

# Lista de Exercícios

## Linhas de Transmissão

1. Uma linha de transmissão possui os seguintes parâmetros:  $R = 4,11 \Omega/m$ ,  $L = 0,00337 H/m$ ,  $G = 0,295 \mu mhos/m$  e  $C = 0,00915 \mu F/m$ . Encontre  $Z_0$ ,  $\gamma$  e a impedância de entrada a  $20 m$  da carga  $Z_L = (50 + j 50) \Omega$  sabendo que a linha opera numa frequência de  $1 kHz$ . Resp.  $Z_0 = 612 \angle -5,35^\circ \Omega$ ;  $\gamma = 0,00345 + j 0,0354$  e  $Z_{in} = 616 \angle 68,1^\circ \Omega$ .
2. Repetir o problema anterior com  $R = G = 0$ , isto é, uma linha de transmissão sem perdas. Resp.  $Z_0 = 607 \Omega$ ;  $\gamma = j 0,0354$  e  $Z_{in} = 601,12 \angle 80,64^\circ \Omega$ .
3. Uma linha de transmissão possui os seguintes parâmetros:  $R = 4,0 \Omega/m$ ,  $L = 0,004 H/m$ ,  $G = 0,3 \mu mhos/m$  e  $C = 0,01 \mu F/m$ . Encontre  $Z_0$ ,  $\gamma$  e a impedância de entrada a  $20 m$  da carga  $Z_L = (75 + j 75) \Omega$  sabendo que a linha opera numa frequência de  $2 kHz$ .
4. Repetir o problema anterior com  $R = G = 0$ , isto é, uma linha de transmissão sem perdas.
5. A capacitância por metro de uma linha de transmissão é de  $100 pF/m$ . Assumindo que é uma linha sem perdas e o meio seja o ar, determine  $Z_0$  e  $\beta$  na frequência de  $500 MHz$ . Resp.  $Z_0 = 33,33 \Omega$ ;  $\beta = 10,47 rad/m$ .
6. Uma linha de transmissão, operando em  $500 MHz$ , tem  $Z_0 = 80 \Omega$ ,  $\alpha = 0,04 Np/m$ ,  $\beta = 1,5 rad/m$ . Encontre os parâmetros da linha,  $R$ ,  $L$ ,  $G$  e  $C$ . Resp.  $R = 3,2 \Omega/m$ ,  $L = 38,2 nH/m$ ,  $G = 5 \times 10^{-4} S/m$  e  $C = 5,97 pF/m$ .
7. Uma linha telefônica tem  $R = 30 \Omega/km$ ,  $L = 100 mH/km$ ,  $G = 0$  e  $C = 20 \mu F/km$ . Para  $f = 1 kHz$ , encontre: a) a impedância característica da linha; b) a constante de propagação; c) a velocidade de fase. Resp. a)  $Z_0 = 70,75 \angle -1,367^\circ \Omega$ ; b)  $\gamma = (2,121 \times 10^{-4} + j 8,888 \times 10^{-3}) / m$ ; c)  $v_f = 7,069 \times 10^5 m/s$ .
8. Uma linha de transmissão de  $50 \Omega$  (impedância característica) está carregada com  $Z_L = 80 \Omega$ . Sabendo que a tensão na carga é de  $V_L = 5 V$  encontre  $\Gamma$ ,  $TOE$ ,  $Z_{in}$  em  $l = \lambda/4$ ,  $\lambda/2$  e  $3\lambda/8$  e  $V_{max}$ ,  $V_{min}$ ,  $I_{max}$  e  $I_{min}$ , com as suas respectivas posições em relação a carga. Resp.  $\Gamma = 0,230769$ ;  $TOE = 1,6$ ;  $Z_{in} = 31,25, 80, 50 \angle 25,99^\circ \Omega$ ;  $V_{max} = V_L = 5 V$ ;  $V_{min} = 3,125 V$ ;  $I_{max} = 0,10 A$  e  $I_{min} = 0,0625 A$ .
