

# Ganho de Potência

## Amplificador de Ganho Máximo

SEL 369 Micro-ondas/SEL5900 Circuitos de Alta Frequência

Amílcar Careli César  
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da  
EESC-USP

# Atenção!

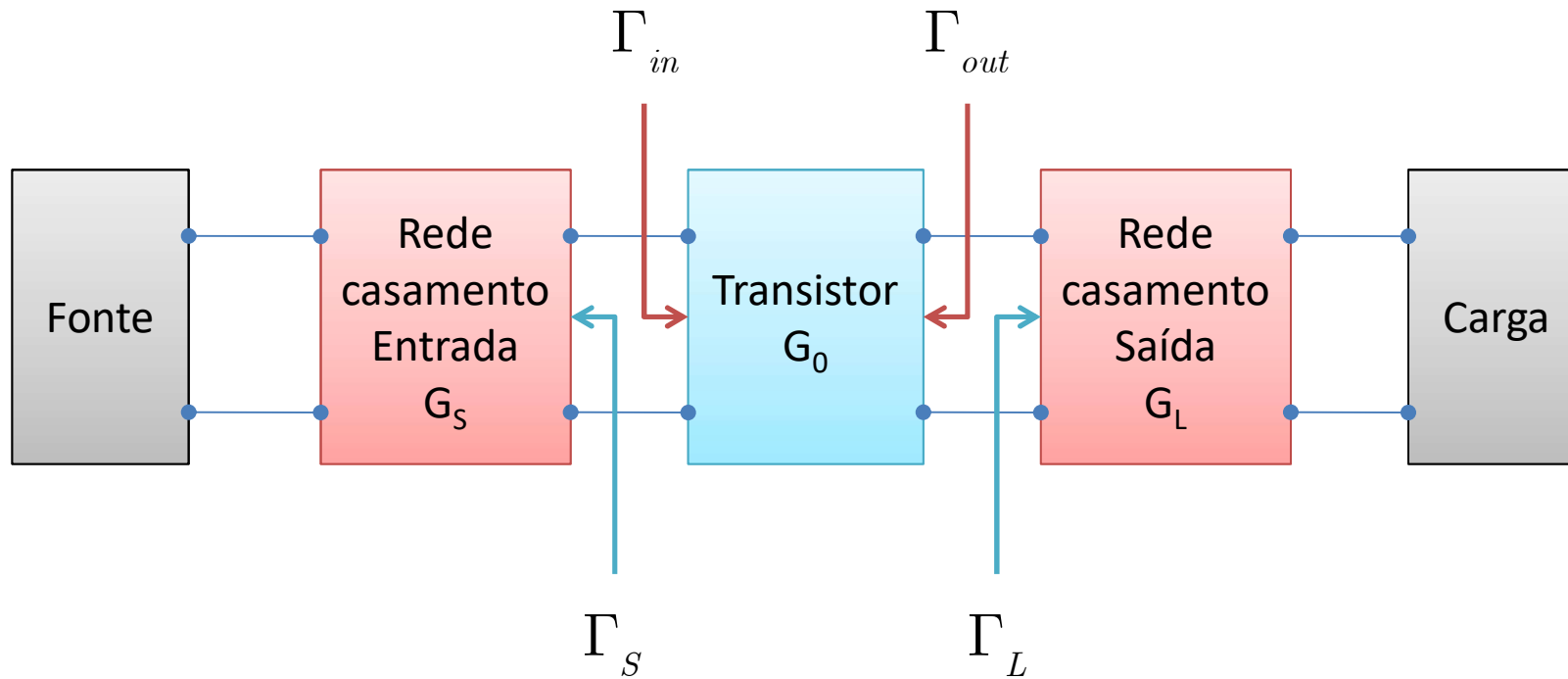
---



- ✓ 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/computação 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.

# Diagrama de blocos de amplificador

---



# Ganhos de potência-1

---

Ganho de potência  $G = \frac{P_L}{P_{in}}$

Ganho de potência disponível  $G_A = \frac{P_{AVN}}{P_{AVS}}$

Ganho de potência transdutivo  $G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}}$

$P_L$ : potência dissipada na carga  $Z_L$

$P_{in}$ : potência entregue à entrada da rede

$P_{AVN}$ : potência disponível da rede

$P_{AVS}$ : potência disponível da fonte

## Ganhos de potência-2

---

Ganho de potência  $G = \frac{P_L}{P_{in}}$

depende de  $Z_L$  e não depende de  $Z_S$

Ganho de potência disponível  $G_A = \frac{P_{AVN}}{P_{AVS}}$

depende de  $Z_S$  e não depende de  $Z_L$

Ganho de potência transdutivo  $G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}}$

depende de  $Z_S$  e  $Z_L$

# Parâmetros

---

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} ; \Gamma_S = \frac{Z_S - Z_0}{Z_S + Z_0}$$

