

A linha de transmissão *microstrip* mostrada na Figura 1 é de comprimento $\ell = 20$ cm, impedância característica $Z_0=50$ ohms e fator de velocidade 0.715. A linha opera em $f=1.5$ Ghz, sendo terminada em uma impedância de carga $Z_L=60+j40$ ohms nesta frequência. A potência útil entregue pelo gerador no *input port* é 200W, sendo a impedância interna Z_g do gerador idêntica à impedância característica Z_0 da linha.

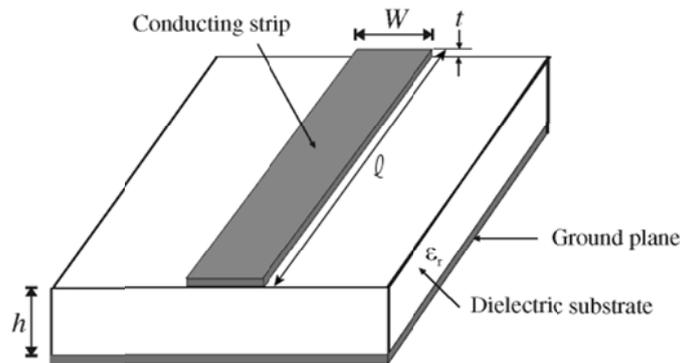
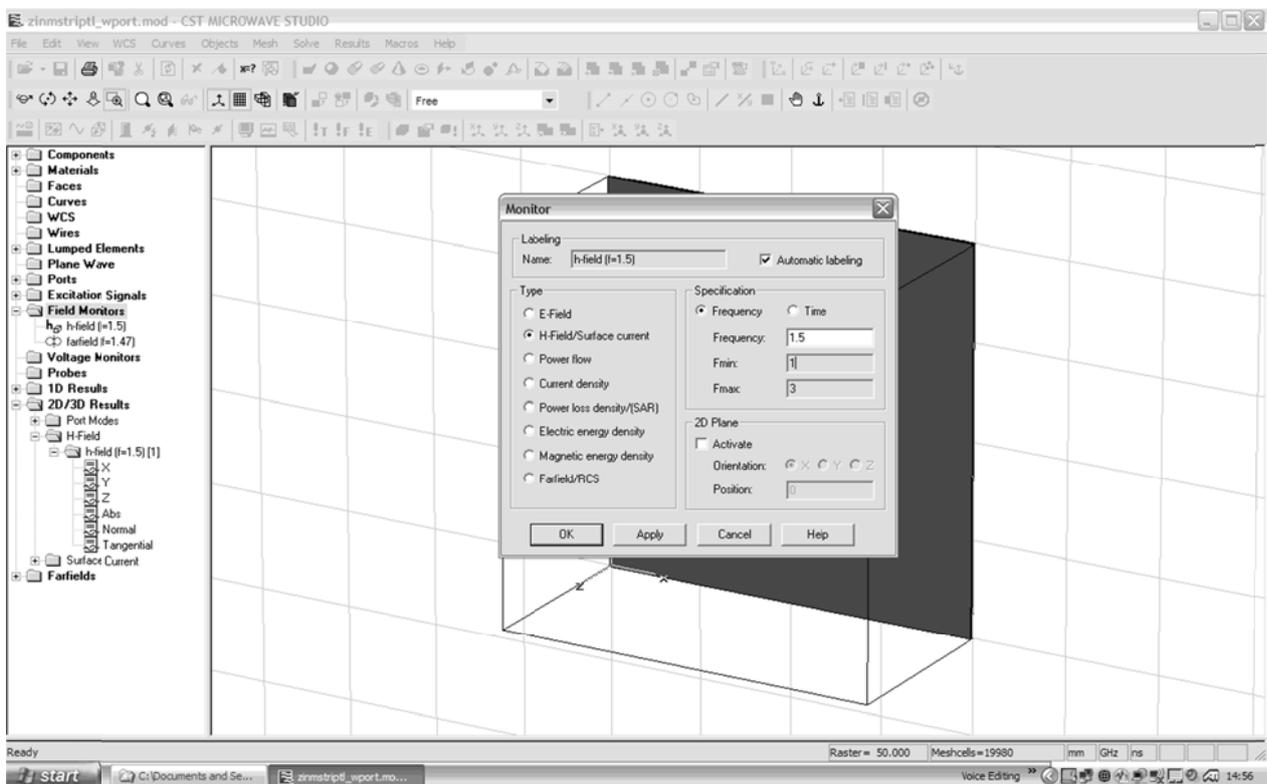


