

CAPÍTULO 2

LINHAS DE TRANSMISSÃO

2.1 PORQUE LINHAS DE TRANSMISSÃO?

$$E_x = E_{0x} \cos(\omega t - \beta z)$$

Comportamento no espaço:

1

Comportamento no tempo:

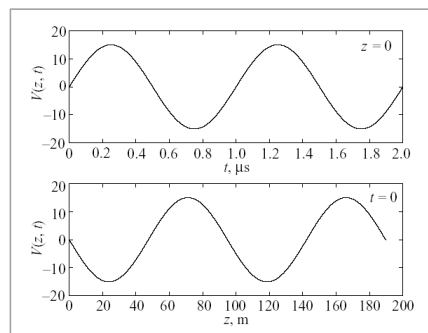
$$T=1/f$$

Variação diferencial do espaço
no tempo = velocidade

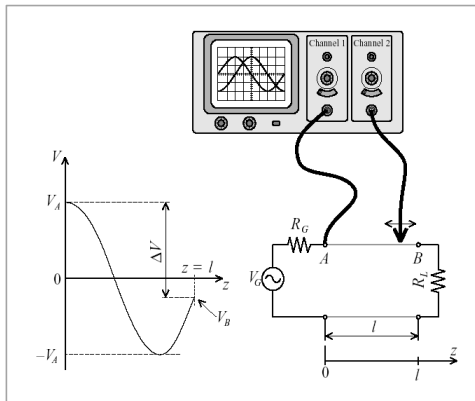
$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\beta} \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\beta} \frac{2\pi}{1/f} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

Distribuição da tensão no espaço e
no tempo

$$V = -\int_0^z E_z dl_z$$



Uma experiência simples



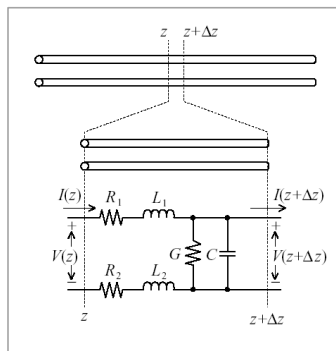
$$l = 1,5 \text{ cm}$$

$$f = 1 \text{ MHz} \quad l = 94,96 \text{ m}$$

$$f = 10 \text{ GHz} \quad l = 0,949 \text{ cm}$$

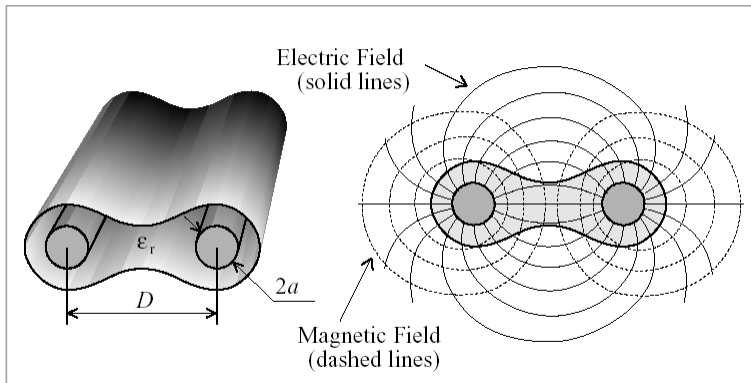
Em 10 GHz a linha não pode mais ser representada por parâmetros concentrados.

Solução:

