

A linha de transmissão *microstrip* mostrada na Figura 1 possui impedância característica $Z_0=50$ ohms e fator de velocidade 0.714 em $f=2.4$ Ghz, sendo terminada em uma impedância de carga $Z_L=5.5$ ohms nesta frequência. O gerador que alimenta a *microstrip* possui impedância interna Z_g idêntica à impedância característica Z_0 da linha e gera uma onda de tensão incidente se propagando na direção $z+$ cujo fasor na coordenada $z=0$ é $V_0^+=|V_0^+|e^{j0} = 1$ [V].

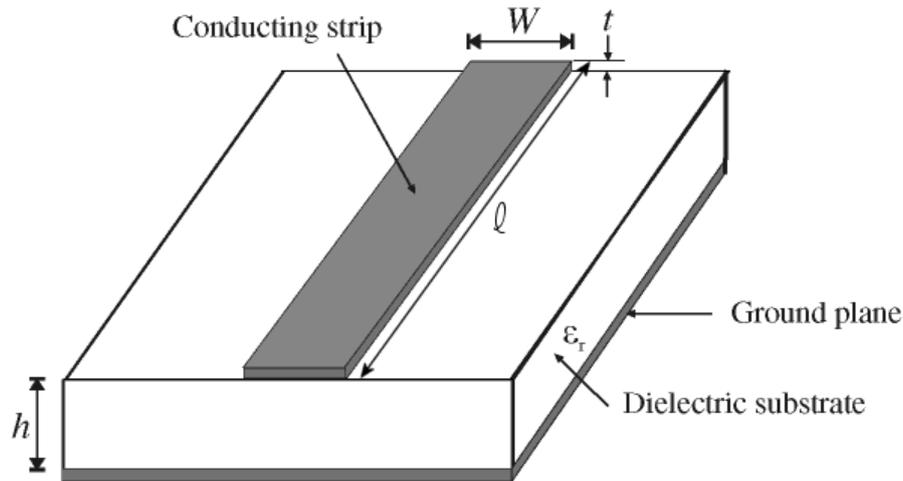


Figura 1: Linha de transmissão *microstrip* com $\epsilon_r = 2.33$, $t = 0.1$ mm, $h = 1.524$ mm e $W = 4.49$ mm .

Assumindo perdas ôhmicas e dielétricas desprezíveis na *microstrip*, pede-se:

- Determine o coeficiente de reflexão na carga.
- Determine a ROE.
- Determine o *return loss* em dB no *input port* para $\ell = \lambda_g/4$, sendo λ_g o comprimento da onda guiada na *microstrip*.
- Determine a impedância de entrada Z_{in} vista nos terminais do *input port* para $\ell = \lambda_g/4$.
- Determine a impedância de entrada Z_{in} vista nos terminais do *input port* para $\ell = \lambda_g/2$.
- Há alguma relação algébrica simples entre a impedância de carga Z_L e a impedância de entrada Z_{in} da *microstrip* para os casos d) e e) ? Qual?
- Plote em um único gráfico as amplitudes das ondas estacionárias de tensão $|V(z)|$ e de corrente $|I(z)|$ ao longo da coordenada z da linha de transmissão para $\ell = \lambda_g/4$. Analise no gráfico o comportamento observado dos máximos e mínimos de $|V(z)|$ e $|I(z)|$ à luz da resposta apresentada em f).
- Conforme item g) mas para $\ell = \lambda_g/2$. Analise no gráfico o comportamento observado dos máximos e mínimos de $|V(z)|$ e $|I(z)|$ à luz da resposta apresentada em f).

Solução:

$$f := 2.4 \cdot 10^9 \cdot \text{Hz} \quad \lambda := \frac{c}{f} \quad \lambda = 0.125\text{m} \quad V_m := 1 \cdot \text{V} \quad \rightarrow |V_o^+| = V_m = 1, \text{ conforme enunciado.}$$

$$p := 0.714 \quad \lambda_g := p \cdot \lambda \quad \lambda_g = 0.089\text{m} \quad \beta := \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_g} \quad \beta = 70.449 \frac{1}{\text{m}}$$

$$Z_o := 50 \cdot \Omega \quad Z_L := 5.5 \cdot \Omega$$

a) Da equação (2.35) do Cap II das notas de aula:

$$\Gamma := \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} \quad \Gamma = -0.802$$

b) Da equação (2.41) do Cap II das notas de aula:

