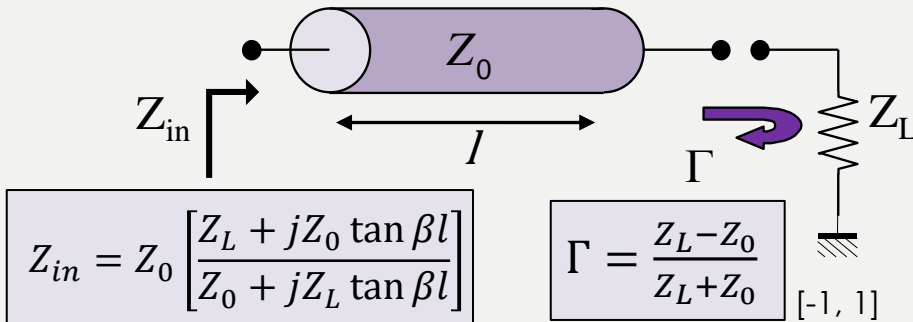


PSI3482 – ANTENAS, MICROONDAS E ÓPTICA MODERNA

Profa. Ariana Serrano aserrano@usp.br sala C2-62
2020

Linhas carregadas



■ Casos especiais da linha de transmissão:

- $Z_L = Z_0$ (carga casada) $\Rightarrow Z_{in} = Z_0$
- $l = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow Z_{in} = \frac{Z_0^2}{Z_L} \rightarrow$ Transformador de impedâncias
- $l = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow Z_{in} = Z_L$ sem importar qual Z_0 ou βl !
- $l \ll \lambda \Rightarrow Z_{in} = Z_L$ a linha é “transparente”!

Eficiência do casamento:

Voltage Standing Wave Ratio ou Taxa de Onda Estacionária (TOE)

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} [1, \infty]$$

■ Casos Especiais de Γ :

- Curto circuito: $Z_L = 0 \Rightarrow \Gamma = -1$
- Circuito aberto: $Z_L = \infty \Rightarrow \Gamma = 1$
- Carga casada: $Z_L = Z_0 \Rightarrow \Gamma = 0$

Prática

Potência refletida máxima: 10% ou
Potência transmitida mínima: 50%

$Pot_{refl} = 10\%$ $VSWR_{m\acute{a}x} \cong 2$ $\Gamma = 0,316$

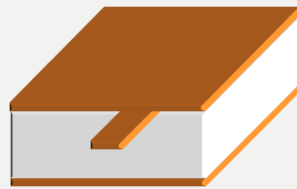
Potência refletida (%) = $100 * |\Gamma|^2$ [0, 100%]

Linhas de transmissão planares

- Baseia-se num substrato com camadas dielétricas e metálicas
- Tipos de Linhas de Transmissão planares:
 - Microstrip line ← Ênfase deste curso
 - Stripline
 - Coplanar waveguide
 - Slotline
 - SIW – Substrate Integrated Waveguide “Guia de onda integrado no substrato”



Microstrip line



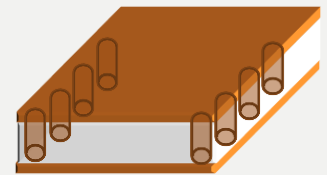
Stripline



Coplanar waveguide



Slotline



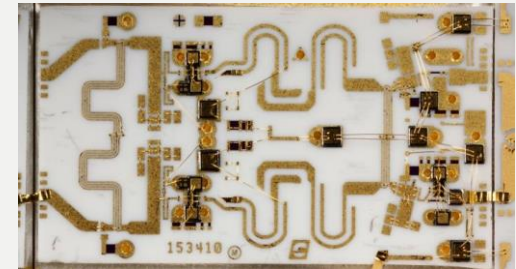
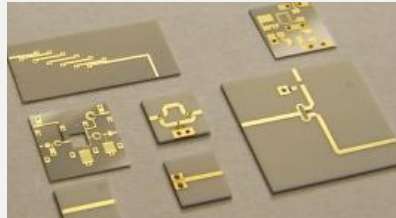
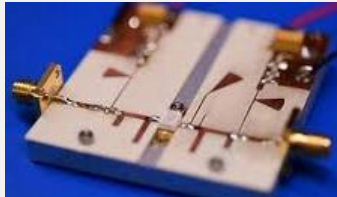
SIW

