

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

Föreläsning 2: Transmissionsledningar

Kapitel 2.1 i Pozar

Dagens föreläsning

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

Telekommunikation

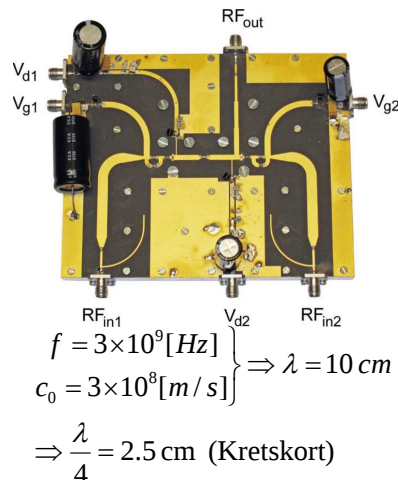
- Transmissionsledningar
- Ström / spänningsvågor
- Reflektionskoefficient
- Inimpedans
- Smith diagrammet
- Impedansanpassning med olika matchningsnät

Transmissionsledningar



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

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



Mattias Thorsell

5

Transmissionsledningar

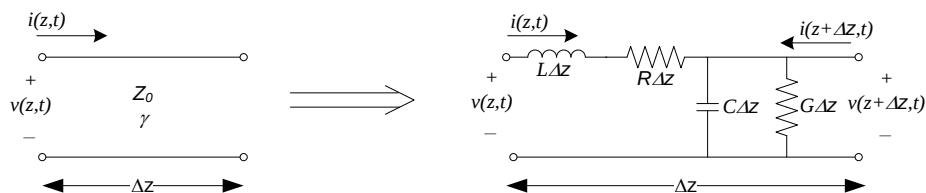
- Elektriska ledningar vars längd är jämförbar med signalens våglängd
- Distribuerade nät där spänning och ström kan variera över ledningens längd
- Reflektioner och stående vågmönster uppstår
- Vanlig kretsteori: Ohms lag, Kirchhoff's lagar kan inte längre användas
- TRANSMISSIONSLEDNINGSTEORI

Mattias Thorsell

6

Telegrafekvationerna (1/3)

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



- Genom KVL och KCL så fås sambanden

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

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

Mattias Thorsell

7

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

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

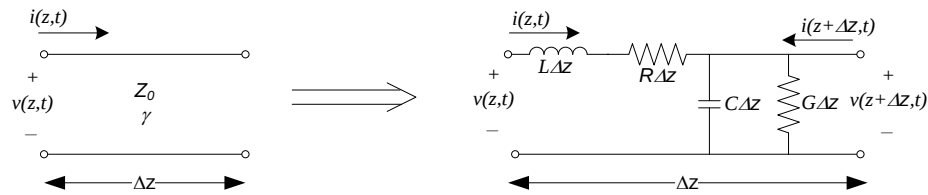
$$\frac{d^2 I(z)}{dz^2} - \gamma^2 I(z) = 0$$

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

Mattias Thorsell

8

Telegrafiekvationerna (3/3)



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

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

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

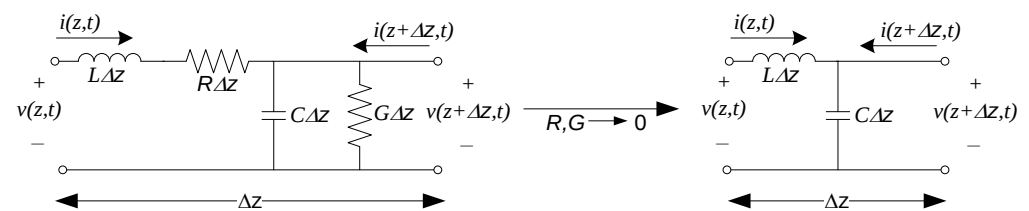
$$I(z) = \frac{\gamma}{R + j\omega L} (V_0^+ e^{-\gamma z} - V_0^- e^{+\gamma z})$$

