

# Análise de Circuitos de Alta Frequência

SEL 369 Micro-ondas/SEL5900 Circuitos de Alta  
Frequência

Amílcar Careli César  
Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP

# Atenção!

---



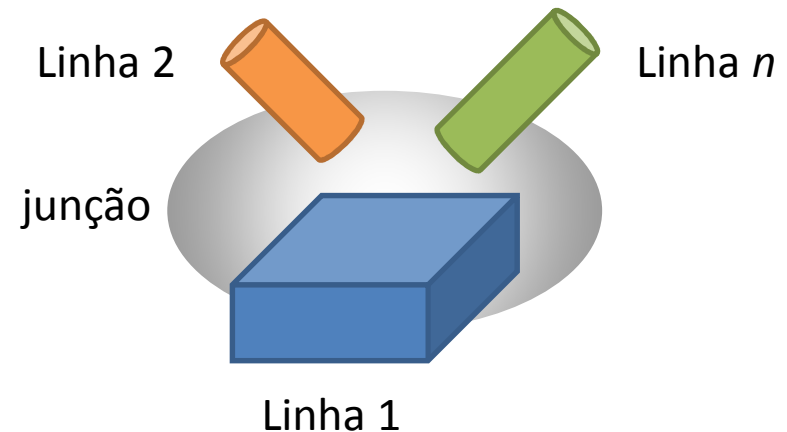
- ✓ Este material didático é planejado para servir de apoio às aulas de **SEL-369 Micro-ondas**, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de engenharia elétrica/eletrônica e **SEL-5900 Circuitos de Alta Frequência**, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de pós-graduação em engenharia elétrica.
- ✓ Não são permitidas a reprodução e/ou comercialização do material.
- ✓ solicitar autorização ao docente para qualquer tipo de uso distinto daquele para o qual foi planejado.

**JUNÇÃO DE N-PORTAS,  
MATRIZES Z, Y, H, ABCD**

# Junção de $n$ -portas

- ✓ Estruturas conectadas a  $N$  linhas de transmissão uniformes
  - guias, cabos coaxiais, microfitas, fibras ópticas
- ✓ Não há descontinuidades
- ✓ Descontinuidade
  - destrói a uniformidade e excita modos superiores
  - longe da descontinuidade só há o modo dominante
- ✓ Plano de referência
  - $z_i$ : sistema de referência
  - $z_i=0$  (origem) : define o plano de referência

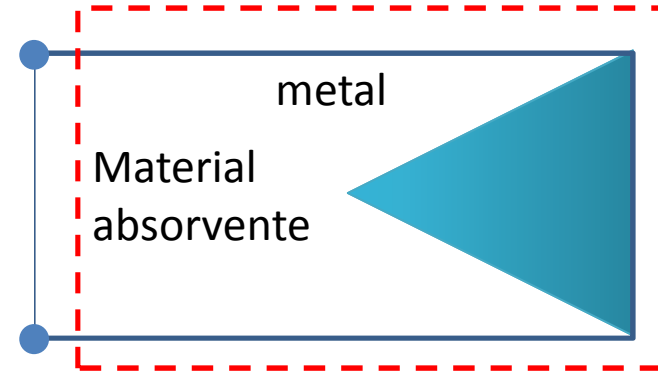
- ✓ Suposições
  - As linhas são sem perdas
  - somente o modo fundamental propaga-se pela linha
  - A cada modo superior associa-se uma porta adicional