Fabricação

Ênfase deste curso

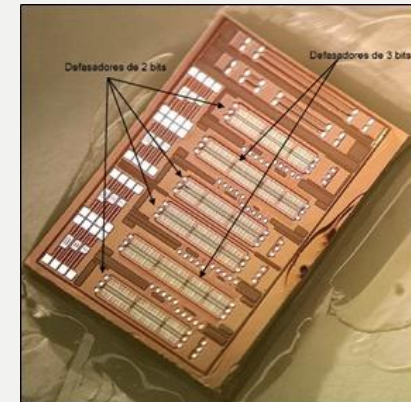
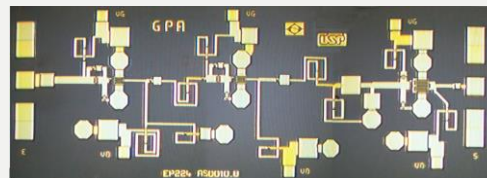
■ Integrada híbrida:

- Linhas de transmissão e circuitos passivos fabricados num substrato (elementos distribuídos), no qual são montados elementos ativos e passivos (discretos);
- Tecnologias PCB, filme fino e espesso.



■ Integrada monolítica (fabricação de chip):

- Ativos e passivos fabricados num mesmo substrato semiconductor
- Tecnologias:
 - Mercado de produção em massa (+ barato):
 - Si (CMOS, BiCMOS etc);
 - Mercados específicos (+ caro):
 - GaAs; SiGe; InP



Microstrip - substrato

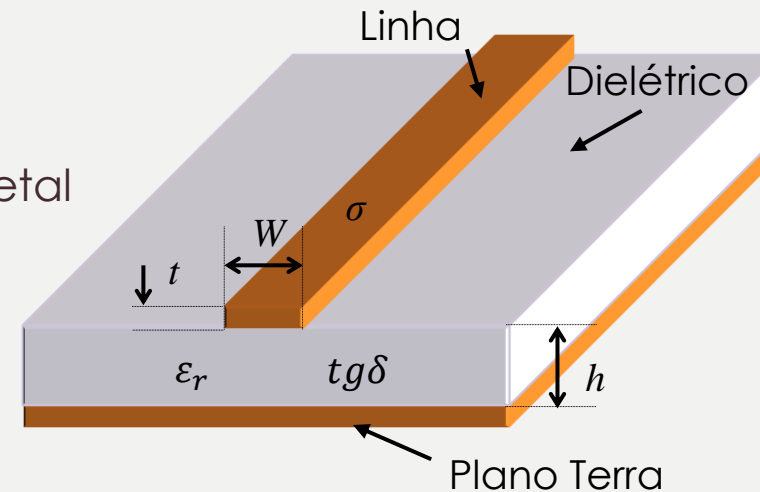
■ Substrato: “sanduíche” metal-dielétrico-metal

- Dimensões

- t : espessura do metal
- W : largura da linha
- h : espessura do substrato

- Características:

- σ : condutividade do metal
 - ϵ_r : constante dielétrica relativa do substrato
 - $\text{tg}\delta$: tangente de perdas ou fator de dissipação
-
- Circuitos híbridos - dielétrico: cerâmica, PTFE, fibra de vidro, etc o
 - Circuitos monolíticos - semiconductor: silício, GaAs, InP, SiGe, etc
 - Condutor: cobre, ouro, alumínio, etc



Microstrip - características

- Propagação com campos quasi-TEM

- Constante dielétrica efetiva:

$$\epsilon_{ef} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}}$$

- Velocidade de fase:

$$v_\phi = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{ef}}}$$

c = velocidade da luz no vácuo

- Comprimento de onda:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{ef}}}$$

