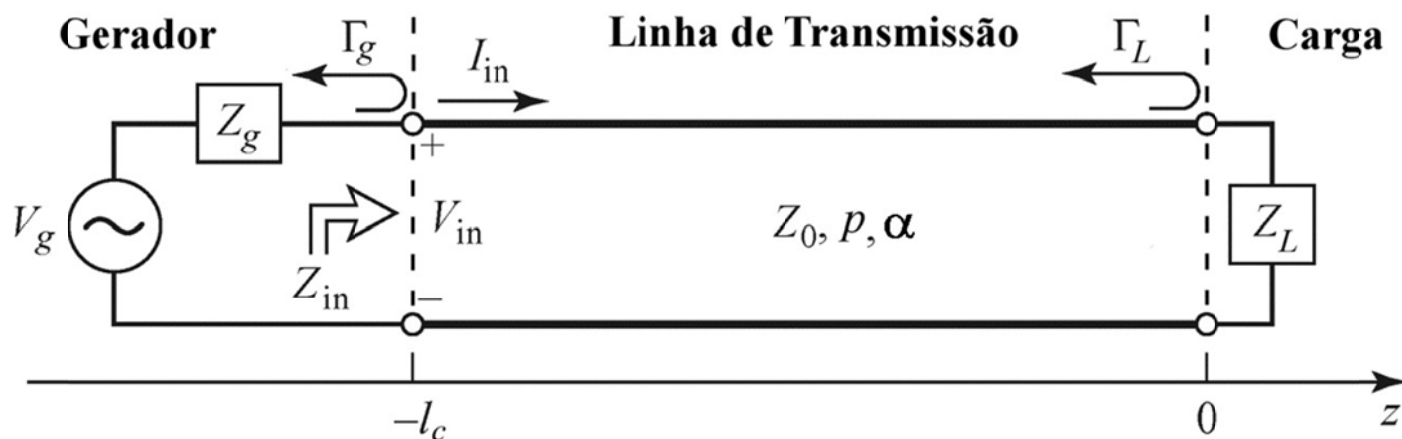


Um transmissor (TX) representado pelo “Gerador” na figura abaixo é conectado através de uma linha de transmissão a uma antena cuja impedância de entrada é representada pela impedância $Z_L = 113.562 + j202.642 \Omega$ na figura abaixo. A frequência de operação do TX é $f = 30$ MHz.

O TX possui uma potência nominal de saída $P_{g_{nom}} = 100$ W e uma impedância nominal de saída de $Z_g = 52 \Omega$. A linha de transmissão é um cabo coaxial de $l_c = 50$ m de comprimento com impedância característica $Z_0 = 50 + j0.085 \Omega$, fator de velocidade $p = 0.66$ e com um fator de perdas $\alpha = 3.6$ dB/100m.



Para a situação operacional dada **determine**:

- A amplitude e fase da onda de tensão incidente que trafega ao longo do cabo.
- A amplitude e fase da corrente medida nos terminais de entrada da antena.
- A amplitude e fase da tensão medida nos terminais de entrada da antena.
- A impedância de entrada do cabo coaxial.
- A Potência útil PL que o cabo entrega (=forward power) para a antena e a potencia P_{in} entregue ao cabo pelo gerador.
- A potência útil refletida P_{Refl} (= reflected power) na impedância de carga do cabo (= antena).
- A ROE na entrada do cabo coaxial e a ROE na saída do cabo coaxial.
- A tensão e a corrente na saída do TX (na entrada do cabo coaxial).
- Os gráficos da amplitude de pico da tensão $|V(z)|$ e da amplitude de pico da corrente $|I(z)|$ ao longo da coordenada z (ao longo do cabo coaxial).