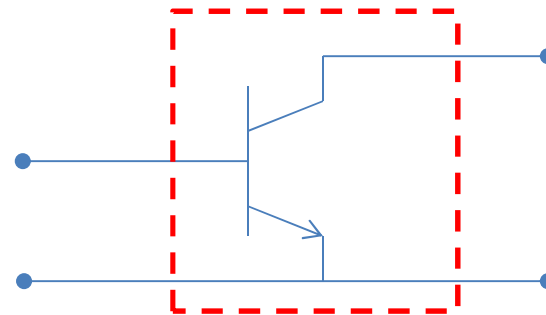
# Exemplos

---

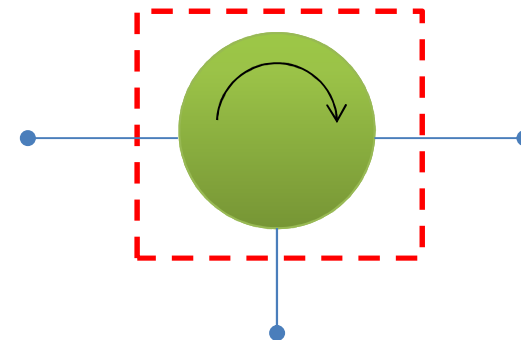
**1 PORTA:** carga casada



**2 PORTAS:** transistor



**3 PORTAS:** circulador



# Matriz admitância

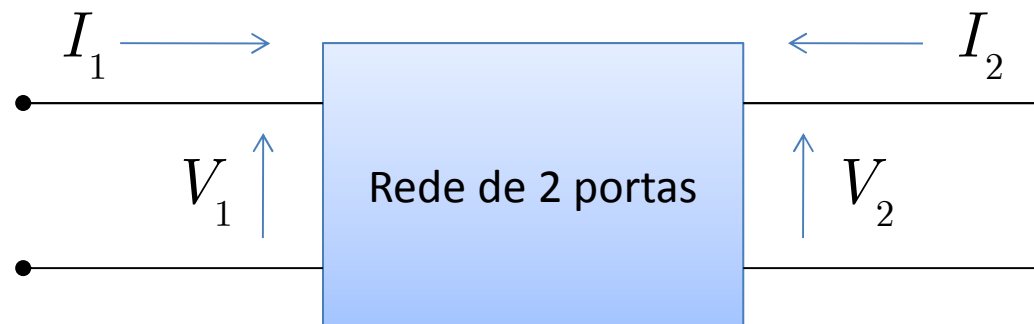
$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} \quad \text{matriz admitância}$$

$$y_{11} = \frac{I_1}{V_1} \Big|_{V_2=0} \quad \text{admitância de entrada}$$

$$y_{21} = \frac{I_2}{V_1} \Big|_{V_2=0} \quad \text{transadmitância direta}$$

$$y_{12} = \frac{I_1}{V_2} \Big|_{V_1=0} \quad \text{transadmitância reversa}$$

$$y_{22} = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{V_1=0} \quad \text{admitância de saída}$$

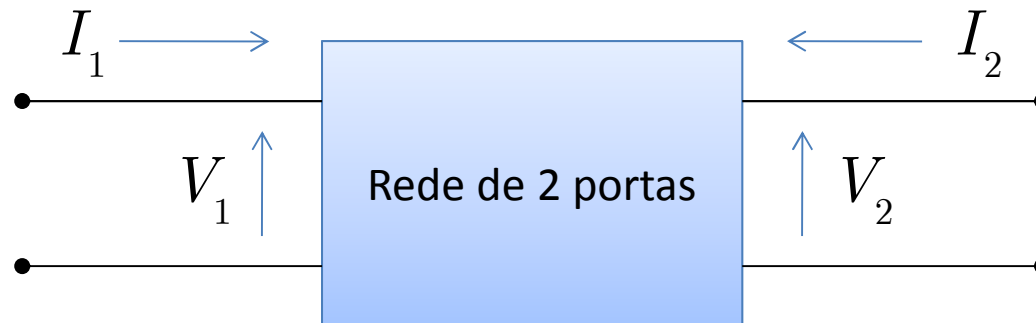


# Matriz impedância

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{pmatrix} \quad \text{matriz impedância}$$

$$z_{11} = \frac{y_{22}}{\Delta_y}; z_{12} = -\frac{y_{12}}{\Delta_y}; z_{21} = \frac{-y_{12}}{\Delta_y}; z_{22} = \frac{y_{11}}{\Delta_y}$$

$$\Delta_y = y_{11}y_{22} - y_{12}y_{21}$$

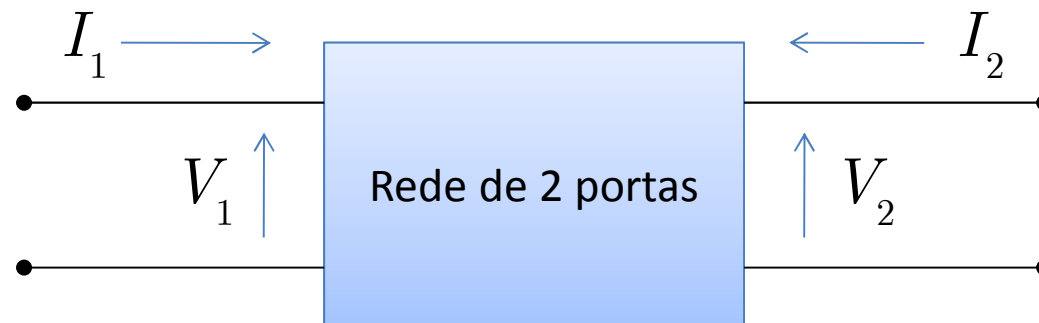


# Matriz de parâmetros híbridos

---

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

$$h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0} \quad \text{Impedância de entrada}$$