$$\text{ROE} := \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \text{ROE} = 9.091$$

c) Das equações (2.38) e (2.42) do Cap II das notas de aula:

$$l := \frac{\lambda_g}{4} \quad l = 0.022\text{m}$$

$$\Gamma_i := \Gamma \cdot e^{-2 \cdot j \cdot \beta \cdot l} \quad \Gamma_i = 0.802$$

$$\text{RetLoss} := -20 \log(|\Gamma_i|) \quad \text{RetLoss} = 1.919 \text{ dB}$$

d) Da equação (2.44) do Cap II das notas de aula:

$$Z_{in} := Z_o \cdot \frac{Z_L + j \cdot Z_o \cdot \tan(\beta \cdot l)}{Z_o + j \cdot Z_L \cdot \tan(\beta \cdot l)} \quad Z_{in} = 454.545 \Omega \quad \rightarrow \text{Note que } \frac{Z_o^2}{Z_L} = 454.545 \Omega$$

e) Da equação (2.44) do Cap II das notas de aula:

$$l := \frac{\lambda_g}{2}$$

$$Z_{in} := Z_o \cdot \frac{Z_L + j \cdot Z_o \cdot \tan(\beta \cdot l)}{Z_o + j \cdot Z_L \cdot \tan(\beta \cdot l)} \quad Z_{in} = 5.5 \Omega$$

f) Sim. Para $l = \lambda_g/4$ vale a expressão do assim denominado "transformador de 1/4 de onda":

$$Z_{in} = \frac{Z_o^2}{Z_L}$$

Para $l = \lambda_g/2$ vale:

$$Z_{in} = Z_L$$

g) Aplicando o operador módulo $|\cdot|$ na equação (2.34a) do Cap II das notas de aula, com $U(z) = |V(z)|$, e dado que $V_o^+ = |V_o^+|e^{j0} = V_m = 1$, conforme enunciado, temos:

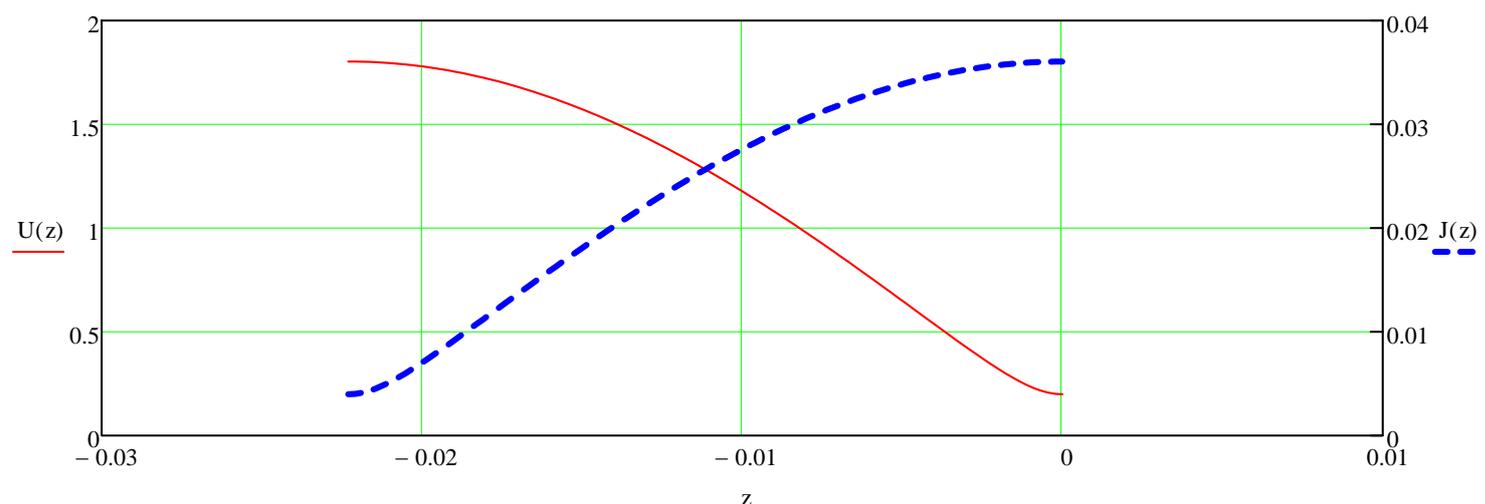
$$U(z) := V_m \left| e^{-j \cdot \beta \cdot z} + \Gamma \cdot e^{j \cdot \beta \cdot z} \right|$$