9. Uma linha de transmissão sem perdas com  $C = 8 \times 10^{-11} F/m$  e  $L = 2 \times 10^{-7} H/m$ , tem  $40 m$  de comprimento e uma carga  $Z_L = 20 \Omega$ . Se uma fonte ideal de tensão fornece  $100 V$  na entrada da linha e está operando numa frequência de  $5 MHz$ , determine a corrente de entrada da linha e a corrente na carga. Resp.  $i_{in} = 1,022 \angle 31,682^\circ A$ ,  $i_L = 2,085 \angle 7,405^\circ A$ .
10. Uma linha de transmissão sem perdas com  $C = 9 \times 10^{-11} F/m$  e  $L = 3 \times 10^{-7} H/m$ , tem  $35 m$  de comprimento e uma carga  $Z_L = 15 \Omega$ . Se uma fonte ideal de tensão fornece  $100 V$  na entrada da linha e está operando numa frequência de  $10 MHz$ , determine a corrente de entrada da linha e a corrente na carga.
11. Uma linha de transmissão que opera na frequência  $\omega = 10^6 rad/s$  tem  $\alpha = 0,921 Np/m$ ,  $\beta = 1 rad/m$  e  $Z_0 = (60 + j 40) \Omega$  e o seu comprimento é de  $2 m$ . Se a linha está conectada a uma fonte de tensão de  $10 \angle 0^\circ V$ , impedância interna  $Z_g = 40 \Omega$  e esta terminada por uma carga

- de  $(20 + j 50) \Omega$ , determine: a) a impedância de entrada; b) a corrente de entrada da linha; c) a corrente na metade da linha. Resp. a)  $Z_{in} = (60, 25 + j 38, 79) \Omega$ ; b)  $I_{in} = 93, 03 \angle -21, 15^\circ \text{ mA}$ ; c)  $I(z = l/2) = 35, 10 \angle 281^\circ \text{ mA}$ .
12. Uma linha de transmissão sem perdas, de 30 metros de comprimento, com  $Z_0 = 50 \Omega$  está operando na frequência de 2 MHz e possui uma carga  $Z_c = (60 + j 40) \Omega$ . Se a velocidade de propagação na linha é  $v = 1,8 \times 10^8 \text{ m/s}$ , determine: a) o coeficiente de reflexão; b) a taxa de onda estacionária; c) a impedância de entrada. Resp.  $\Gamma = 0,3523 \angle 56^\circ$ ; b)  $TOE = 2,088$ ; c)  $Z_{in} = (23,97 + j 1,35) \Omega$ .
13. Repetir o problema anterior usando a carta de Smith.
14. O comprimento de onda em uma certa linha sem perdas é 10 cm. Se a impedância de entrada normalizada é  $z_{ent} = 1 + j 2 \Omega$ , use a carta de Smith para determinar: a)  $s$ ; b)  $z_L$ , se o comprimento da linha é de 12 cm; c)  $x_L$ , se  $z_L = 2 + j x_L$ , onde  $x_L > 0$ .
15. Uma linha de transmissão sem perdas de  $50 \Omega$  opera com uma velocidade que é  $(3/4)c$ . Uma carga  $Z_L = 60 + j 30 \Omega$  está localizada em  $z = 0$ . Use a carta de Smith para calcular: a)  $s$ ; b) a distância a partir da carga até o mínimo de tensão mais perto se  $f = 300 \text{ MHz}$ ; c) a impedância de entrada se  $f = 200 \text{ MHz}$  e a entrada é em  $z = -110 \text{ cm}$ .