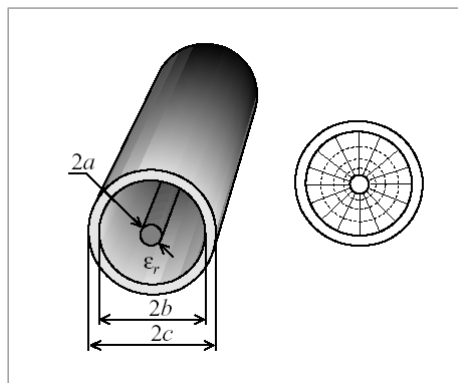


2.2 EXEMPLOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

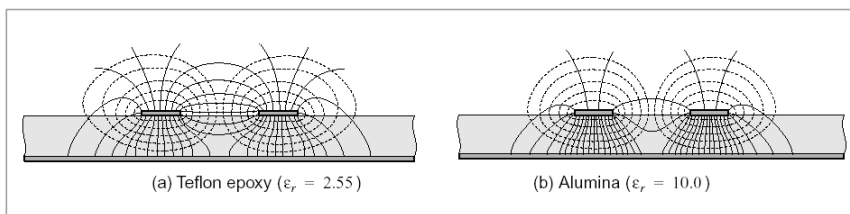
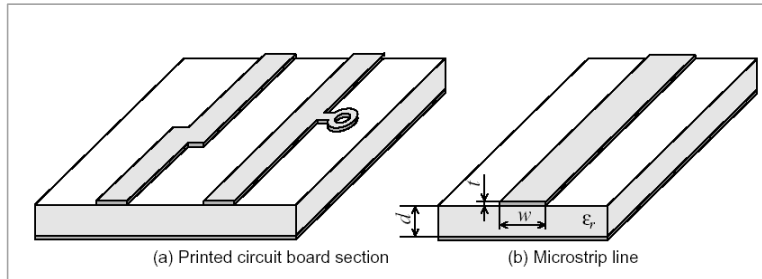
2.2.1 FIOS PARALELOS

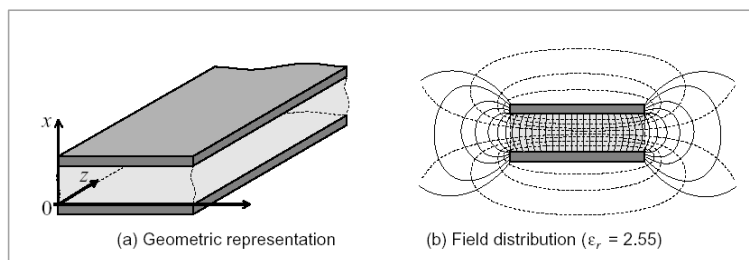
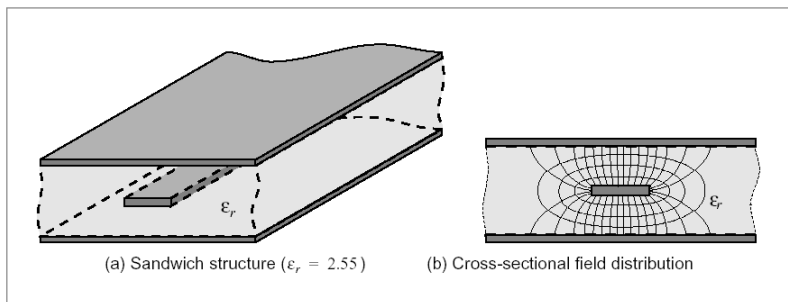


2.2.2 LINHA COAXIAL

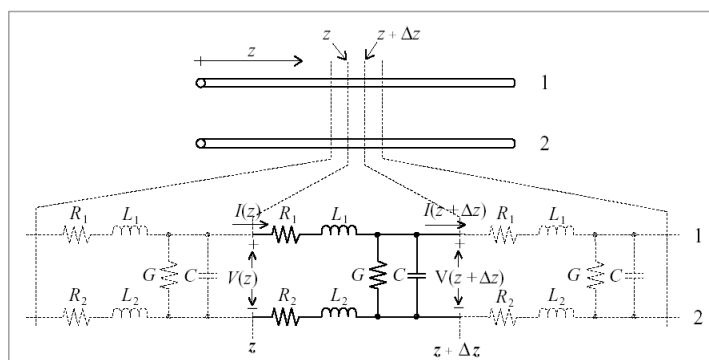


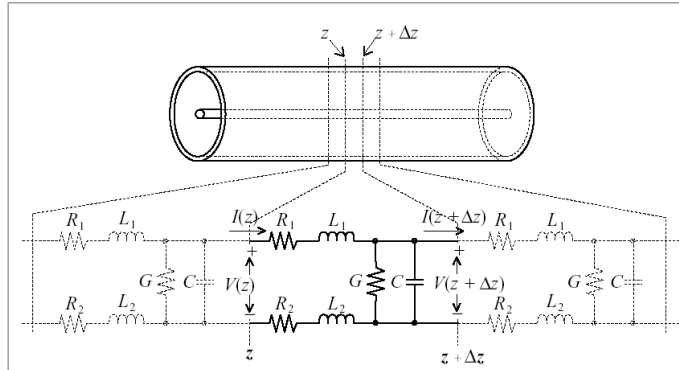
2.2.3 LINHAS “MICROSTRIP”