Aplicando o operador módulo $|\cdot|$ na equação (2.34b) do Cap II das notas de aula, com $J(z) = |I(z)|$, e dado que $V_o^+ = |V_o^+|e^{j0} = V_m = 1$, conforme enunciado, temos:

$$J(z) := \frac{V_m}{Z_o} \left| e^{-j \cdot \beta \cdot z} - \Gamma \cdot e^{j \cdot \beta \cdot z} \right|$$

Para $l := \frac{\lambda g}{4}$ $l = 0.022 \text{ m}$

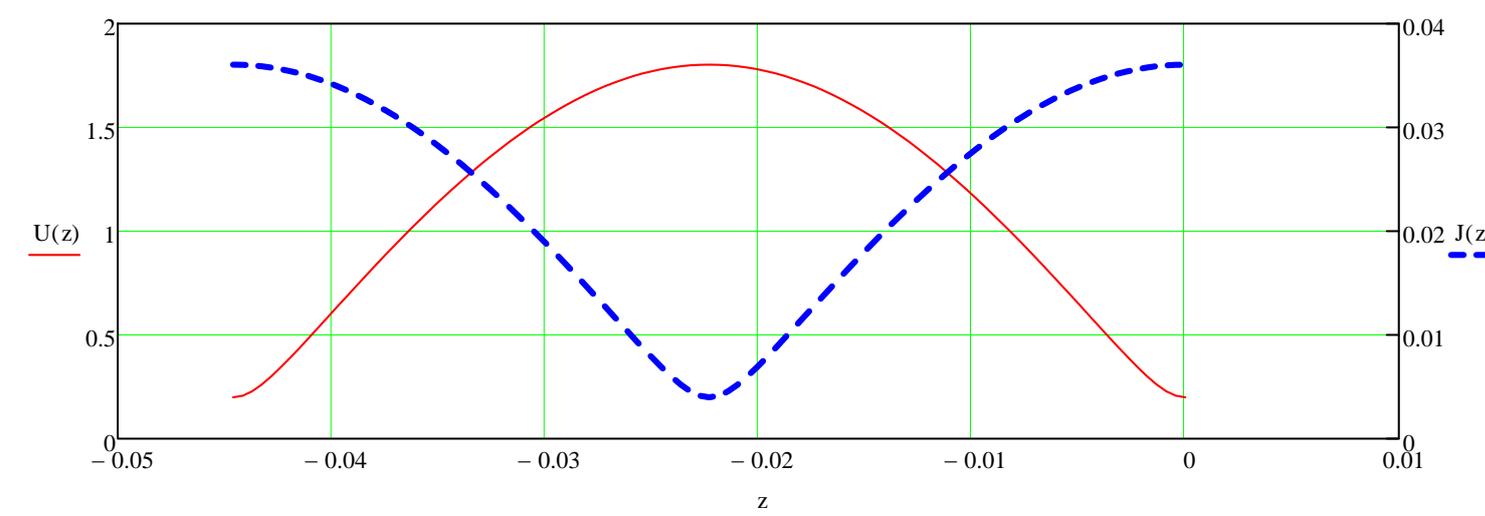
$z := -1, -0.99 \dots 0$ ($z = -l$ conforme Figura 2.4 do Cap II das notas de aula)



Análise: Note que para $l = \lambda g/4$ os máximos e mínimos de tensão e corrente respectivamente se alternam entre o *port* de entrada e o *port* de saída, o que sugere haver um mecanismo de inversão de impedâncias entre entrada e saída para $l = \lambda g/4$, conforme resposta apresentada em f), a qual identifica $Z_{in} = Z_o^2/Z_L$ para esta situação.

h) E para $l := \frac{\lambda g}{2}$ $l = 0.045 \text{ m}$

$z := -1, -0.99 \dots 0$ ($z = -l$ conforme Figura 2.4 do Cap II das notas de aula)



Análise: Note que para $l = \lambda g/2$ os máximos e mínimos de tensão e corrente são idênticos no *port* de entrada e no *port* de saída, o que sugere haver um mecanismo de replicação de impedâncias entre entrada e saída para $l = \lambda g/2$, conforme resposta apresentada em f), a qual identifica $Z_{in} = Z_L$ para esta situação.