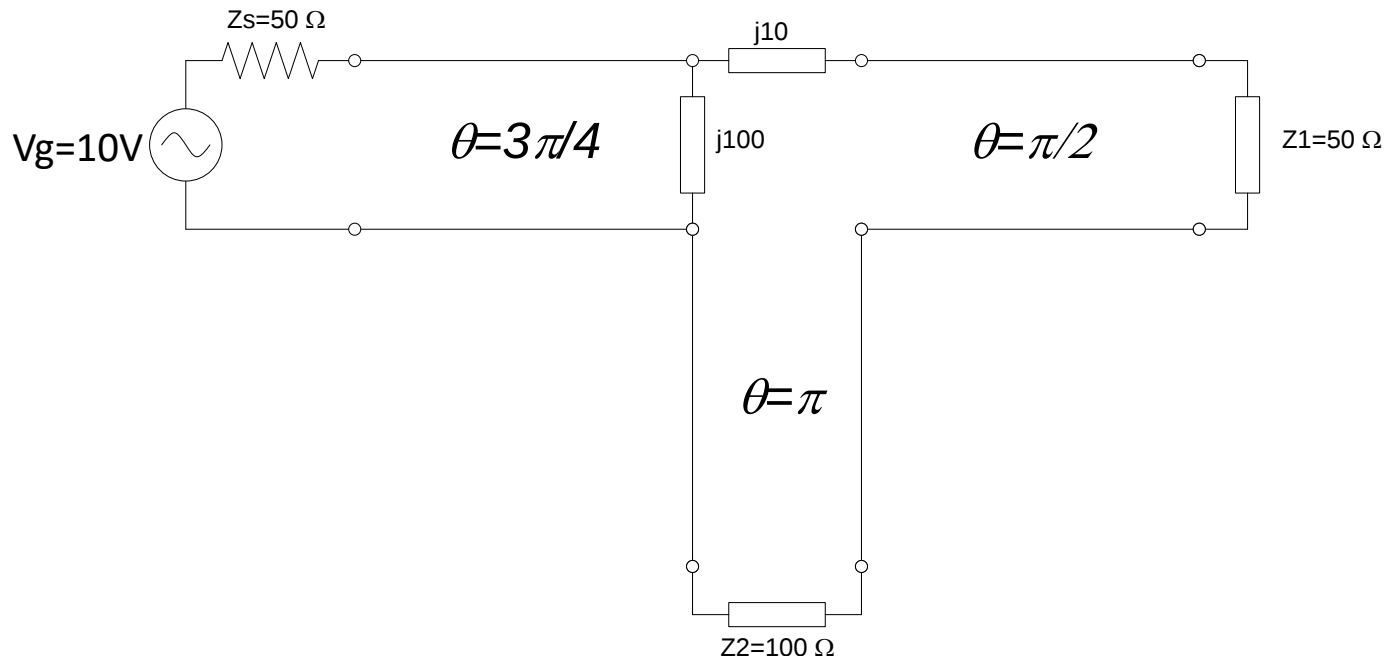
- Inimpedans av en kortsluten kvartsvågsledning