16. Uma linha de transmissão de  $300 \Omega$  é curto-circuitada em  $z = 0$ . Um máximo de tensão,  $|V|_{max} = 10 \text{ V}$ , é encontrado em  $z = -25 \text{ cm}$  e a tensão mínima,  $|V|_{min} = 0 \text{ V}$  está em  $z = -50 \text{ cm}$ . Use a carta de Smith para calcular  $Z_L$  (com o curto-circuito substituído pela carga) se as leituras de tensão são: a)  $|V|_{max} = 12 \text{ V}$  em  $z = -5 \text{ cm}$  e  $|V|_{min} = 5 \text{ V}$ ; b)  $|V|_{max} = 17 \text{ V}$  em  $z = -20 \text{ cm}$  e  $|V|_{min} = 0 \text{ V}$ ;
17. Uma linha de transmissão de  $200 \Omega$  é curto-circuitada em  $z = 0$ . Um máximo de tensão,  $|V|_{max} = 12 \text{ V}$ , é encontrado em  $z = -20 \text{ cm}$  e a tensão mínima,  $|V|_{min} = 0 \text{ V}$  está em  $z = -40 \text{ cm}$ . Use a carta de Smith para calcular  $Z_L$  (com o curto-circuito substituído pela carga) se as leituras de tensão são: a)  $|V|_{max} = 14 \text{ V}$  em  $z = -5 \text{ cm}$  e  $|V|_{min} = 6 \text{ V}$ ; b)  $|V|_{max} = 15 \text{ V}$  em  $z = -20 \text{ cm}$  e  $|V|_{min} = 0 \text{ V}$ ;
18. Uma linha de transmissão de  $50 \Omega$  está carregada com  $Z_L = (25 + j 60) \Omega$ . O comprimento da linha é de 3 m e  $\lambda = 4 \text{ m}$ . Usando a carta de Smith determine: a)  $\Gamma$ ; b)  $Z_{in}$  a uma distância de  $0,05 \lambda$  da carga; c)  $TOE$ ; d) a localização do 1º máximo e do 1º mínimo de tensão em relação à carga. Resp. a)  $\Gamma = 0,68 \angle -72^\circ$ ; b)  $Z_{in} = (15 + j 35) \Omega$ ; c)  $TOE = 5,2$ ; d)  $l_{min} = 0,6 \text{ m}$  e  $l_{max} = 1,6 \text{ m}$ .
19. Uma linha de transmissão de  $50 \Omega$  está carregada com  $Z_L = (15 + j 20) \Omega$ . Usando a carta de Smith determine: a)  $\Gamma$ ; b)  $TOE$ ; c) a impedância da linha de transmissão a uma distância de  $0,05 \lambda$ ; d) a localização do 1º mínimo de tensão em relação à carga. Resp. a)  $\Gamma = 0,6 \angle -133^\circ$ ; b)  $TOE = 4$ ; c)  $Z_{in} = (13 + j 4,5) \Omega$ ; d)  $l_{min} = 0,065 \lambda$ .
20. Uma carga  $Z_L = (100 + j 150) \Omega$  está conectada a uma linha de transmissão sem perdas com  $Z_0 = 75 \Omega$ . Usando a carta de Smith determine: a)  $\Gamma$ ; b)  $TOE$ ; c) a admitância da carga  $Y_L$ ; d) a impedância a  $0,4 \lambda$  da carga; e) a localização de  $V_{max}$  e  $V_{min}$  em relação à carga, se a linha tiver um comprimento de  $0,6 \lambda$ ; f) a impedância de entrada da linha. Resp. a)  $\Gamma = 0,659 \angle 40^\circ$ ; b)  $TOE = 4,82$ ; c)  $Y_L = (3,04 - j 4,67) \text{ mS}$ ; d)  $Z_{in} = (22,5 + j 47,25) \Omega$ ; e) 1º  $V_{max}$  em  $0,055 \lambda$ , 2º  $V_{max}$  em  $0,555 \lambda$ , único  $V_{min}$  em  $0,3055 \lambda$ ; f)  $Z_{in} = (135 - j 165) \Omega$ .