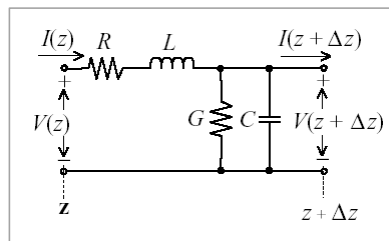


2.3 CIRCUITOS EQUIVALENTES





Modelo genérico



Vantagens da representação por circuitos elétricos

- Fornecer uma visão clara e fisicamente intuitiva
- Representação como rede de duas portas
- Permite a análise usando as leis de Kirchhoff

Desvantagens da representação por circuitos elétricos

- Análise em apenas uma dimensão
- Não linearidades dos materiais são desprezadas

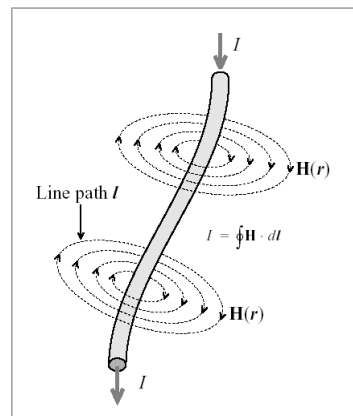
2.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

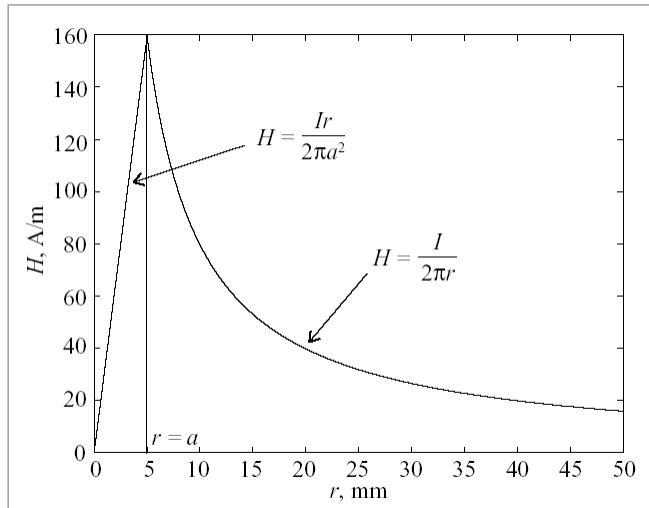
2.4.1 LEIS BÁSICAS

Lei de Ampère

Forma integral

Forma diferencial

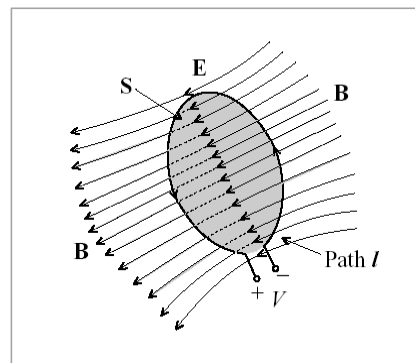




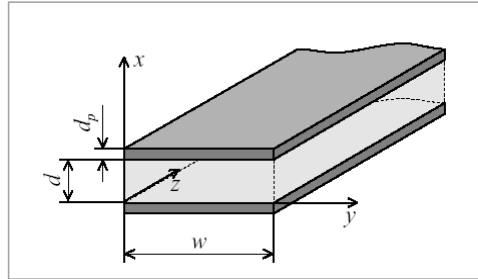
Lei de Faraday

Forma integral

Forma diferencial



2.5 PARÂMETROS DE CIRCUITOS PARA UMA LINHA DE TRANSMISSÃO DE PLACAS PARALELAS



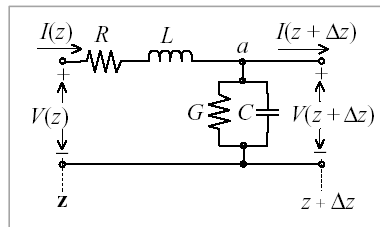
2.6 RESUMO DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE LINHAS