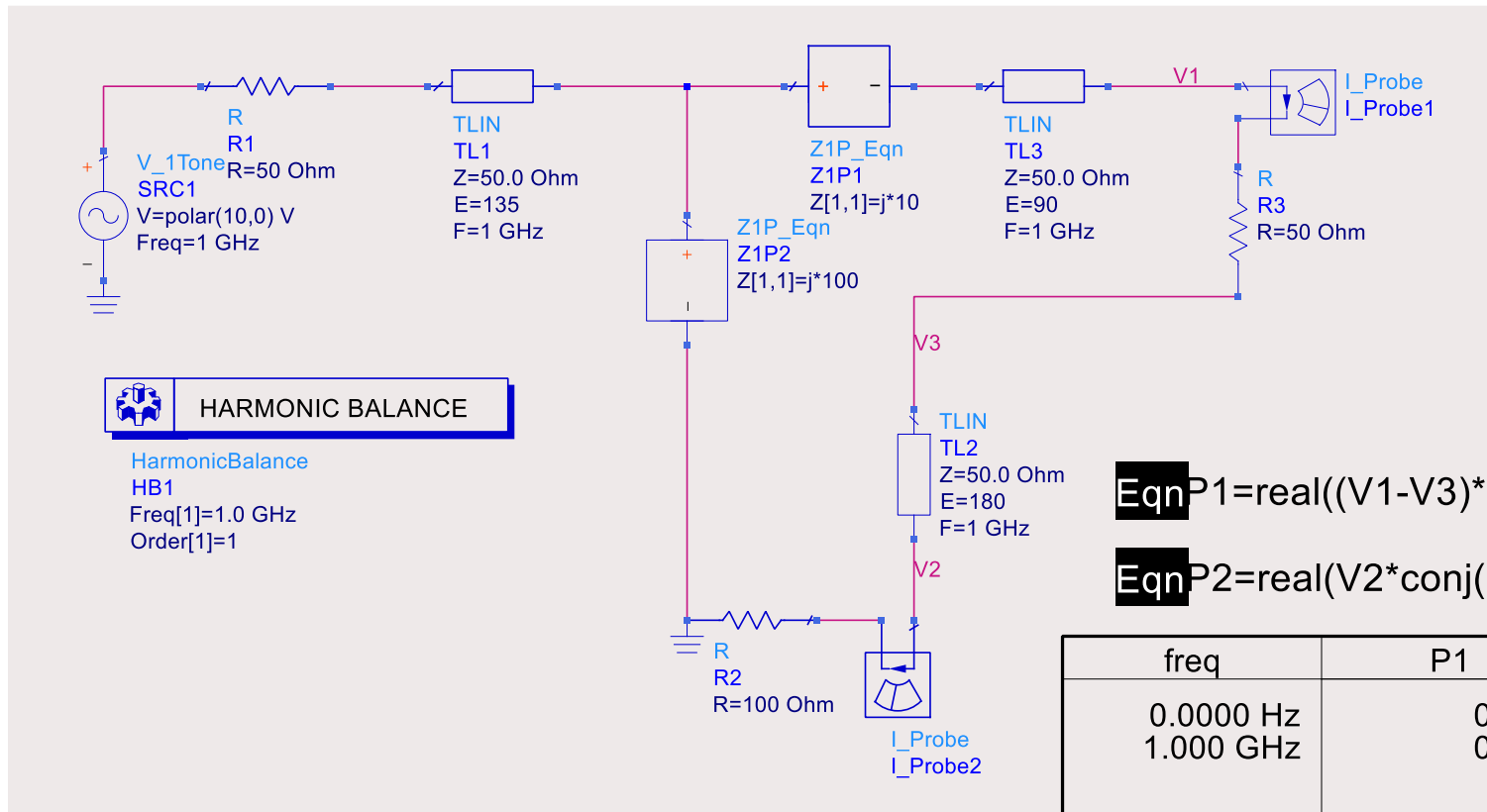
$$Z_{in} = \lim \left(\frac{Z_0^2}{Z_L} \right)_{Z_L \rightarrow 0} \rightarrow \infty$$

- Impedansinverterare

Övning, transmissionsledning

- Bestäm effekten som levereras till lasterna Z_1 och Z_2 genom att använda transmissionsledningsekvationerna
- För alla transmissionsledningar gäller $Z_c = 50\Omega$

