



IFSC

**UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO**

Instituto de Física de São Carlos

Aula 4

Linhas de transmissão

A finalidade principal de uma linha de transmissão é transmitir potência AC entre pontos que se encontram separados por distâncias maiores ou comparáveis ao comprimento de onda deste sinal AC.

São linhas de transmissão:

Cabos coaxiais

Par blindado de fios

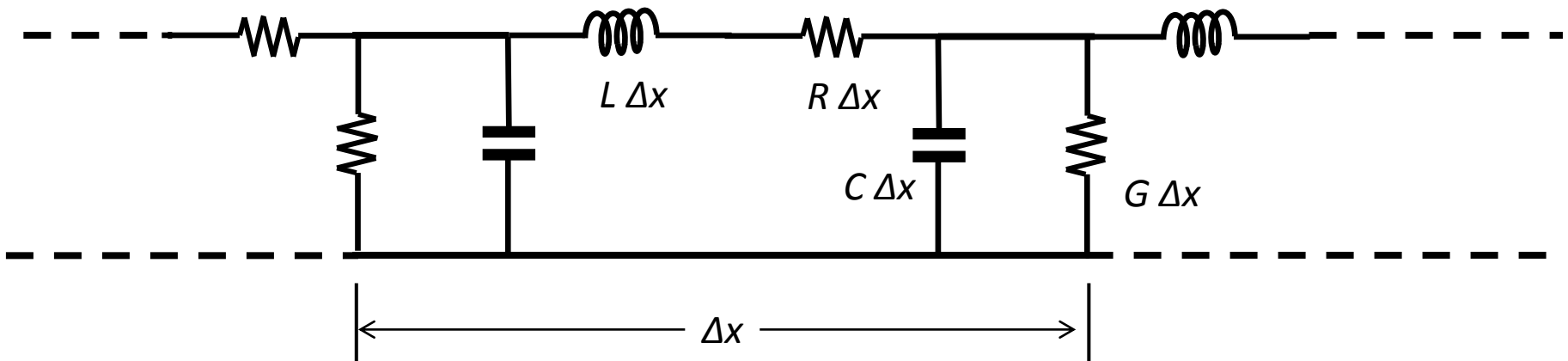
Linha aberta de fios – ex: Rede elétrica de 2000 km.

Fios paralelos

Trilhas de circuito impresso em altas frequências

Linhas de transmissão

Representação elétrica de uma pequena seção de uma linha de transmissão



$$-\frac{\delta v}{\delta x} \cdot \Delta x = (R \cdot \Delta x) \cdot i + (L \cdot \Delta x) \cdot \frac{\delta i}{\delta t}$$

$$-\frac{\delta v}{\delta x} = R \cdot i + L \cdot \frac{\delta i}{\delta t}$$

$$-\frac{\delta i}{\delta x} \cdot \Delta x = (G \cdot \Delta x) \cdot v + (C \cdot \Delta x) \cdot \frac{\delta v}{\delta t}$$

$$-\frac{\delta i}{\delta x} = G \cdot v + C \cdot \frac{\delta v}{\delta t}$$

Linhas de transmissão

$$-\frac{\delta v}{\delta x} = R \cdot i + L \cdot \frac{\delta i}{\delta t}$$

$$-\frac{\delta i}{\delta x} = G \cdot v + C \cdot \frac{\delta v}{\delta t}$$

No domínio da frequências

$$-\frac{dV}{dx} = RI + j\omega LI$$

$$-\frac{dI}{dx} = GV + j\omega CV$$

$$\frac{dV}{dx} = -(R + j\omega L)I$$

$$\frac{dI}{dx} = -(G + j\omega C)V$$



$$\frac{d^2V}{dx^2} = (R + j\omega L)(G + j\omega C) \cdot V$$

$$\frac{d^2 f(x)}{dx^2} = \gamma^2 \cdot f(x)$$

Linhas de transmissão

$$\frac{d^2 f(x)}{dx^2} = \gamma^2 \cdot f(x)$$



$$f(x) = A_1 e^{-\gamma \cdot x} + A_2 e^{\gamma \cdot x}$$



$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

Constante de propagação

$$V = V_1 \cdot e^{-\gamma \cdot x} + V_2 \cdot e^{\gamma \cdot x}$$

Onda no sentido
negativo de x

Onda no sentido
positivo de x

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

Impedância característica da
linha de transmissão

Linhas de transmissão

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

α = constante de atenuação (neper/metro)

β = constante de fase (radiano/metro)