Figura 1: Linha de transmissão *microstrip* com $\epsilon_r = 2.33$, $t = 0.1$ mm, $h = 1.524$ mm e $W = 4.46$ mm.

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

- Determine o coeficiente de reflexão na carga.
- Determine o *return loss* em dB.
- Determine os valores máximo e mínimo da onda estacionária de tensão ao longo da *microstrip*.
- Determine a ROE.
- Plote o gráfico da amplitude da onda estacionária de tensão $|V(z)|$ ao longo da *microstrip*.
- Plote o gráfico da amplitude da onda estacionária de corrente $|I(z)|$ ao longo da *microstrip*.
- Compare a distribuição espacial de corrente obtida em f) com a distribuição espacial de corrente que é obtida utilizando um *field monitor* tipo *surface currents* com a opção *animate fields* do CST-MWS, conforme menu na figura abaixo.



- Plote o diagrama de irradiação 3D utilizando um *field monitor* tipo *farfield/RCS* conforme menu na figura acima e identifique a direção (θ, φ) e o valor de máximo ganho em dBi para as componentes θ e φ do campo elétrico irradiado por esta *microstrip line*. Qual a implicação da irradiação destas componentes θ e φ do campo elétrico E na construção de dispositivos implementados em *microstrip*?

Observação: Utilize o *workspace* "Microstrip Line Analysis - discrete port - ZL.cst" para o CST-MWS disponível em <http://www.fccdecastro.com.br/MO/Microstrip-Zc&FatorVelocidade/> como ponto de partida para a solução dos itens g) e h).

Solução:

$$f := 1.5 \cdot 10^9 \cdot \text{Hz} \quad \lambda := \frac{c}{f} \quad \lambda = 0.2 \text{m}$$

$$l := 20 \text{cm}$$

$$p := 0.715$$

$$\lambda_g := p \cdot \lambda \quad \lambda_g = 0.143 \text{m} \quad \beta := \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_g}$$

$$Z_o := 50 \cdot \Omega$$

$$Z_L := (60 + j \cdot 40) \cdot \Omega \quad L_{\text{load}} := \frac{\text{Im}(Z_L)}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad L_{\text{load}} = 4.244 \times 10^{-9} \text{H}$$

$$P_{\text{avg}} := 200 \text{W}$$

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

$$\Gamma := \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} \quad \Gamma = 0.197 + 0.292i$$

b) Da equação 2.38 do Cap II das notas de aula:

$$RL := -20 \cdot \log(|\Gamma|) \quad RL = 9.063 \text{ dB}$$

c) Da equação 2.37 do Cap II das notas de aula, com $|V_o^+| = V_m$:

$$P_{\text{avg}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_m^2}{Z_o} \cdot [1 - (|\Gamma|)^2]$$

Daí, resolvendo para $V_m = |V_o^+|$, temos

$$V_m := \frac{1}{1 - (|\Gamma|)^2} \cdot \left[\left[-(-2) + 2 \cdot (|\Gamma|)^2 \right] \cdot P_{\text{avg}} \cdot Z_o \right]^{\frac{1}{2}} \quad V_m = 151.107 \text{V}$$

Das equações 2.40a e 2.40b do Cap II das notas de aula, com $|V_o^+| = V_m$:

$$V_{\text{max}} := V_m (1 + |\Gamma|) \quad V_{\text{max}} = 204.336 \text{V}$$

$$V_{\text{min}} := V_m (1 - |\Gamma|) \quad V_{\text{min}} = 97.878 \text{V}$$

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

$$\text{ROE} := \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \text{ROE} = 2.088$$