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_L}{1 - S_{22} \Gamma_L}$$

$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_S}{1 - S_{11} \Gamma_S}$$

$$a_1 = \frac{V_S}{2} \frac{1 - \Gamma_S}{1 - \Gamma_{in} \Gamma_S}$$

$V_S$ : tensão do gerador

# Potências

---

$$P_{in} = \frac{|V_S|^2}{8Z_0} \frac{|1 - \Gamma_S|^2}{|1 - \Gamma_S \Gamma_{in}|^2} \left(1 - |\Gamma_{in}|^2\right)$$

$$P_L = \frac{|V_S|^2}{8Z_0} \frac{|S_{21}|^2 |1 - \Gamma_S|^2 \left(1 - |\Gamma_L|^2\right)}{|1 - S_{22} \Gamma_L|^2 |1 - \Gamma_S \Gamma_{in}|^2}$$

$$P_{AVS} = P_{in} \Big|_{\Gamma_{in} = \Gamma_S^*} = \frac{|V_S|^2}{8Z_0} \frac{|1 - \Gamma_S|^2}{1 - |\Gamma_S|^2}$$

$$P_{AVN} = P_{out} \Big|_{\Gamma_{out} = \Gamma_L^*} = \frac{|V_S|^2}{8Z_0} |S_{21}|^2 \frac{|1 - \Gamma_S|^2}{|1 - S_{11} \Gamma_S|^2 \left(1 - |\Gamma_{out}|^2\right)}$$

# Ganhos

---

$$G = \frac{P_L}{P_{in}} = \frac{|S_{21}|^2 \left(1 - |\Gamma_L|^2\right)}{\left(1 - |\Gamma_{in}|^2\right) |1 - S_{22}\Gamma_L|^2}$$

$$G_A = \frac{P_{AVN}}{P_{AVS}} = \frac{|S_{21}|^2 \left(1 - |\Gamma_S|^2\right)}{\left(1 - |\Gamma_{out}|^2\right) |1 - S_{11}\Gamma_S|^2}$$

$$G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}} = \frac{|S_{21}|^2 \left(1 - |\Gamma_S|^2\right) \left(1 - |\Gamma_L|^2\right)}{|1 - \Gamma_S\Gamma_{in}|^2 |1 - S_{22}\Gamma_L|^2}$$



# Casos especiais-1

---

$$\Gamma_L = \Gamma_S = 0$$

$$G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}} = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\Gamma_S|^2) (1 - |\Gamma_L|^2)}{|1 - \Gamma_S \Gamma_{in}|^2 |1 - S_{22} \Gamma_L|^2}$$

$$G_T = |S_{21}|^2$$

## Casos especiais-2

---

$$S_{12} = 0 \text{ ou } S_{12} \simeq 0 \rightarrow \Gamma_{in} = S_{11}$$

$$G_{TU} = \frac{P_L}{P_{AVS}} = \frac{|S_{21}|^2 \left(1 - |\Gamma_S|^2\right) \left(1 - |\Gamma_L|^2\right)}{\left|1 - S_{11}\Gamma_S\right|^2 \left|1 - S_{22}\Gamma_L\right|^2}$$