no vácuo

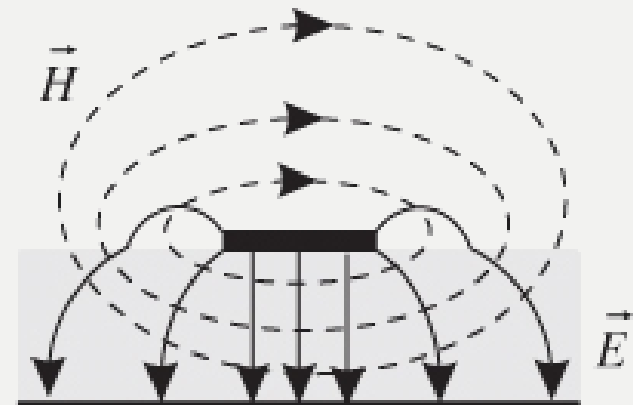
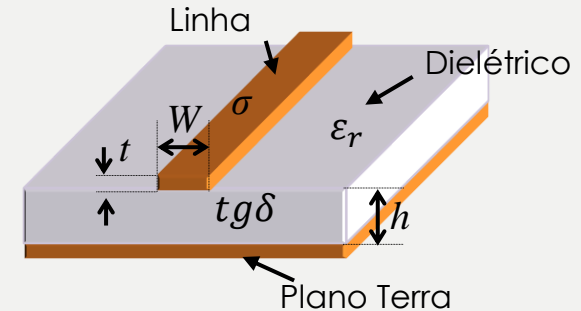
- Impedância característica:

- Para $W/h \leq 1$ e $t/W \ll 1$:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{ef}}} \ln\left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h}\right)$$

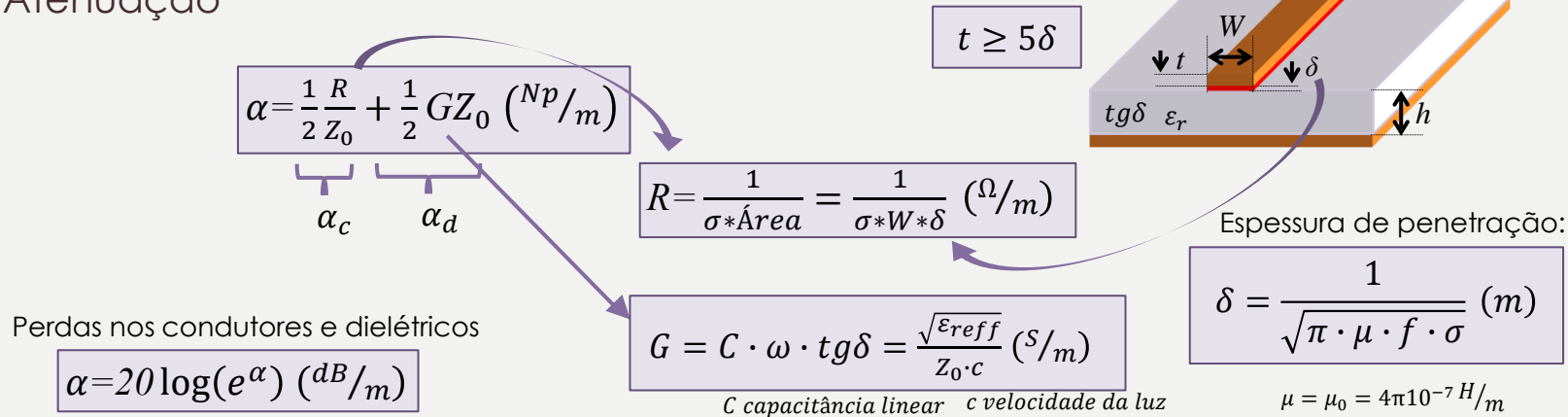
- Para $W/h \geq 1$ e $t/W \ll 1$:

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{ef}} \left[\frac{W}{h} + 1,393 + 0,667 \ln\left(\frac{W}{h} + 1,444\right) \right]}$$



Microstrip - perdas

■ Atenuação



■ Faixa de operação da microlinha

- De DC até f_{max} :
 - Aumento das perdas com o aumento da frequência
 - Dispersão – variação de ϵ_{ef} com a frequência
 - Excitação de outros modos de propagação: TE, TM

ADS – Advanced Design Software

- LineCalc (calculadora - analítico)
- Schematics (simulador elétrico - analítico)
- Momentum (simulador eletromagnético 2,5D (Momentum) e 3D (Elementos Finitos))