Referências bibliográficas

- [1] Microwave Engineering 4th - Pozar - JohnWiley & Sons – 2012
- [2] Microwave and RF Design: A Systems Approach - Steer - SciTech Publishing, Inc. - 2010

Solução :

Do enunciado são dados:

$$f := 30\text{MHz} \quad \rightarrow \text{frequência de operação} \quad \lambda := \frac{c}{f} \quad \lambda = 9.993082 \text{ m}$$

$$\alpha := 3.6 \frac{1}{\text{m}} \quad \rightarrow \text{perda no cabo em dB/100m} \quad \alpha_{\text{Np}} := \frac{\alpha}{100 \cdot 8.686} \quad \rightarrow \quad \alpha = 4.145 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1} \rightarrow \text{perda no cabo em Np/m}$$

$$Z_g := 52 \cdot \Omega \rightarrow \text{Impedância do gerador}$$

$$P_{\text{gnom}} := 100 \cdot \text{W} \quad \rightarrow \text{potência nominal entregue pelo gerador quando a carga do mesmo é igual a } Z_g^*$$

$$Z_o := 50 + 0.085i \Omega \quad \rightarrow \text{Impedância característica do cabo}$$

$$l_c := 50 \cdot \text{m} \rightarrow \text{Comprimento do cabo}$$

$$p := 0.66 \rightarrow \text{fator de velocidade do cabo}$$

$$\lambda_g := p \cdot \lambda \quad \lambda_g = 6.595 \text{ m} \quad \rightarrow \text{comprimento de onda no cabo} \quad \beta := \frac{2\pi}{\lambda_g} \quad \beta = 0.953 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{m}} \rightarrow \text{constante de giro de fase da onda no cabo}$$

$$\gamma := \alpha + j \cdot \beta \quad \gamma = (4.145 \times 10^{-3} + 0.953i) \rightarrow \text{constante de propagação da onda no cabo}$$

$$Z_L := Z_A \quad \rightarrow \text{impedância de carga } Z_L \text{ do cabo} = \text{impedância de entrada } Z_A \text{ da antena}$$

$$Z_L = (113.562 + 202.642i) \cdot \Omega$$

Tensão nominal do gerador (divisor de tensão entre Z_g e $Z_{in}=Z_g$):

$$V_g := 2 \cdot \sqrt{P_{\text{gnom}} \cdot Z_g} \quad V_g = 144.222 \cdot \text{V}(\text{rms})$$

Coefficiente de reflexão na carga (nos terminais de entrada da antena):

$$\Gamma_L := \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} \quad \Gamma_L = 0.758 + 0.298i$$

Coefficiente de reflexão no gerador:

$$\Gamma_g := \frac{Z_g - Z_o}{Z_g + Z_o} \quad \Gamma_g = 0.02 - 8.497i \times 10^{-4}$$

(a) Fasor (amplitude e fase) da onda de tensão incidente (eq (2.71) de [1] com β substituído por $\alpha+j\beta$):

$$V_{oP} := V_g \cdot \left(\frac{Z_o}{Z_o + Z_g} \right) \cdot \frac{e^{-\gamma \cdot l_c}}{1 - \Gamma_L \cdot \Gamma_g \cdot e^{-2\gamma \cdot l_c}} \quad |V_{oP}| = 57.937 \cdot \text{V}(\text{rms}) \quad \arg(V_{oP}) = 150.502 \cdot \text{deg}$$

(b) Amplitude e fase da corrente $I(z=0)$ - corrente medida no terminal de entrada da antena (eq (2.89b) de [1]) :

$$I(z) := \frac{V_{oP}}{Z_o} \cdot (e^{-\gamma \cdot z} - \Gamma_L \cdot e^{\gamma \cdot z}) \quad |I(0)| = 0.445 \cdot \text{A}(\text{rms}) \quad \arg(I(0)) = 99.399 \cdot \text{deg}$$