Table 2-1 Transmission line parameters for three line types

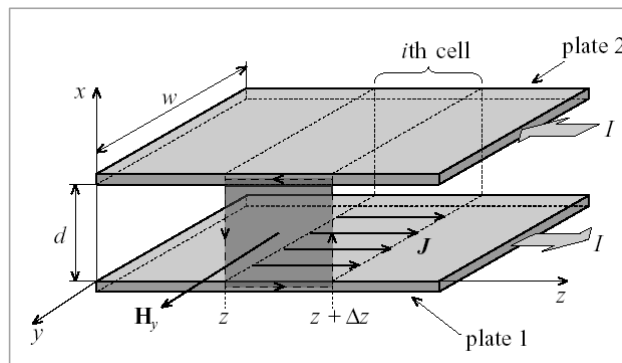
Parameter	Two-Wire Line	Coaxial Line	Parallel-Plate Line	Unit
R	$\frac{1}{\pi a \sigma_{\text{cond}} \delta}$	$\frac{1}{2\pi \sigma_{\text{cond}} \delta} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$	$\frac{2}{w \sigma_{\text{cond}} \delta}$	Ω/m
L	$\frac{\mu}{\pi} \text{acosh}\left(\frac{D}{2a}\right)$	$\frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$	$\mu \frac{d}{w}$	H/m
G	$\frac{\pi \sigma_{\text{diel}}}{\text{acosh}(D/(2a))}$	$\frac{2\pi \sigma_{\text{diel}}}{\ln(b/a)}$	$\sigma_{\text{diel}} \frac{w}{d}$	S/m
C	$\frac{\pi \epsilon}{\text{acosh}(D/(2a))}$	$\frac{2\pi \epsilon}{\ln(b/a)}$	$\epsilon \frac{w}{d}$	F/m

2.7 EQUAÇÕES GERAIS PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO

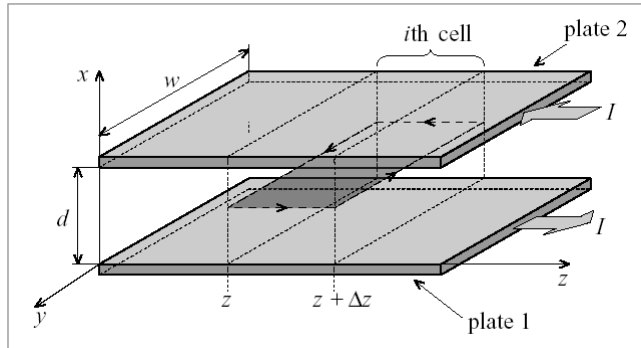
2.7.1 Representação pelas leis de Kirchhoff



Exemplo 2.4. Equações para uma linha de transmissão de placas paralelas

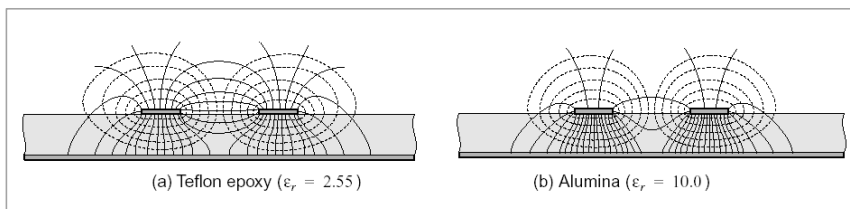
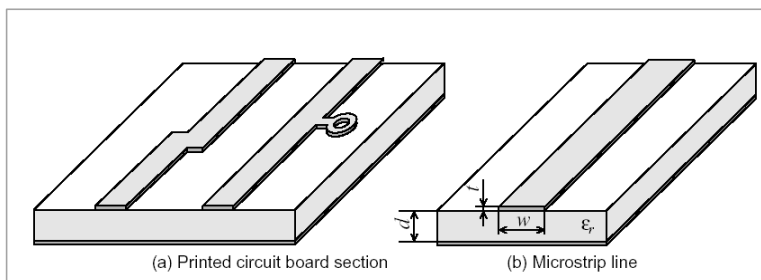