21. Um cabo coaxial flexível vai ser usado na frequência de  $300\text{ MHz}$ , suas características são:  $Z_0 = 52\ \Omega$ ,  $\alpha = 0,0156\text{ Np/m}$  e comprimento de  $75\text{ m}$ . A velocidade da onda eletromagnética que propaga na linha é de  $0,66c$  e a carga na linha é  $Z_L = Z_0$ . A linha é excitada por um gerador de  $300\text{ MHz}$  que tem uma tensão de circuito aberto de  $V_g = 50\text{ V}_{ef}$  e uma impedância interna de  $Z_g = 52\ \Omega$ . Calcule o valor de tensão e a potência nos terminais de entrada e de saída da linha. Resp.  $V_{in} = 25\text{ V}_{ef}$ ;  $V_L = 7,76 \angle 229,0909^\circ\text{ V}_{ef}$ ;  $P_{in} = 12,02\text{ W}$ ;  $P_L = 1,16\text{ W}$ .
22. Uma carga  $Z_L = 25 + j75\ \Omega$  está localizada em  $z = 0$  na linha bifilar sem perdas para a qual  $Z_0 = 50\ \Omega$  e  $v = c$ . a) se  $f = 300\text{ MHz}$ , calcule a menor distância  $d(z = -d)$  na qual a admitância de entrada tenha uma parte real igual a  $1/Z_0$  e uma parte imaginária negativa; b) qual o valor da capacitância  $C$  que poderia ser conectada transversalmente na linha, neste ponto, para fornecer uma taxa de onda estacionária unitária na porção restante da linha.
23. Uma antena transmissora apresenta à sua linha alimentadora uma resistência de radiação de  $50\ \Omega$ . Usou-se um cabo coaxial com  $Z_0 = 50\ \Omega$ , para haver o casamento. Para aumentar o ganho na transmissão deseja-se colocar duas destas antenas em paralelo, continuando a usar o mesmo cabo coaxial. Projete um casador de  $\lambda/4$  para ser inserido entre as antenas e o cabo coaxial, sabendo que a frequência de operação é de  $300\text{ MHz}$ . Resp. característica do cabo casador: comprimento =  $25\text{ cm}$ ,  $L = 117,84\text{ nH/m}$  e  $C = 94,3\text{ pF/m}$ .
24. Sobre uma linha de transmissão sem perdas com  $Z_0 = 50\ \Omega$  foi medida uma TOE de 3,6 e o 1º máximo foi encontrado a uma distância de  $0,30\lambda$  da carga. Encontre o coeficiente de reflexão e a impedância de carga da linha de transmissão. Resp.  $\Gamma = 0,565217 \angle 216^\circ$ ,  $Z_L = (15,231 - j14,871)\ \Omega$ .
25. Uma linha de transmissão com  $Z_0 = 50\ \Omega$  e comprimento de  $1\text{ m}$  opera na frequência de  $150\text{ MHz}$ . A velocidade de propagação na linha é de  $3 \times 10^8\text{ m/s}$ . Sabendo que a carga da linha de transmissão é de  $75\ \Omega$ , projete uma casador de impedância de  $\lambda/4$  para ser inserido entre a carga e a linha de transmissão. Após a instalação do casador, a carga mudou para  $Z_L = (36 + j625)\ \Omega$ , calcule o coeficiente de reflexão e a impedância de entrada da linha de transmissão. Resp. característica do cabo casador: comprimento =  $50\text{ cm}$ ,  $L = 0,2\ \mu\text{H/m}$  e  $C = 54,43\text{ pF/m}$ ;  $\Gamma = 0,9865 \angle -116,3578^\circ$ ;  $Z_{in} = 5,99 \angle 86,70^\circ\ \Omega$ .
26. O barramento de uma rede de computadores é composto de um cabo coaxial com  $400\text{ m}$  de comprimento. Esse cabo tem impedância característica de  $50\ \Omega$  e velocidade de propagação de  $200 \times 10^6\text{ m/s}$ . A rede não está funcionando apropriadamente. Medindo-se a impedância em um dos terminais (o outro terminado com  $50\ \Omega$ ), obteve-se o valor em módulo de  $100\ \Omega$  na frequência de  $100\text{ kHz}$ . Considerando a possibilidade de o cabo estar em curto-circuito, determine a provável localização desse defeito. Resp.  $352,4\text{ m}$ .