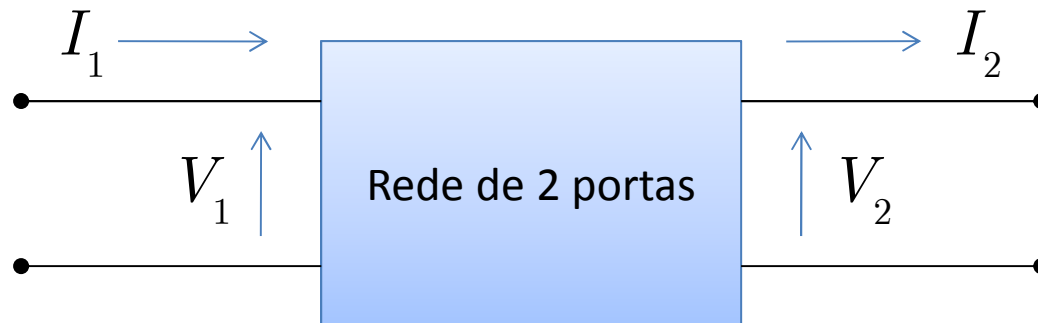
# Matriz ABCD-1

---

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$A = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_2=0}; B = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{V_2=0}$$

$$C = \left. \frac{I_1}{V_2} \right|_{I_2=0}; D = \left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{V_2=0}$$



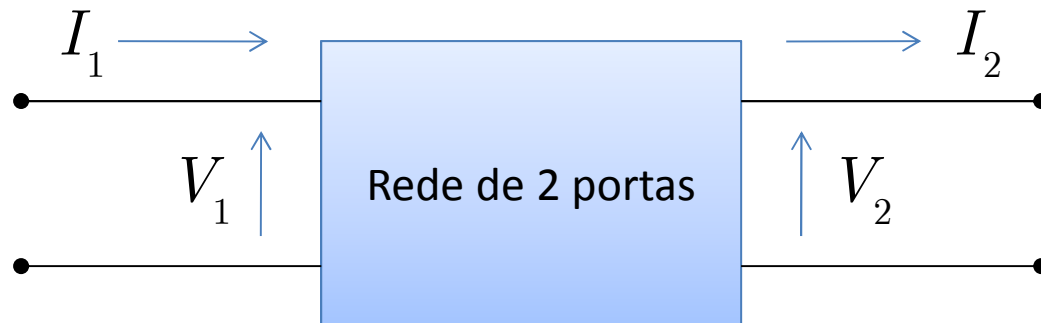
# Matriz ABCD-2

---

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$A = \frac{z_{11}}{z_{12}}; B = \left( \frac{z_{11}z_{12} - z_{21}^2}{z_{12}} \right)$$

$$C = \frac{1}{z_{12}}; D = \frac{z_{22}}{z_{12}}$$



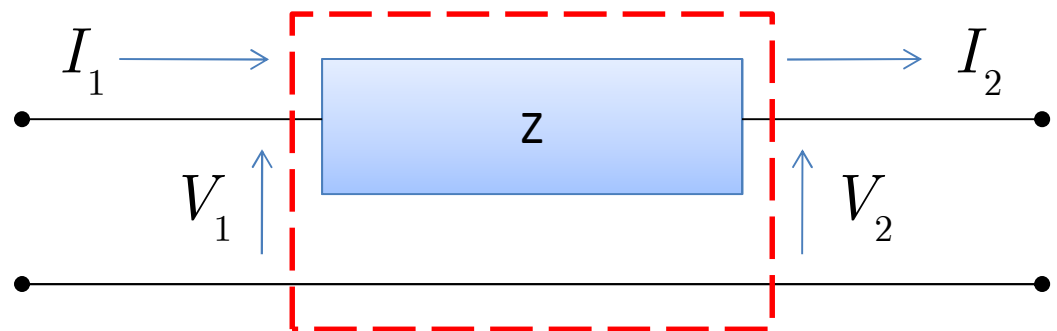
# Exemplo: Impedância

$$V_1 = A V_2 + B I_2 ; I_1 = C V_2 + D I_2$$

$$I_1 = I_2 \rightarrow C = 0 \text{ e } D = 1$$

$$V_1 = V_2 + Z I_2 \rightarrow A = 1 \text{ e } B = Z$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{Z \text{ série}} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