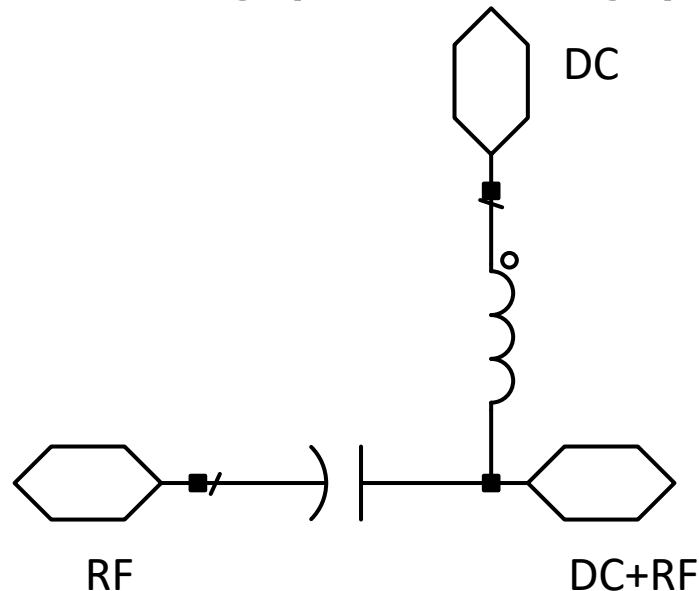




freq	P1	P2
0.0000 Hz	0.000	0.000
1.000 GHz	0.054	0.108

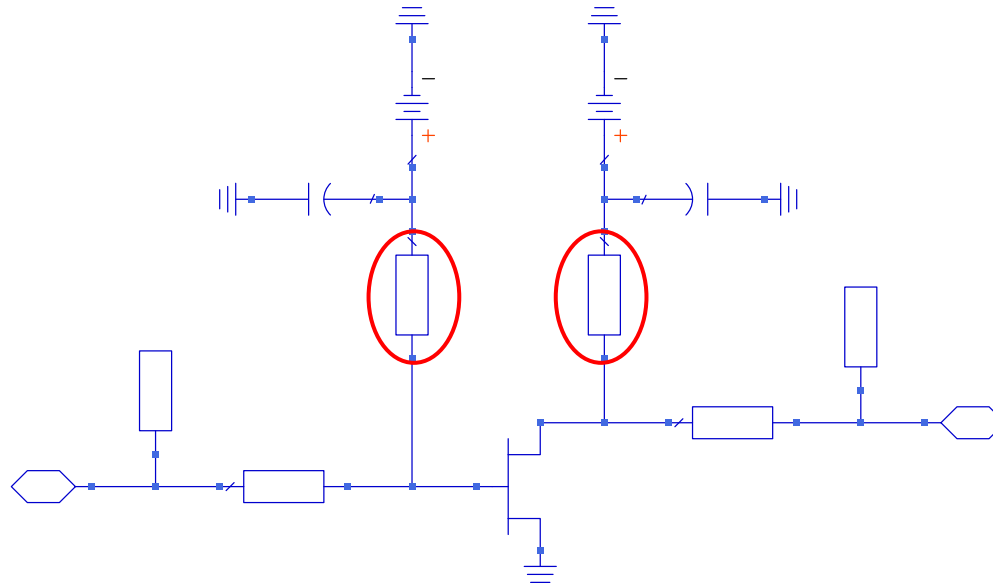
Biasnät

- Skall möjliggöra separation mellan DC och RF
 - Inget DC läckage på RF porten
 - Inget RF läckage på DC porten
- Kombination av låg-pass / hög-pass filter



Biasnät: Distribuerat

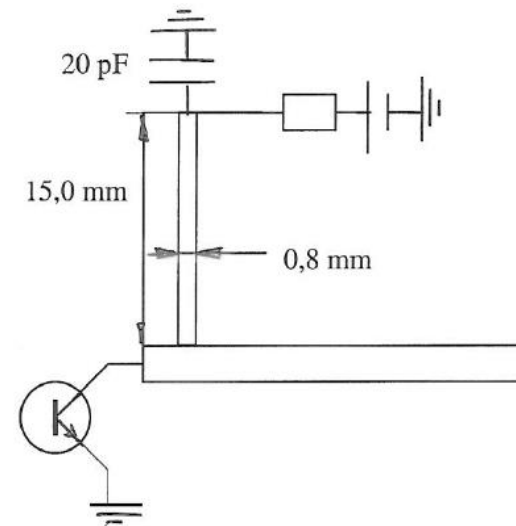
- Transmissionsledningarna används ofta vid design av biaseringsnät för förstärkare
- Vilken elektrisk längd skall ledningarna i biasnäten ha för att ha minimal inverkan på kretsen?