Elemento de superfície para aplicação da lei de Faraday



Elemento de superfície para aplicação da lei de Ampère

2.8 LINHAS DE TRANSMISSÃO “MICROSTRIP”



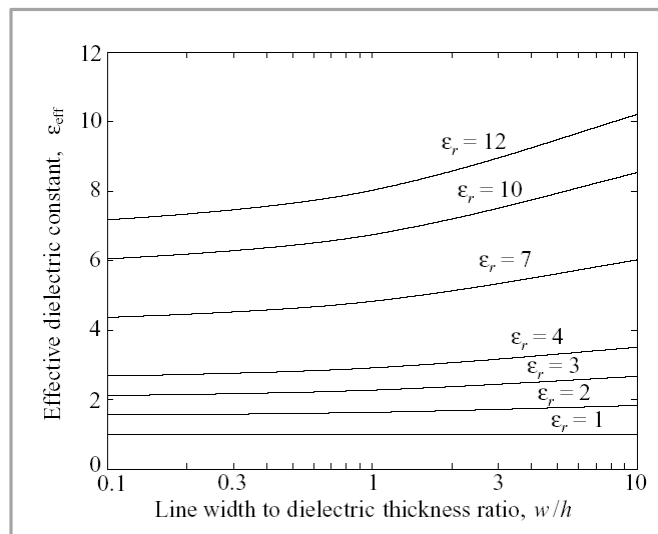
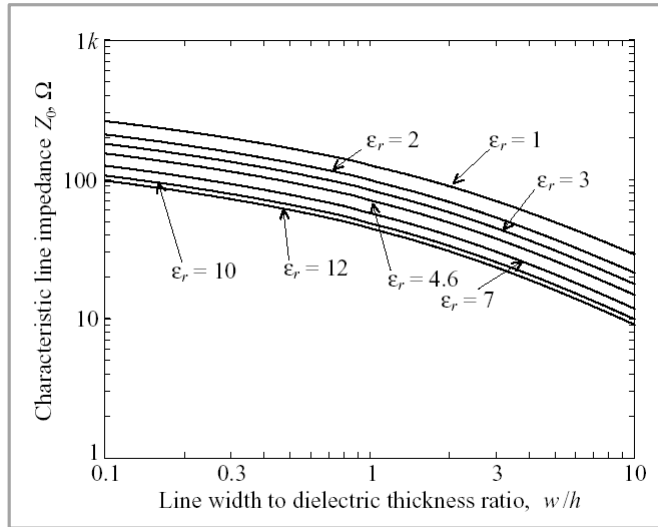
Formulação empírica para

- Para linhas estreitas

$$Z_0 = \frac{Z_f}{2\pi\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(8 \frac{h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \quad \text{onde}$$

- Para linhas largas

$$Z_0 = \frac{Z_f}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left(1,393 + \frac{w}{h} + \frac{2}{3} \ln \left(\frac{w}{h} + 1,444 \right) \right)}$$



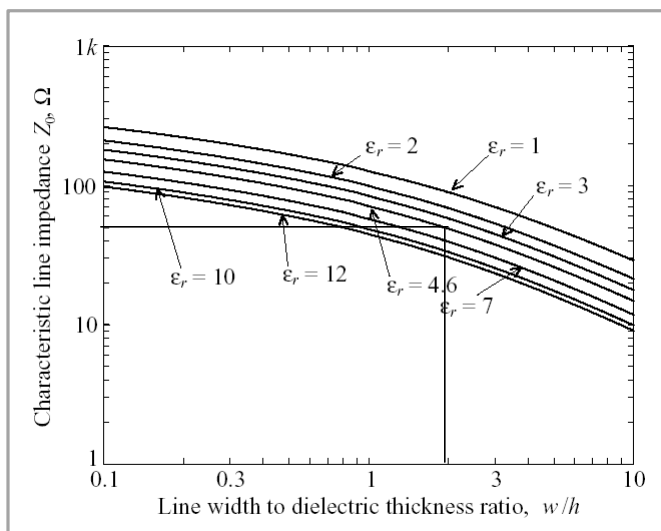
Conhecendo a constante dielétrica efetiva