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v}$$

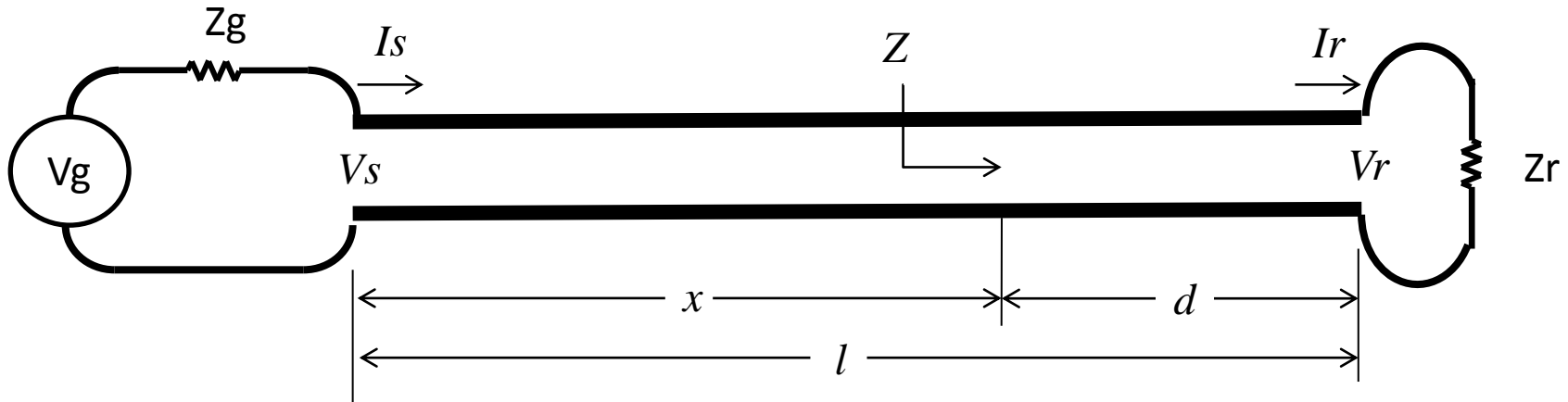
λ = comprimento de onda na linha (metro)

ω = frequência angular (rad/seg)

v = velocidade de fase na linha (metro/segundo)

Linhas de transmissão

Diagrama esquemático de uma linha de transmissão de impedância Z_0



Impedância num ponto qualquer a uma distância d da carga

$$Z = Z_0 \frac{Z_R + Z_0 \tanh(\gamma d)}{Z_0 + Z_R \tanh(\gamma d)}$$

$$Z = Z_0 \frac{Z_R + jZ_0 \tan(\beta d)}{Z_0 + jZ_R \tan(\beta d)}$$

Para linha sem perdas $R=G=0$

Linhas de transmissão

Linhas com reflexão $Z_R \neq Z_0$

Coefficiente de reflexão é a razão entre o valor máximo da tensão refletida e o valor máximo da tensão direta.

$$V = V_1 \cdot e^{-\gamma \cdot x} + V_2 \cdot e^{\gamma \cdot x}$$

$$\Gamma = \frac{V_1}{V_2} = \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0}$$

x é positivo da fonte para a carga

Γ é um número complexo

Taxa de onda estacionária

$$s = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Combinador/Divisor de sinais analógicos

Funções:

Dividir analogicamente o sinal de uma fonte para duas ou mais cargas

Somar numa carga duas ou mais fontes de sinais analógicos

Tipos:

Em fase – soma ou divide os sinais analógicos sem introduzir mudança de fase entre as diferentes portas de entrada ou saída. É o único que permite mais de duas entradas ou saídas.

Em quadratura – soma ou divide os sinais analógicos introduzindo uma diferença de fase de 90 graus entre as entradas ou saídas.

Inversor – soma ou divide os sinais analógicos introduzindo uma diferença de fase de 180 graus entre as entradas ou saídas.