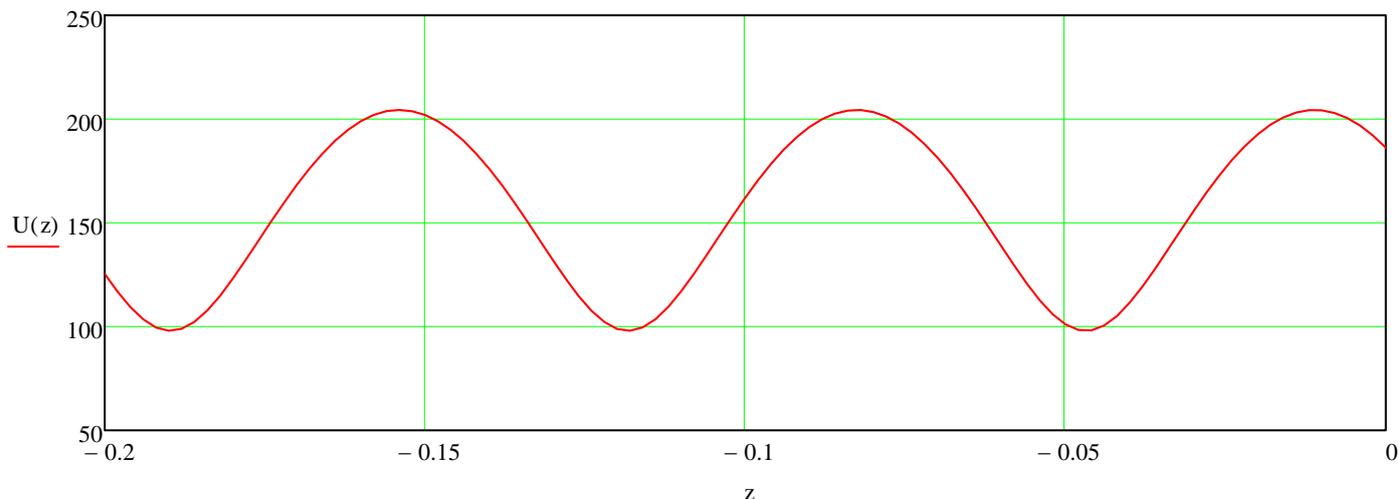
Note que:

$$\frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} = 2.088$$

e) Aplicando o operador módulo $|\cdot|$ na equação 2.34a do Cap II das notas de aula, com $U(z) = |V(z)|$, e assumindo que $V_0^+ = |V_0^+|e^{j0} = V_m$ (i.e., assumindo ângulo de fase nulo em $z=0$ para o fasor da onda de tensão que se propaga na direção $z+$), temos:

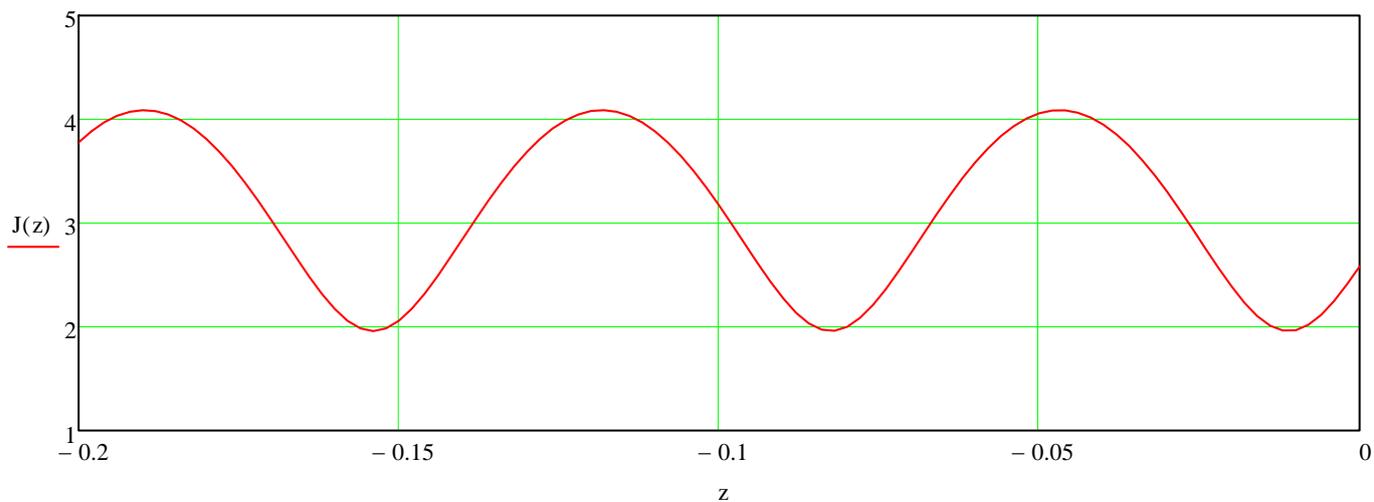
$$U(z) := V_m \cdot \left| e^{-j\beta \cdot z} + \Gamma \cdot e^{j\beta \cdot z} \right|$$

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

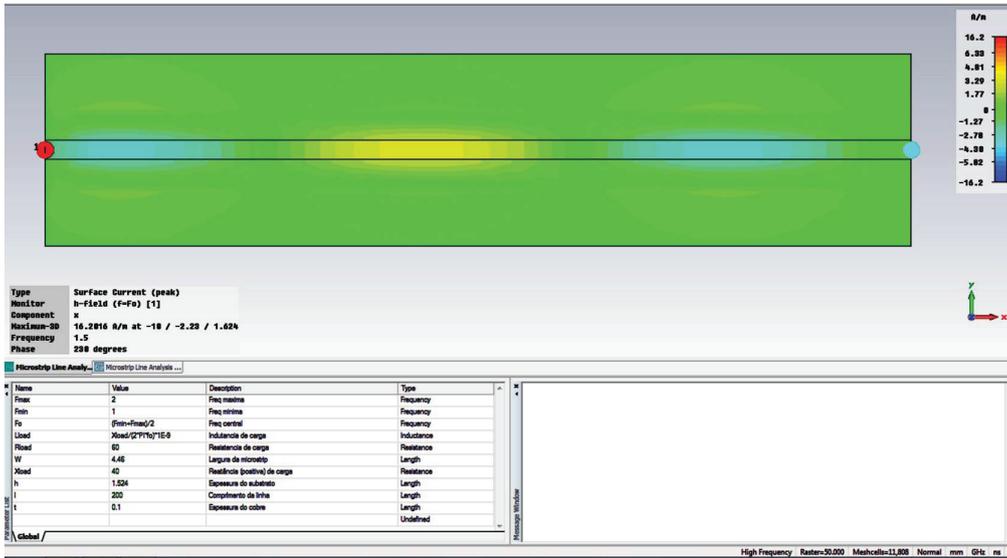


f) Aplicando o operador módulo $|\cdot|$ na equação 2.34b do Cap II das notas de aula, com $J(z) = |I(z)|$, e assumindo que $V_0^+ = |V_0^+|e^{j0} = V_m$ (i.e., assumindo ângulo de fase nulo em $z=0$ para o fasor da onda de tensão que se propaga na direção $z+$), temos:

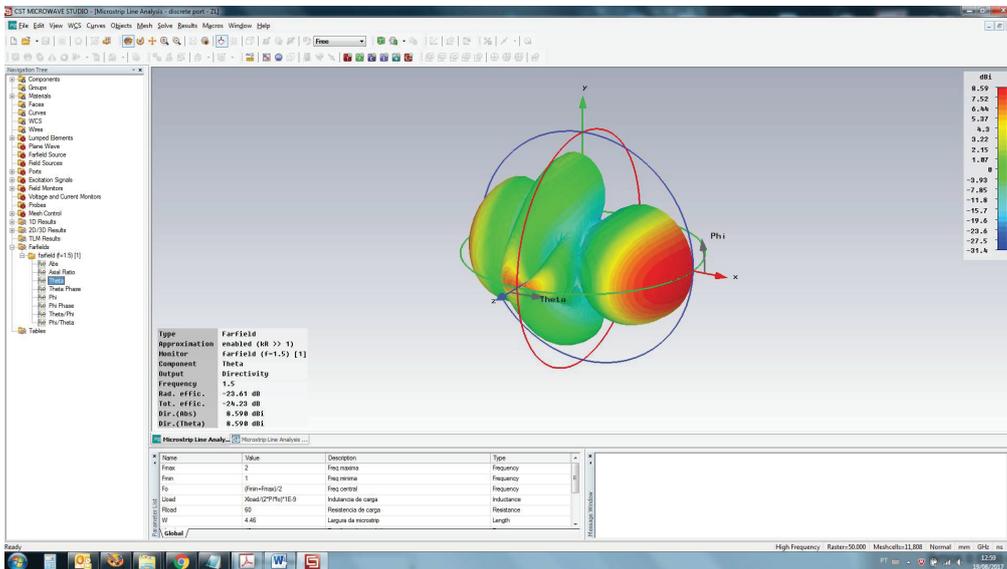
$$J(z) := \frac{V_m}{Z_0} \cdot \left| e^{-j\beta \cdot z} - \Gamma \cdot e^{j\beta \cdot z} \right|$$



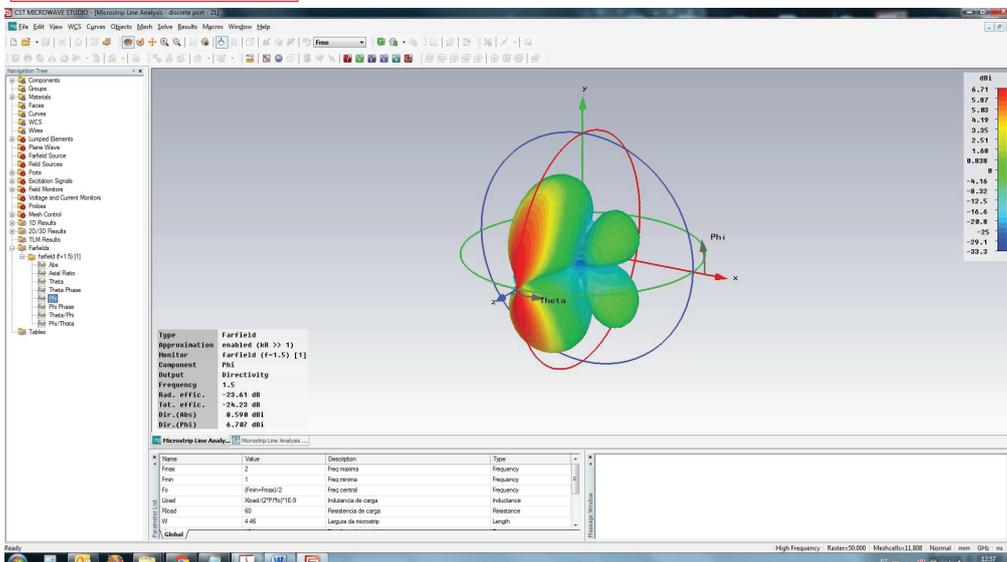
Resposta g)



Resposta h) - Etheta



Resposta h) - Ephi e implicações construtivas



Implicações construtivas: O significativo ganho de irradiação das componentes theta e phi do campo elétrico E implica que na construção de dispositivos com microstrips se faça uso de caixa metálica enclausurando a microstrip, formando uma blindagem eletromagnética p/ o campo Etheta e Ephi irradiado. A blindagem deve ser eletromagneticamente selada para evitar que campos EM externos acoplem na microstrip e que o campo EM gerado pela microstrip acople em dispositivos externos, evitando assim interferências e instabilidades (oscilações) indesejadas.