Equações de projeto

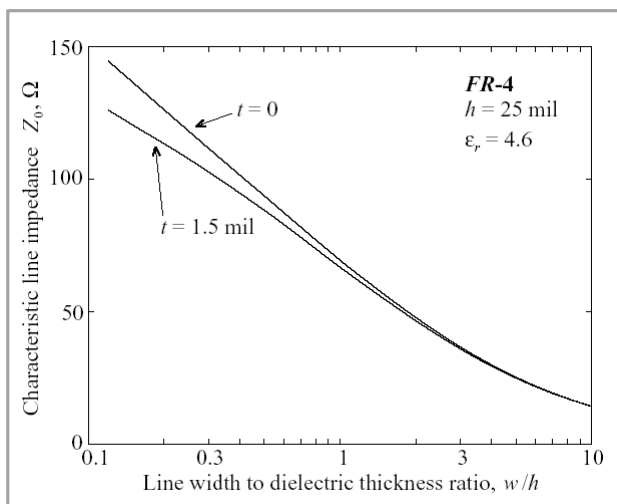
$$\frac{w}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}$$

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{e_r - 1}{2e_r} \ln(2B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{e_r} \right]$$

Exemplo 2.5. Projeto de uma linha de transmissão “microstrip”



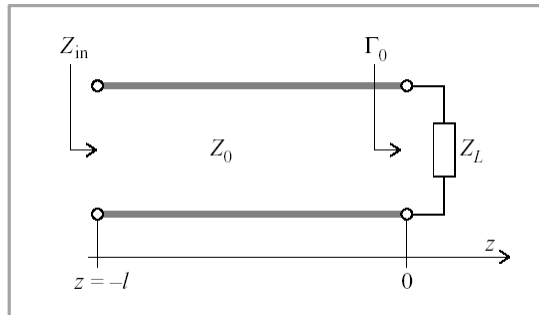
Influência da espessura do condutor na impedância característica da linha