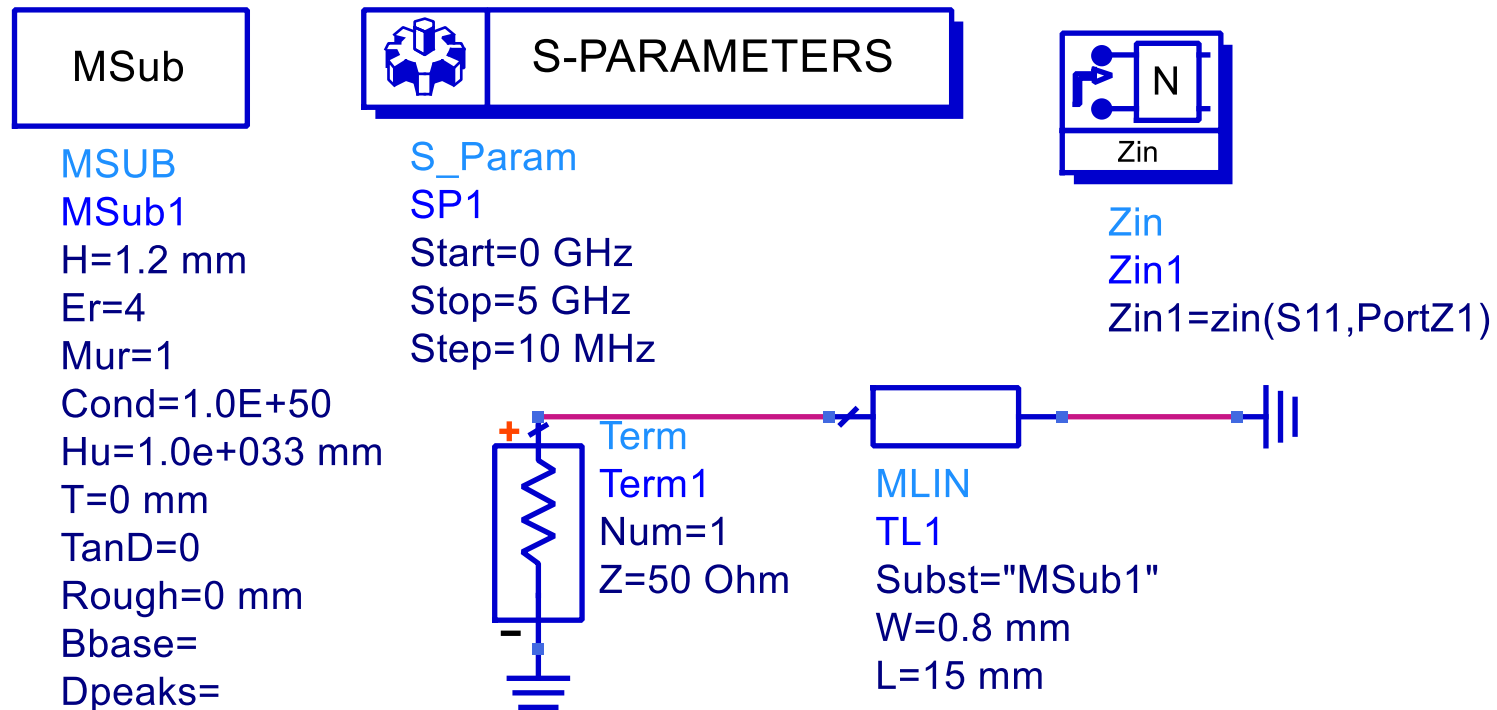
Övning

Uppgift 9, förstärkanpassningar

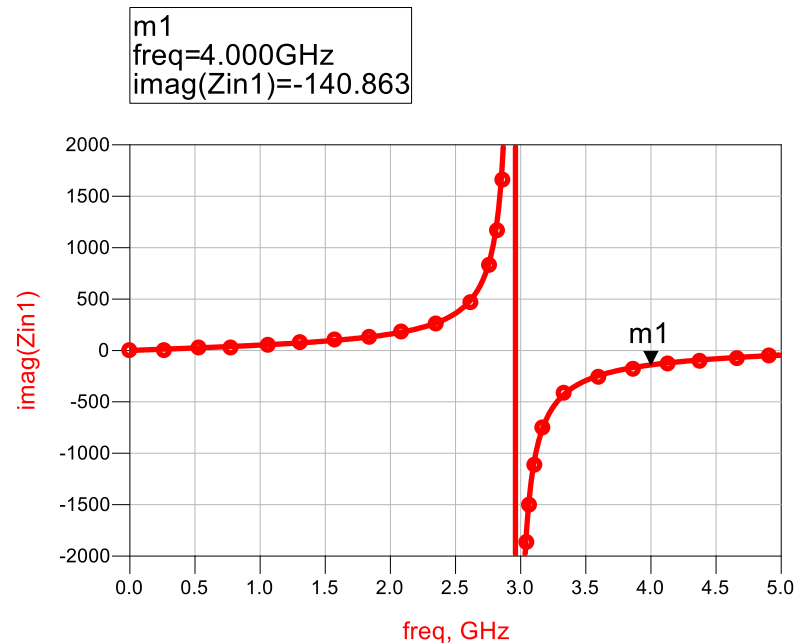
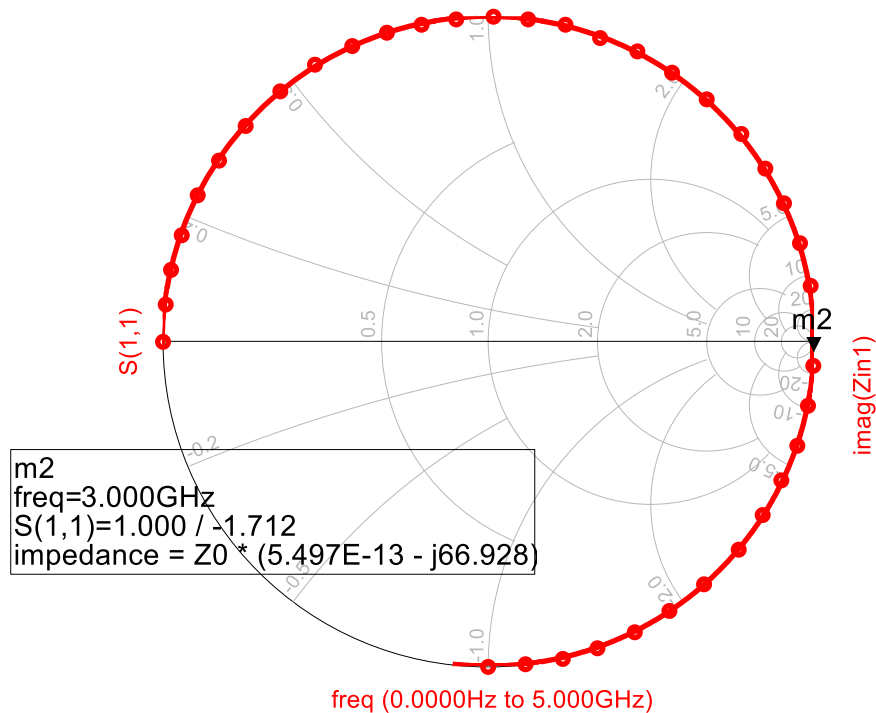
9. En biaseringsledning är applicerad på ett 1,2 mm tjockt substrat med dielektricitetsstalet $\epsilon_r = 4,0$. Förstärkaren är avsedd att arbeta inom ett smalt frekvensområde och vid signalfrekvensen f_0 erhålles en extremt hög ingångsimpedans till biaseringsledningen sedd från huvudledningen.
- Uppskatta med hjälp av figurdata, diagram och beräkningar biaseringsledningens karakteristiska impedans samt den frekvens biaseringen är optimerad för. Serieimpedansinverkan från avkopplingskondensatorn kan anses försumbar.
 - Beräkna inimpedansen till biaseringsledningen sedd från huvudledningen vid signalfrekvensen $\frac{4}{3} f_0$.



Simulering av biasnät i ADS



Resultat



Sammanfattning

- Repetition av Telekommunikationskursen
- Transmissionsledningar
- Komponenters elektriska längd måste beaktas
- Specialfall vid $\lambda/4$ och $\lambda/2$