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

Mattias Thorsell

9

Förlustfri transmissionsledning



Vågutbredningskonstant:

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

Spänningsvåg:

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

Strömvåg:

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

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

Karaktäristisk impedans:

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

Mattias Thorsell

Ström och spänning

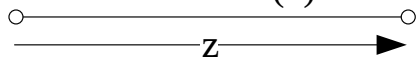
- Ström och spänning är summan av infallande och reflekterade vågor



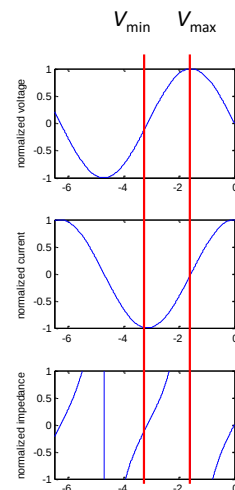
$$V(z) = V^+(z) + V^-(z)$$

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

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



- Effektflödet på ledningen är konstant



Mattias Thorsell

11

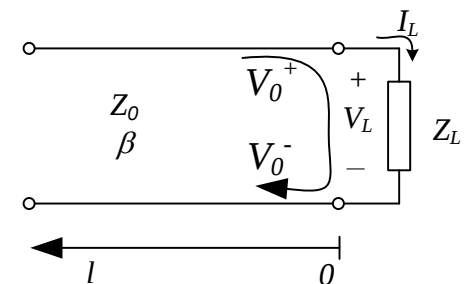
Lastad transmissionsledning

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

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

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

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



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

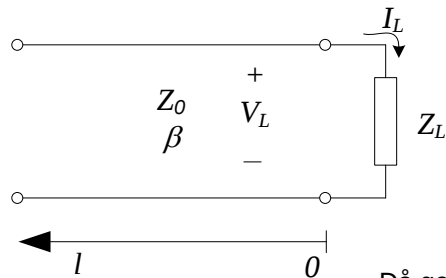
$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{v_p} = \frac{\omega}{c_0} \sqrt{\epsilon_r}$$

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

Mattias Thorsell

12

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

Mattias Thorsell

13

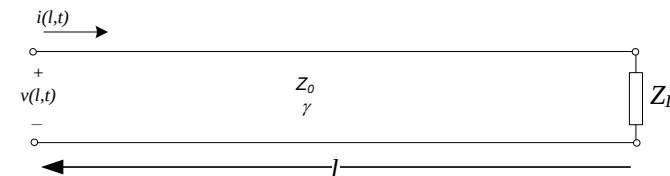


Stående våg och impedans

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

$$\text{SWR} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (\text{P2.23})$$

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



Mattias Thorsell

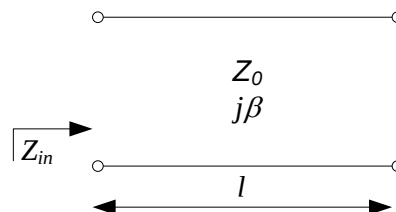
14



Specialfall: Lastimpedans

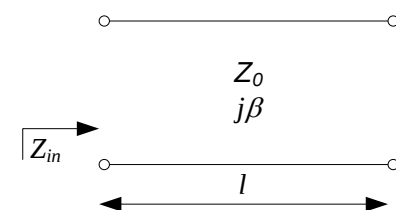
- Kortsluten ledning

$$\begin{aligned} Z(Z_L = 0) &= Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} = \\ &= \underline{jZ_0 \tan \beta l} \quad (\text{P2.28}) \end{aligned}$$



- Öppen ledning

$$\begin{aligned} Z(Z_L \rightarrow \infty) &= Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} = \\ &= Z_0 \frac{1}{j \tan \beta l} = \underline{-jZ_0 \frac{1}{\tan \beta l}} \quad (\text{P2.30}) \end{aligned}$$