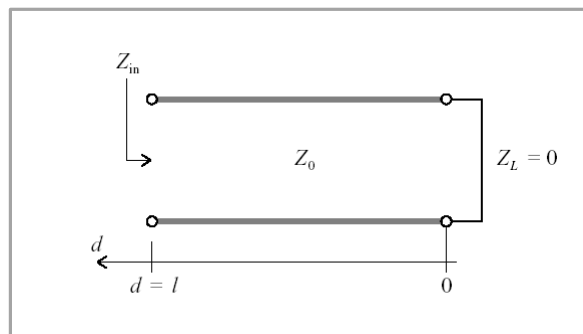
2.9 LINHAS DE TRANSMISSÃO TERMINADAS SEM PERDAS

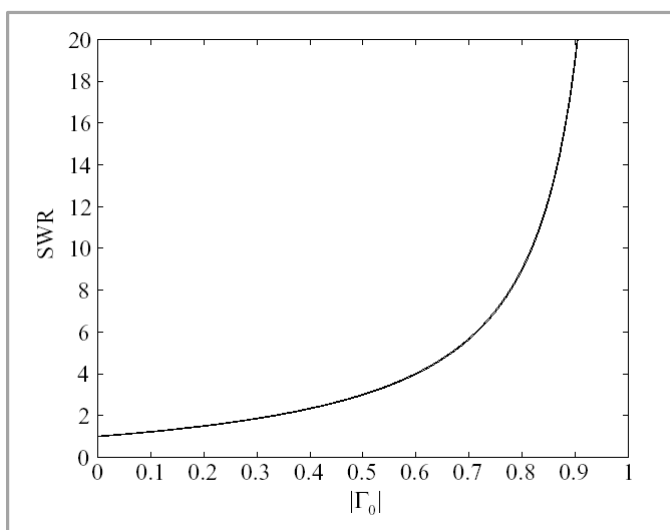
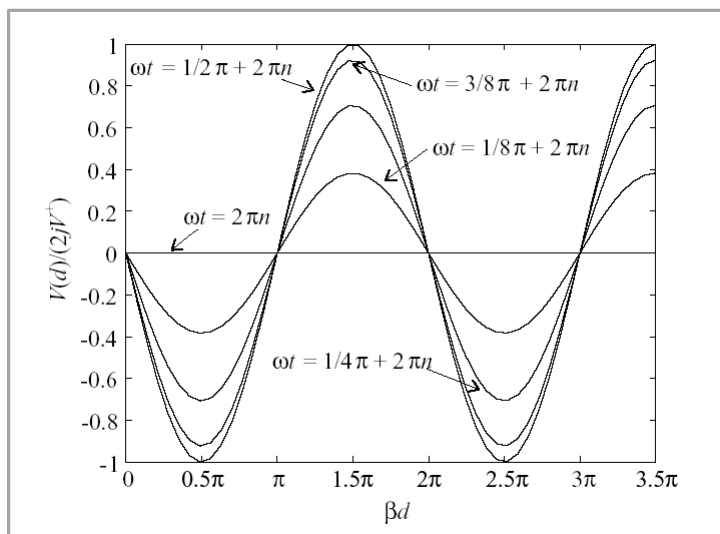
2.9.1 Coeficiente de reflexão

