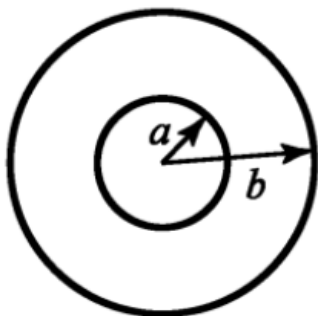


PUCRS – Escola Politécnica – Engenharia Elétrica
Microondas – T480 – 2º exercício aula 23/08/2019

Uma onda eletromagnética de frequência 2.4 GHz propaga-se ao longo de um cabo coaxial que conecta um transmissor (TX) a uma antena. A impedância de saída do transmissor, a impedância característica do cabo e a impedância da antena são todas casadas (*matched*) entre si. Os raios a e b respectivamente dos condutores cilíndricos interno e externo do cabo coaxial são $a=1.00\text{mm}$ e $b=12.21\text{mm}$, conforme mostra a figura abaixo.



Sabendo que o material dos condutores cilíndricos interno e externo é o cobre ($\sigma = 5.813 \times 10^7 \text{ S/m}$ – vide Cap I das notas de aula - tabela do slide 20) e que o material dielétrico que preenche os espaço entre os dois condutores cilíndricos é o polietileno ($\epsilon_r=2.25$, $\tan\delta=0.0004$ – vide Cap I das notas de aula - tabela do slide 7), determine:

- A impedância característica da linha de transmissão definida por este cabo coaxial.
- A constante de propagação da onda eletromagnética que se propaga na linha.
- A velocidade de fase da onda.
- O comprimento entre dois pontos de máximo da onda de tensão que se propaga na direção $z+$.
- A atenuação em dB/m desta linha de transmissão.
- Se o cabo tiver comprimento de 10m e a potência medida na saída do TX for 100W, determine a potência entregue à antena.

Solução:

$f := 2.4 \cdot \text{GHz}$ → frequência de operação do cabo coaxial (dado no enunciado)

$b := 12.21 \text{ mm}$ → diâmetro do condutor cilíndrico externo do cabo coaxial (dado no enunciado)

$a := 1.0 \text{ mm}$ → diâmetro do condutor cilíndrico interno do cabo coaxial (dado no enunciado)

$\epsilon_0 := 8.8542 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ → permissividade elétrica do espaço livre

$\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$ → permeabilidade magnética do espaço livre

$\epsilon_r := 2.25$

$\tan \delta := 0.0004$ → tangente de perdas (do Cap I das notas de aula - tabela do slide 7 para o material polietileno)

$\sigma := 5.813 \cdot 10^7 \frac{\text{S}}{\text{m}}$ → condutividade elétrica dos condutores (do Cap I das notas de aula - tabela do slide 20 para o material cobre)

Da Tabela 2.1 do Cap II das notas de aula:

$L_{\text{ww}} := \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right)$ $L = 5.005 \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$

$\epsilon_1 := \epsilon_r \cdot \epsilon_0$ → Vide comentário ao final do slide 6 do Cap I das notas de aula

$C_{\text{ww}} := \frac{2\pi \cdot \epsilon_1}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$ $C = 5.002 \times 10^{-11} \frac{\text{F}}{\text{m}}$

$\delta_s := \sqrt{\frac{1}{\pi f \cdot \mu_0 \cdot \sigma}}$ $\delta_s = 1.347 \times 10^{-6} \text{ m}$ → Eq (1.60) Cap I das notas de aula

$R_s := \frac{1}{\sigma \cdot \delta_s}$ $R_s = 0.013 \Omega$ → Resistência superficial do condutor

$R_{\text{ww}} := \frac{R_s}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right)$ $R = 2.198 \cdot \frac{\Omega}{\text{m}}$

$\epsilon_{11} := \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \tan \delta$ → Vide comentário ao final do slide 6 do Cap I das notas de aula

$G_{\text{ww}} := \frac{4\pi^2 \cdot f \cdot \epsilon_{11}}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$ $G = 3.017 \times 10^{-4} \frac{\text{S}}{\text{m}}$

a) $\omega := 2 \cdot \pi \cdot f$

$Z_o := \sqrt{\frac{R + j \cdot \omega \cdot L}{G + j \cdot \omega \cdot C}}$ $Z_o = (100.021 + 5.436i \times 10^{-3}) \Omega$ → Eq (2.7) Cap II das notas de aula

b)

$\gamma := \sqrt{(R + j \cdot \omega \cdot L) \cdot (G + j \cdot \omega \cdot C)}$ $\gamma = (0.026 + 75.45i) \frac{1}{\text{m}}$ → Eq (2.5) Cap II das notas de aula

c)

$\beta := \text{Im}(\gamma)$ $\beta = 75.45 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{m}}$

$v_p := \frac{\omega}{\beta}$ $v_p = 1.999 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ → Eq (2.11) Cap II das notas de aula

d)

$$\lambda := \frac{2 \cdot \pi}{\beta} \quad \lambda = 0.083 \text{ m} \quad \rightarrow \text{Eq (2.10) Cap II das notas de aula}$$

e)

$$\alpha := \text{Re}(\gamma) \quad \alpha = 0.026 \frac{1}{\text{m}} \quad [\text{Np/m}]$$

O fator de conversão de Np/m para dB/m é 8.686 dB/Np (Vide comentário ao final do slide 43 do Cap I das notas de aula).
Daí, obtemos α em dB/m multiplicando α em Np/m pelo fator de conversão 8.686 dB/Np:

$$\alpha_{\text{dB}} := \alpha \cdot 8.686 \quad \alpha_{\text{dB}} = 0.227 \frac{1}{\text{m}} \quad [\text{dB/m}]$$

f)

$$L_{\text{cabo}} := 10 \text{ m} \quad P_{\text{Tx}} := 100 \text{ W} \quad \rightarrow \text{dados no enunciado}$$

$$P_{\text{LossdB}} := \alpha_{\text{dB}} \cdot L_{\text{cabo}} \quad P_{\text{LossdB}} = 2.265 \quad [\text{dB}]$$

$$P_{\text{LossFactor}} := 10^{\frac{-P_{\text{LossdB}}}{10}} \quad P_{\text{LossFactor}} = 0.594 \quad [\text{vezes}]$$

$$P_{\text{Ant}} := P_{\text{Tx}} \cdot P_{\text{LossFactor}} \quad P_{\text{Ant}} = 59.357 \text{ W}$$