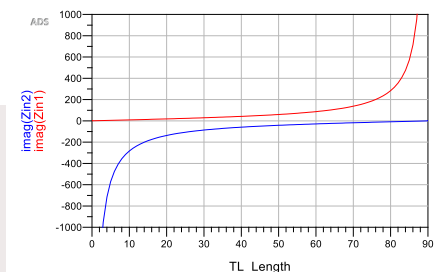
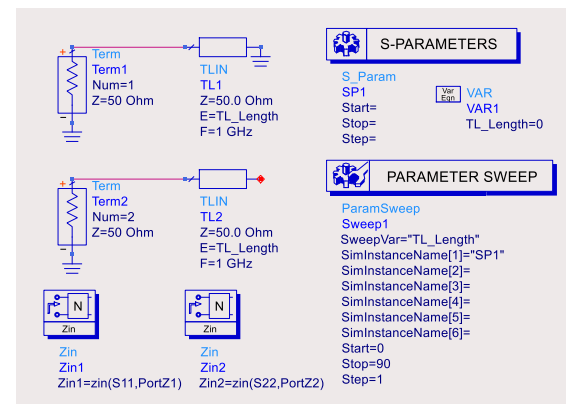


Mattias Thorsell

15

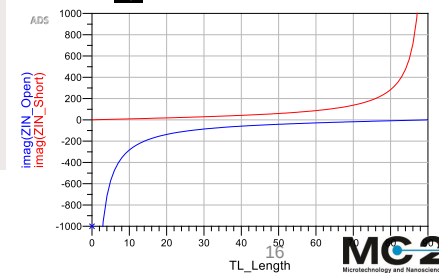


Specialfall: Lastimpedans



$$\text{EqnZIN_Short} = j50 \tan(TL_Length \cdot \pi / 180)$$

$$\text{EqnZIN_Open} = -j50 \tan(TL_Length \cdot \pi / 180)$$

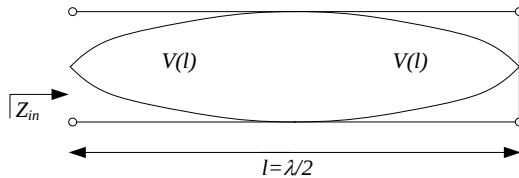


Mattias Thorsell



Specialfall: Ledningslängd $\lambda/2$

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



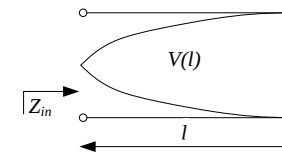
$$Z_{IN}(l = \lambda/2) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2}\right)}{Z_0 + jZ_L \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2}\right)} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\pi)}{Z_0 + jZ_L \tan(\pi)} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \cdot 0}{Z_0 + jZ_L \cdot 0} = Z_L \quad (\text{P2.31})$$

Mattias Thorsell

17

Specialfall: Ledningslängd $\lambda/4$

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

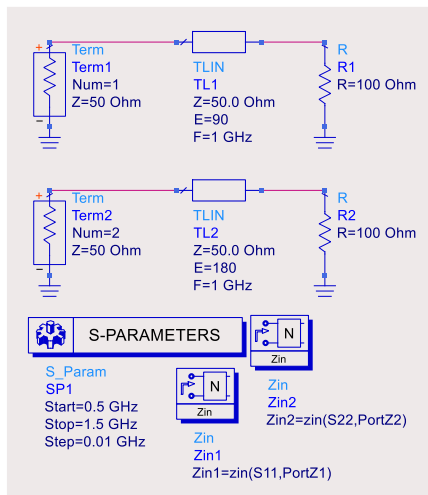


$$Z_{IN}(l = \lambda/4) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4}\right)}{Z_0 + jZ_L \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4}\right)} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}{Z_0 + jZ_L \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \cdot \infty}{Z_0 + jZ_L \cdot \infty} = \frac{Z_0^2}{Z_L} \quad (\text{P2.32})$$