Linha de transmissão terminada em $z=0$



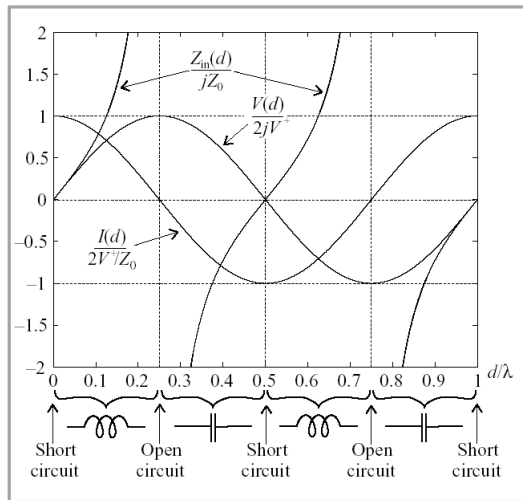
2.9.3 Ondas Estacionárias



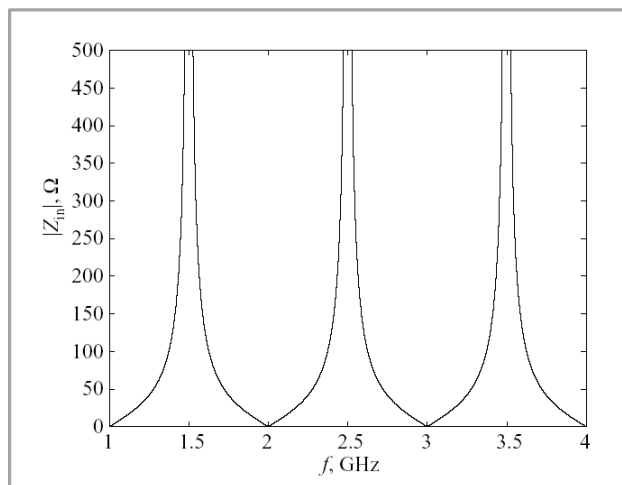


2.10 CONDIÇÕES ESPECIAIS DE TERMINAÇÃO

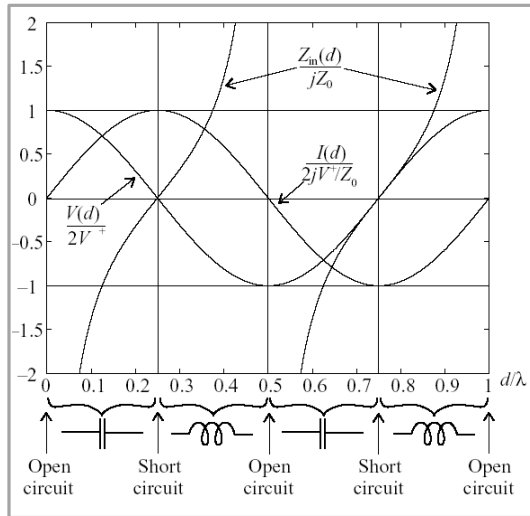
2.10.2 Linha em curto circuito



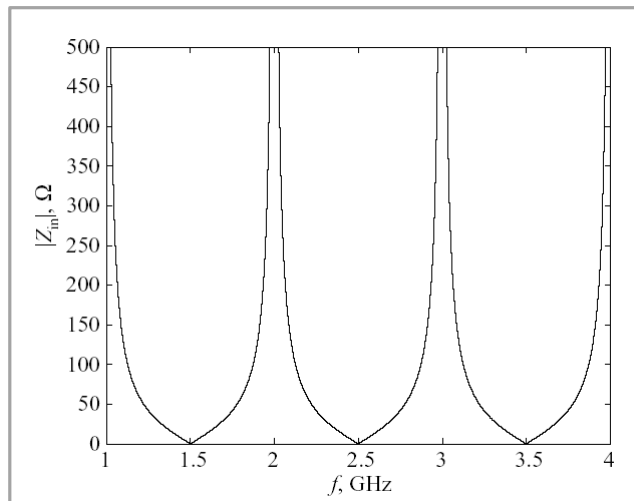
Exemplo 2.6 Linha em curto-circuito, $l = 10$ cm, $L = 209,4$ nH/m e $C = 119,5$ pF/m.



2.10.3 Linha em circuito aberto

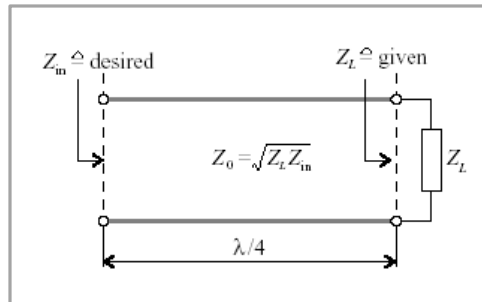


Exemplo 2.7. Linha em circuito aberto, $l = 10$ cm, $L = 209,4$ nH/m e $C = 119,5$ pF/m.



2.10.4 Linha de um quarto de comprimento de onda

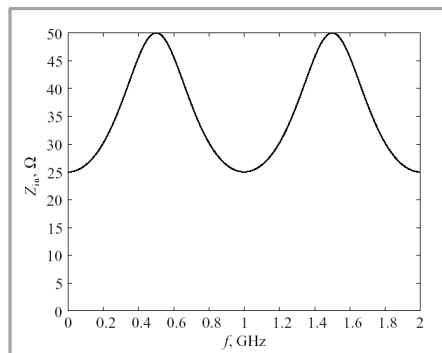
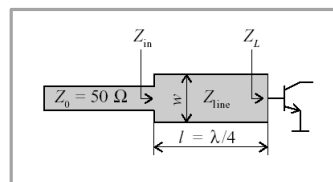
Casamento de impedância através de uma linha $\lambda/4$



Exemplo 2.8. Casamento de impedância via transformador $\lambda/4$

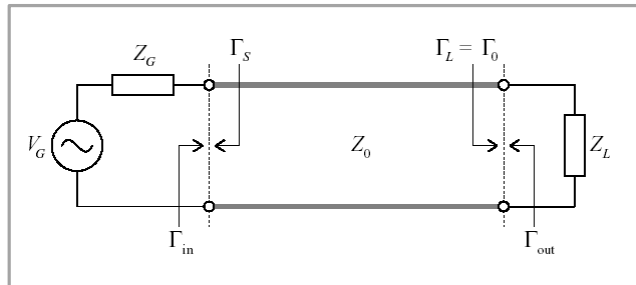
$$Z_L = 25 \, \Omega$$

$$f = 500 \, \text{MHz}$$



2.11 LINHAS DE TRANSMISSÃO EXCITADAS E CARREGADAS

Exemplo 2.10. Considerações sobre potência em linhas de transmissão.



$$Z_0 = 75 \, \Omega$$

$$Z_G = 50 \, \Omega$$

$$Z_L = 40 \, \Omega$$