# Igualdade entre os ganhos

---

$$\Gamma_S = \Gamma_{in}^* \text{ e } \Gamma_L = \Gamma_{out}^*$$

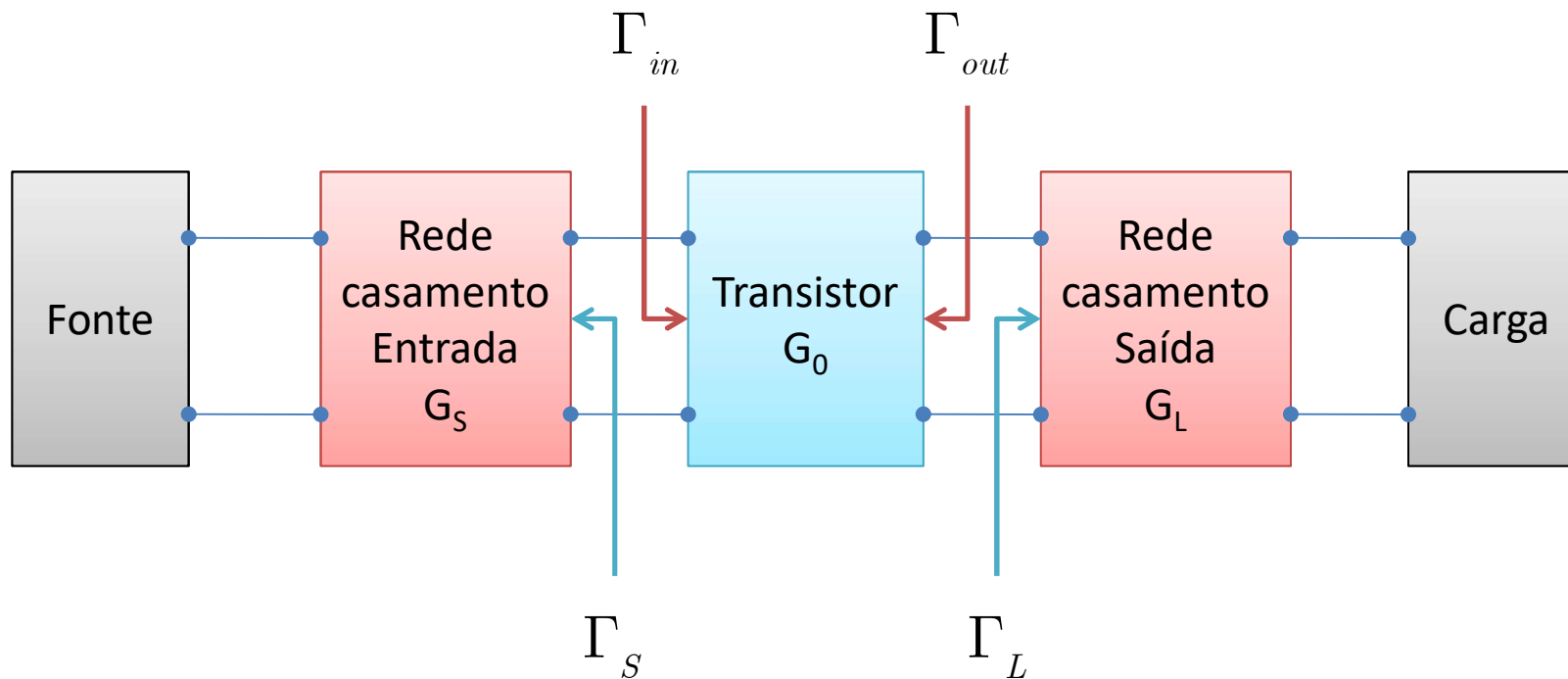
$$G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}} \text{ ; } G = \frac{P_L}{P_{in}} \text{ ; } G_A = \frac{P_{AVN}}{P_{AVS}}$$

$$P_{AVS} = P_{in} \Big|_{\Gamma_{in} = \Gamma_S^*} \text{ e } P_{AVN} = P_{out} \Big|_{\Gamma_{out} = \Gamma_L^*}$$

$$G = \frac{P_L}{P_{in}} = \frac{P_{AVN}}{P_{AVS}} \text{ ; } G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}} = \frac{P_{AVN}}{P_{AVS}}$$

$$G = G_A = G_T$$

# Diagrama de blocos de amplificador



$$G_S = \frac{1 - |\Gamma_S|^2}{|1 - \Gamma_{in} \Gamma_S|^2} \quad G_0 = |S_{21}|^2 \quad G_L = \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22} \Gamma_L|^2}$$

# Ganho transdutivo máximo-1

---

$$G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}} = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\Gamma_S|^2) (1 - |\Gamma_L|^2)}{|1 - \Gamma_S \Gamma_{in}|^2 |1 - S_{22} \Gamma_L|^2}$$
$$G_S = \frac{(1 - |\Gamma_S|^2)}{|1 - \Gamma_S \Gamma_{in}|^2} ; G_0 = |S_{21}|^2 ; G_L = \frac{(1 - |\Gamma_L|^2)}{|1 - S_{22} \Gamma_L|^2}$$

condição de máxima transferência de potência

$$\Gamma_{in} = \Gamma_S^* \text{ e } \Gamma_{out} = \Gamma_L^*$$

$$G_{T,\max} = \frac{1}{1 - |\Gamma_S|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22} \Gamma_L|^2}$$

# Ganho transdutivo máximo-2

---

$$G_{T,\max} = \frac{1}{1 - |\Gamma_S|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2} \quad k = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|}$$

$$G_{T,\max} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} \left( k - \sqrt{k^2 - 1} \right)$$

$k > 1$  para rede estável

$$G_{T,\max} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} \text{ para } k = 1$$

# Impedâncias otimizadas-1

---

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} = \Gamma_S^* \quad \Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{22}\Gamma_S} = \Gamma_L^*$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

$$\Gamma_S = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|A_1|^2}}{2A_1}$$

$$\Gamma_L = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|A_2|^2}}{2A_2}$$

# Impedâncias otimizadas-2

---

$$\Gamma_s = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|A_1|^2}}{2A_1} \quad \Gamma_L = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|A_2|^2}}{2A_2}$$

$$B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2$$

$$B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2$$

$$A_1 = S_{11} - \Delta S_{22}^*$$

$$A_2 = S_{22} - \Delta S_{11}^*$$



# Rede unilateral

---

$$S_{12} = 0$$

$$\Gamma_S = S_{11}^* e \Gamma_L = S_{22}^*$$

$$G_{Tu,\max} = \frac{1}{1 - |S_{11}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1}{1 - |S_{22}|^2}$$

$$G_{S,\max} = \frac{1}{1 - |S_{11}|^2} ; G_0 = |S_{21}|^2$$

$$G_{L,\max} = \frac{1}{1 - |S_{22}|^2}$$