Mattias Thorsell

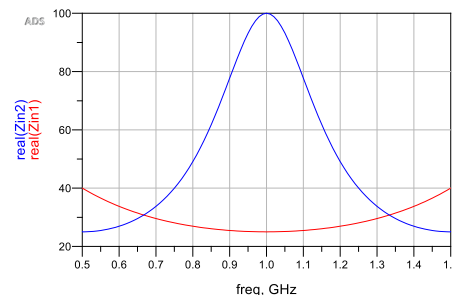
18

Specialfall: Ledningslängd



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

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



Mattias Thorsell

19

Inimpedans

- Inimpedansen av öppen kvartsvågsledning

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

- Inimpedans av en kortsluten kvartsvågsledning

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

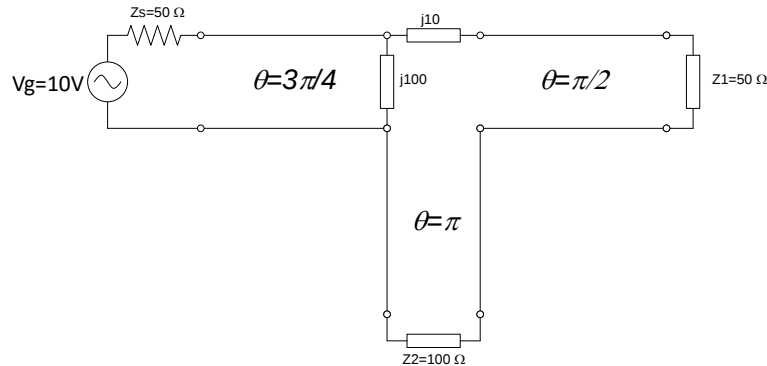
- Impedansinverterare

Mattias Thorsell

20

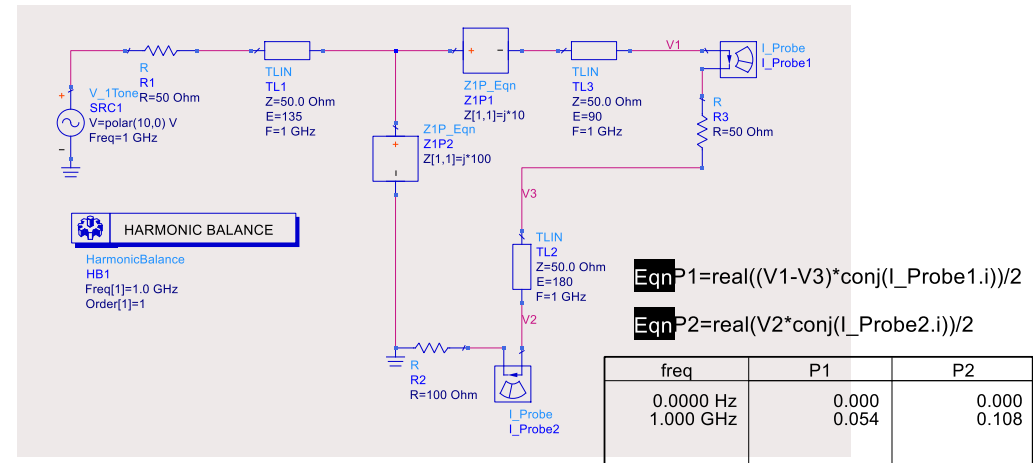
Övning, transmissionsledning

- Bestäm effekten som levereras till lasterna Z1 och Z2 genom att använda transmissionsledningsekvationerna
- För alla transmissionsledningar gäller $Z_c = 50\Omega$