(c) Amplitude e fase da tensão $V(z=0)$ - tensão medida no terminal de entrada da antena (eq (2.89a) de [1]):

$$V(z) := V_{oP} \cdot (e^{-\gamma \cdot z} + \Gamma_L \cdot e^{\gamma \cdot z}) \quad |V(0)| = 103.335 \cdot \text{volt}(\text{rms}) \quad \arg(V(0)) = 160.132 \cdot \text{deg}$$

(d) Impedância de entrada do cabo (eq (2.91) de [1]):

$$\frac{V(-l_c)}{I(-l_c)} = (83.052 - 75.282i) \cdot \Omega \quad \text{ou} \quad Z_{in} := Z_o \cdot \frac{Z_L + Z_o \cdot \tanh(\gamma \cdot l_c)}{Z_o + Z_L \cdot \tanh(\gamma \cdot l_c)} \quad Z_{in} = (83.052 - 75.282i) \cdot \Omega$$

(e) Potência útil PL que o cabo entrega (= forward power) para a antena e potencia Pin entregue ao cabo pelo gerador:

$$PL := \text{Re}(V(0) \cdot \overline{I(0)}) \quad PL = 22.473 \cdot \text{W} \quad PL_- := \frac{(|V_{oP}|)^2}{Z_o} \cdot [1 - (|\Gamma_L|)^2] \quad PL_- = (22.541 - 0.038i) \cdot \text{W} \quad \text{(eq (2.93) de [1])}$$

Notar que:

$$Pin := \text{Re}(V(-l_c) \cdot \overline{I(-l_c)}) \quad Pin = 72.26 \cdot \text{W} \quad Pin_- := \frac{(|V_{oP}|)^2}{Z_o} \cdot [e^{2 \cdot \alpha \cdot l_c} - (|\Gamma_L|)^2 \cdot e^{-2 \cdot \alpha \cdot l_c}] \quad Pin_- = (72.149 - 0.123i) \cdot \text{W} \quad \text{(eq (2.92) de [1])}$$

Portanto, as eqs.(2.93) e (2.92) de [1], apesar de assumirem Z_o real, são aqui aproximadamente válidas porque este é um caso de baixas perdas.

(f) Potência útil refletida (= *reflected power*) na impedância de carga (antena). Seja P_{VoP} a potência transportada pela onda de tensão incidente. Daí temos que a relação da potência P_L na carga e P_{VoP} é dada por:

$$P_L = P_{VoP} \cdot [1 - (|\Gamma_L|)^2] \quad \rightarrow \quad P_{VoP} := \frac{P_L}{(|\Gamma_L|)^2 - 1} \quad P_{VoP} = 66.931 \cdot W$$

Da eq (2.93) de [1]:

$$P_{Refl} := \frac{(|V_{oP}|)^2}{Z_o} \cdot (|\Gamma_L|)^2$$

Daí $P_{Refl} := P_{VoP} \cdot (|\Gamma_L|)^2 \quad P_{Refl} = 44.459 \cdot W$

$$P_{Refl} = (44.594 - 0.076i) \cdot W$$

(g) ROEo na saída e ROEi na entrada do cabo coaxial:

$$ROE_o := \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|} \quad ROE_o = 9.812 \quad \Gamma_-(z) := \Gamma_L \cdot e^{2 \cdot \gamma \cdot z} \quad (\text{eq (2.90) de [1]})$$

$$ROE_i := \frac{1 + |\Gamma_-(-l_c)|}{1 - |\Gamma_-(-l_c)|} \quad ROE_i = 3.333$$

(h) Tensão e corrente na saída do TX:

$$|V(-l_c)| = 104.558 \cdot \text{volt(rms)} \quad \arg(V(-l_c)) = -13.054 \cdot \text{deg}$$

$$|I(-l_c)| = 0.933 \cdot \text{A(rms)} \quad \arg(I(-l_c)) = 29.137 \cdot \text{deg}$$

(i) Distribuição do valor de pico da tensão e da corrente ao longo da coordenada z:

$$z := -l_c, -0.999 \cdot l_c \dots 0$$