27. Uma linha de transmissão sem perdas com  $75\ \Omega$  de impedância característica opera a  $30\text{ MHz}$ . A velocidade de propagação é  $3 \times 10^8\text{ m/s}$ . Sabendo que a impedância de carga é  $Z_L = (30 - j30)\ \Omega$  e a impedância de entrada é  $Z_{in} = (30 + j30)\ \Omega$ , determine, usando a carta de Smith: a) o coeficiente de reflexão; b) o comprimento da linha; c) qual deve ser o comprimento da linha para que  $Z_{in} = (33,75 + j37,5)\ \Omega$ . Rep. a)  $\Gamma = 5 \angle -130^\circ$ ; b)  $l = 1,4\text{ m}$ ; c) esta impedância não faz parte do círculo de impedâncias desta linha de transmissão, assim, não existe comprimento da linha que gere esta impedância de entrada.
28. Uma linha de transmissão sem perdas com  $Z_0 = 300\ \Omega$  tem  $20\text{ m}$  de comprimento e opera em  $20\text{ MHz}$ . A velocidade de propagação na linha é de  $2 \times 10^8\text{ m/s}$ . Se a linha está terminada por

- uma carga  $Z_L = (450 - j 240) \Omega$ , use as expressões analíticas para obter: a) as posições do 1º máximo e do 1º mínimo; b) a impedância de entrada da linha. Resp. a) 1º máximo a  $1,941 m$  da carga, 1º mínimo a  $4,441 m$  da carga; b)  $Z_{in} = Z_L = (450 - j 240) \Omega$ . Comprove usando a carta de Smith.
29. Questão: Ao se conectar uma antena FM, com impedância de entrada de  $300 \Omega$ , a um receptor, usando uma linha de transmissão de  $Z_0 = 300 \Omega$ , um pedaço de uma linha de transmissão de  $Z_0 = 150 \Omega$ , com  $2,75 m$  foi adicionado por engano entre a antena e a linha principal. Considere que todas as linhas sejam sem perdas, que a velocidade de propagação da energia seja  $2 \times 10^8 m/s$  e que a impedância de entrada do receptor seja  $Z = 300 \Omega$ . Qual a TOE introduzida na linha principal sabendo que o sistema opera a  $100 MHz$ . Resp.  $TOE = 2,76$ .
30. Uma rede de casamento, utilizando um elemento reativo em série com um comprimento  $d$  de uma LT, é utilizado para casar uma carga de  $35 - j 50 \Omega$  em uma LT de  $100 \Omega$  a  $1 GHz$ . Determine o comprimento completo de linha  $d$  e o valor do elemento reativo se: a) um capacitor série for utilizado; b) um indutor série for utilizado. Resp. a)  $d = 0,254 \lambda$ ,  $C = 1,14 pF$ ; b)  $0,408 \lambda$ ,  $L = 22,3 nH$ .
31. Uma rede de casamento consiste em um comprimento de LT em série com um capacitor. Determine o comprimento (em comprimentos de onda) exigido para a seção de LT e o valor do capacitor necessário (em  $1 GHz$ ) para casar uma impedância de carga de  $10 - j 35 \Omega$  para a linha de  $50 \Omega$ .
32. Uma LT sem perdas com  $Z_0 = 100 \Omega$  e  $0,269 \lambda$  de comprimento é terminada em uma carga  $Z_L = 60 + j 40 \Omega$ . Utilize a carta de Smith para determinar: a)  $\Gamma$ ; b) TOE; c)  $Z_{in}$  e d) a distância a partir da carga até o primeiro máximo de tensão; Compare com os valores exatos.