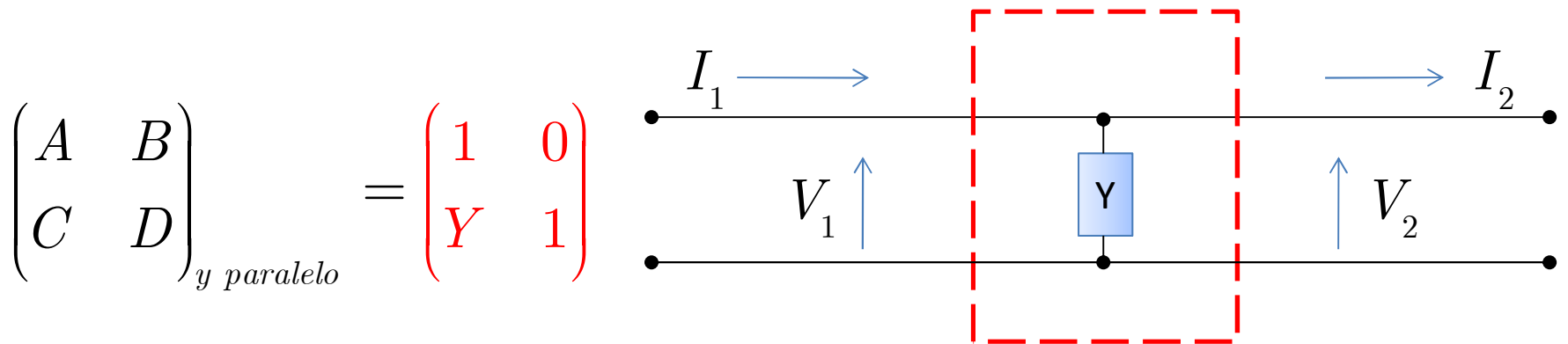


# Exemplo: Admitância

$$V_1 = A V_2 + B I_2 ; I_1 = C V_2 + D I_2$$

$$V_1 = V_2 \rightarrow B = 0 \text{ e } A = 1$$

$$I_1 = Y V_2 + I_2 \rightarrow C = Y \text{ e } D = 1$$

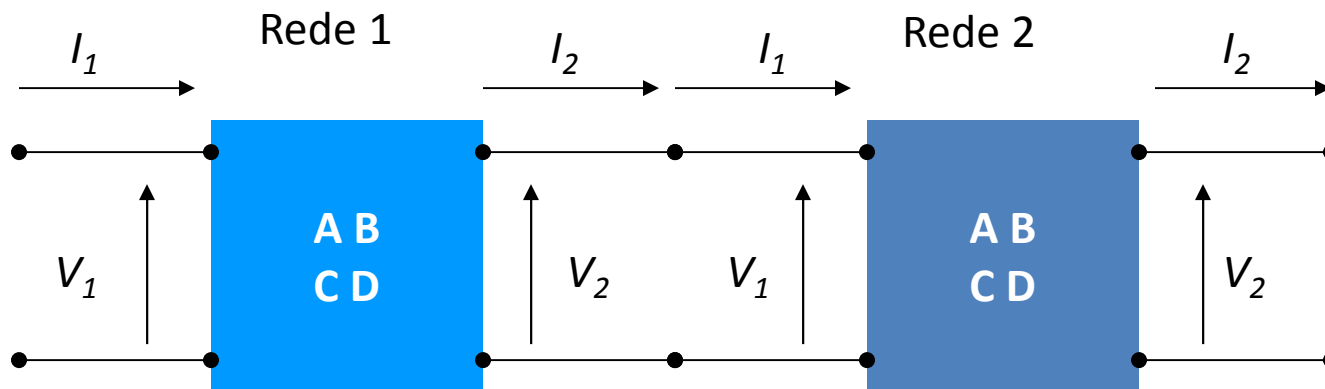


# Associação em cascata-1

$$\text{Rede 1} \quad \begin{pmatrix} V_1^{(1)} \\ I_1^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2^{(1)} \\ I_2^{(1)} \end{pmatrix} \quad \text{Rede 2} \quad \begin{pmatrix} V_1^{(2)} \\ I_1^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2^{(2)} \\ I_2^{(2)} \end{pmatrix}$$

mas,  $I_2^{(1)} = I_1^{(2)}$  e  $V_2^{(1)} = V_1^{(2)}$

$$\text{e} \quad \begin{pmatrix} V_1^{(1)} \\ I_1^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1^{(2)} \\ I_1^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2^{(2)} \\ I_2^{(2)} \end{pmatrix}$$



# Associação em cascata-2

$$\begin{pmatrix} V_1^{(1)} \\ I_1^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2^{(2)} \\ I_2^{(2)} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{\text{associação}} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{\text{rede 1}} \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{\text{rede 2}}$$