Combinador/Divisor de sinais analógicos

Em fase: Power Splitter/Combiner 0-0

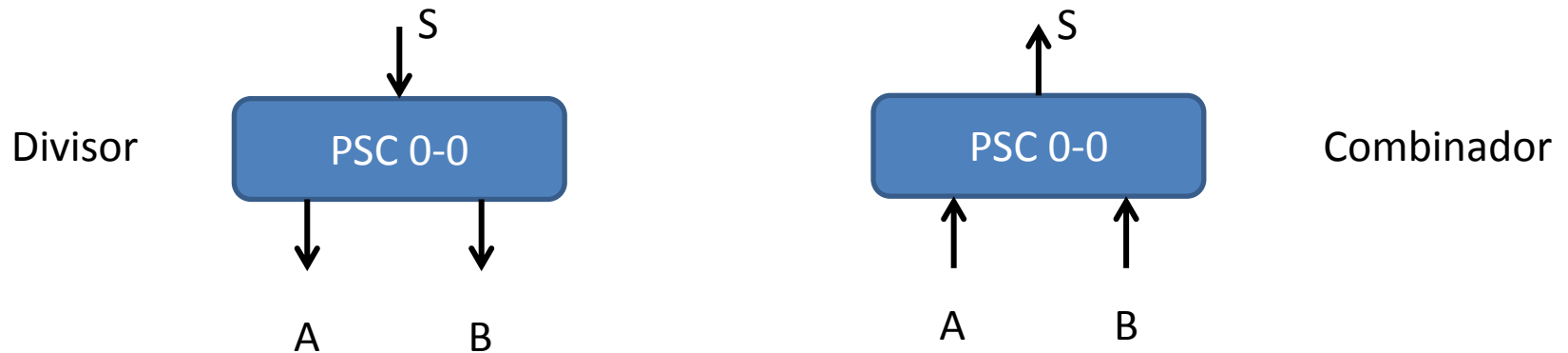


Ganho de potência em dB como função do número de portas

Número de portas	Divisor
2	-3.0
3	-4.78
4	-6.0
6	-7.78
N	$-10\log N$

Combinador/Divisor de sinais analógicos

Em quadratura: Power Splitter/Combiner 0-90



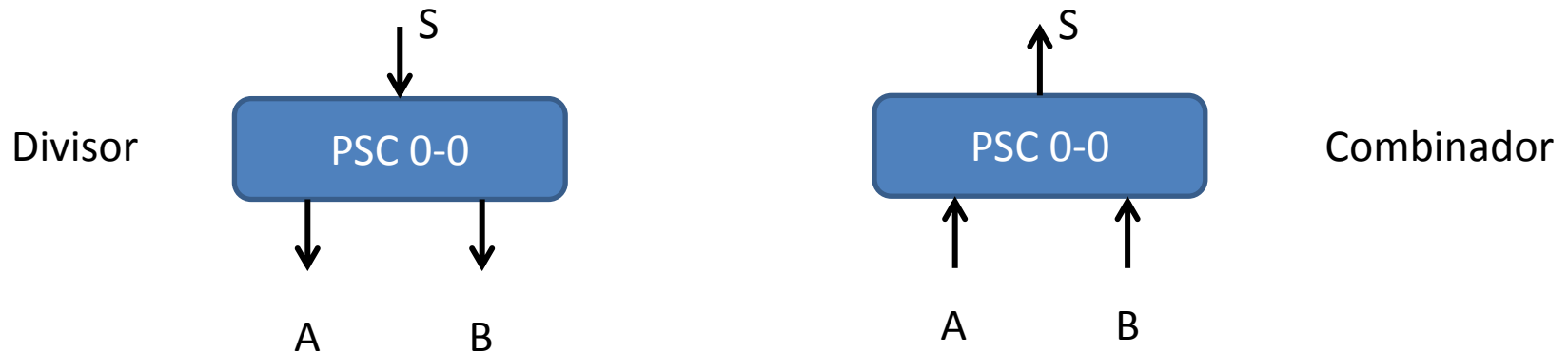
As portas A e B estão necessariamente com uma diferença de fase de 90 graus

Como são duas portas a potência é dividida igualmente entre as saídas

Ganho de -3dB

Combinador/Divisor de sinais analógicos

Em quadratura: Power Splitter/Combiner 0-180



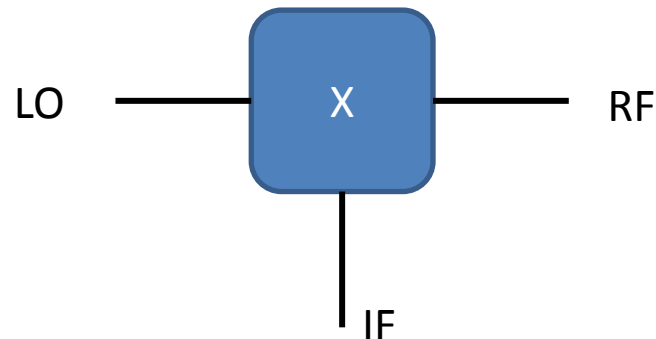
As portas A e B estão necessariamente com uma diferença de fase de 180 graus

Como são duas portas a potência é dividida igualmente entre as saídas
Ganho de -3dB

Mixer – Multiplicador de sinais analógico

Função

Dispositivo de três portas que executa a multiplicação analógica entre dois sinais de alta frequência.



Aplicações:

Conversão de frequências em sistemas analógicos

Pode ser usado como chave analógica em dispositivos muito rápidos

Mixer – Multiplicador de sinais analógico

Conversor de frequências – Produto entre dois sinais periódicos e senoidais

$$A \cos(\omega_{LO}t) \cdot B \cos(\omega_{RF}t) = \frac{AB}{2} \cdot [\cos((\omega_{LO} + \omega_{RF})t) + \cos((\omega_{LO} - \omega_{RF})t)] = IF_{out}$$

Chave analógica - IF liga e desliga

$$f_{IF}(t) = \begin{cases} 0, & \text{se } t < t_0 \\ 1, & \text{se } t_0 \leq t \leq t_1 \\ 0, & \text{se } t > t_1 \end{cases} \quad A \cos(\omega_{LO}t) \cdot f_{IF}(t) = \begin{cases} 0, & \text{se } t < t_0 \\ A \cos(\omega_{LO}t), & \text{se } t_0 \leq t \leq t_1 \\ 0, & \text{se } t > t_1 \end{cases}$$

Questões?

Fim da Aula 04