33. Uma LT sem perdas com  $Z_0 = 75 \Omega$  e  $0,69 \lambda$  de comprimento é terminada em uma carga  $Z_L = 15 + j 67 \Omega$ . Utilize a carta de Smith para determinar: a)  $\Gamma$ ; b) TOE; c)  $Z_{in}$  e d) a distância a partir da carga até o primeiro máximo de tensão; Compare com os valores exatos.
34. Um sinal de  $2,4 GHz$  é injetado em uma LT de comprimento  $1,5 m$ , terminada em uma carga casada. O sinal gasta  $2,25 ns$  para atingir a carga e sofre  $1,2 dB$  de perda. Determine a constante de propagação. Resp.  $\gamma = 0,092 + j 62,81/m$ .
35. A impedância de entrada para uma LT sem perdas com  $30 cm$  de comprimento e  $Z_0 = 100 \Omega$ , operando em  $2 GHz$ , é  $Z_{in} = 92,3 - j 67,5 \Omega$ . A velocidade de propagação é  $0,70 c$ . Determine a impedância de carga. Resp.  $Z_L = 50 \Omega$ .
36. Uma LT de comprimento  $0,4 \lambda$  e  $Z_0 = 50 \Omega$  está carregada com  $Z_L = 60 + j 50 \Omega$ . Determine usando a carta de Smith e as expressões exatas: a) TOE; b)  $\Gamma$ ; c)  $Z_{in}$ ; d) 1º máximo e 1º mínimo.
37. Uma LT de comprimento  $0,4 \lambda$  e  $Z_0 = 50 \Omega$  está carregada com  $Z_L = 40 - j 30 \Omega$ . Determine usando a carta de Smith e as expressões exatas: a) TOE; b)  $\Gamma$ ; c)  $Z_{in}$ ; d) 1º máximo e 1º mínimo.
38. Uma LT de comprimento  $0,3 \lambda$  e  $Z_0 = 75 \Omega$  está carregada com  $Z_L = 40 - j 50 \Omega$ . Determine usando a carta de Smith e as expressões exatas: a) TOE; b)  $\Gamma$ ; c)  $Z_{in}$ ; d) 1º máximo e 1º mínimo.

39. Uma LT de comprimento  $0.2\lambda$  e  $Z_0 = 50\Omega$  está carregada com  $Z_L = 60 + j30\Omega$ . Determine usando a carta de Smith e as expressões exatas: a) TOE; b)  $\Gamma$ ; c)  $Z_{in}$ ; d) 1º máximo e 1º mínimo.
40. Uma linha de transmissão sem perdas com  $Z_0 = 150\Omega$  tem  $20m$  de comprimento e opera em  $25MHz$ . A velocidade de propagação na linha é de  $2 \times 10^8 m/s$ . Se a linha está terminada por uma carga  $Z_L = (300 + j150)\Omega$ , use as expressões analíticas para obter: a) as posições do 1º máximo e do 1º mínimo; b) a impedância de entrada da linha. Comprove usando a carta de Smith.
41. Uma linha de transmissão sem perdas com  $Z_0 = 50\Omega$  tem  $20m$  de comprimento e opera em  $30MHz$ . A velocidade de propagação na linha é de  $2 \times 10^8 m/s$ . Se a linha está terminada por uma carga  $Z_L = (150 - j200)\Omega$ , use as expressões analíticas para obter: a) as posições do 1º máximo e do 1º mínimo; b) a impedância de entrada da linha. Comprove usando a carta de Smith.
42. Uma antena transmissora apresenta à sua linha alimentadora uma resistência de radiação de  $50\Omega$ . Usou-se um cabo coaxial com  $Z_0 = 50\Omega$ , para haver o casamento. Para aumentar o ganho na transmissão deseja-se colocar três destas antenas em paralelo, continuando a usar o mesmo cabo coaxial. Projete um casador de  $\lambda/4$  para ser inserido entre as antenas e o cabo coaxial, sabendo que a frequência de operação é de  $300MHz$ .