Mattias Thorsell

21

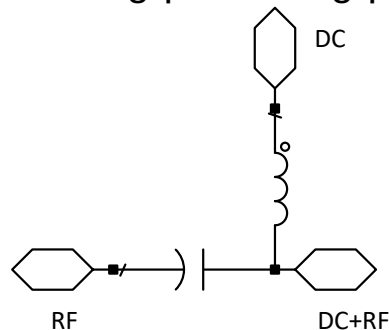


Mattias Thorsell

22

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

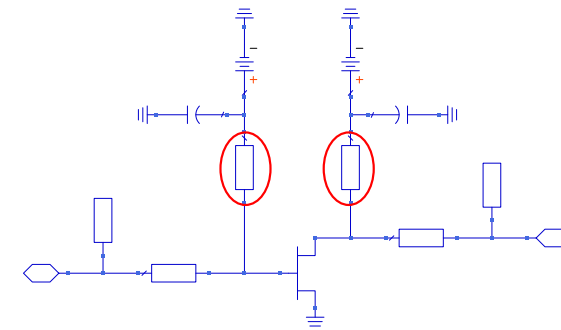


Mattias Thorsell

23

Biasnät: Distribuerat

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



Mattias Thorsell

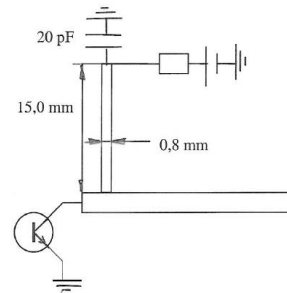
24

Övning

Uppgift 9, förstärkanpassningar

9. En biaseringsledning är applicerad på ett 1,2 mm tjockt substrat med dielektricitetsvärdet $\epsilon_r = 4,0$. Förstärkaren är avsedd att arbeta inom ett smalt frekvensområde och vid signalfrekvensen f_0 erhålls 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 $4/3 f_0$.

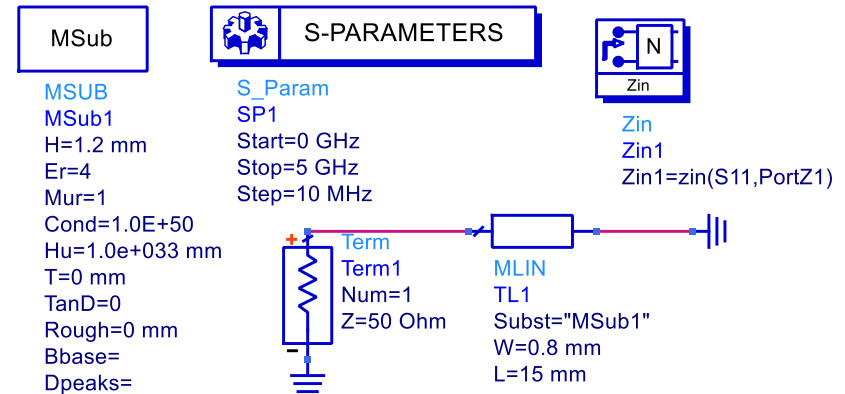


Mattias Thorsell

25



Simulering av biasnät i ADS

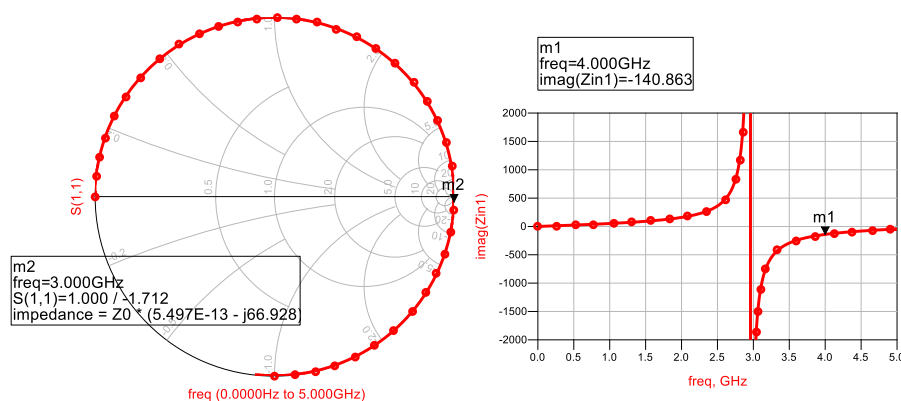


Mattias Thorsell

26



Resultat



Mattias Thorsell

27



Sammanfattning

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

Mattias Thorsell

28

