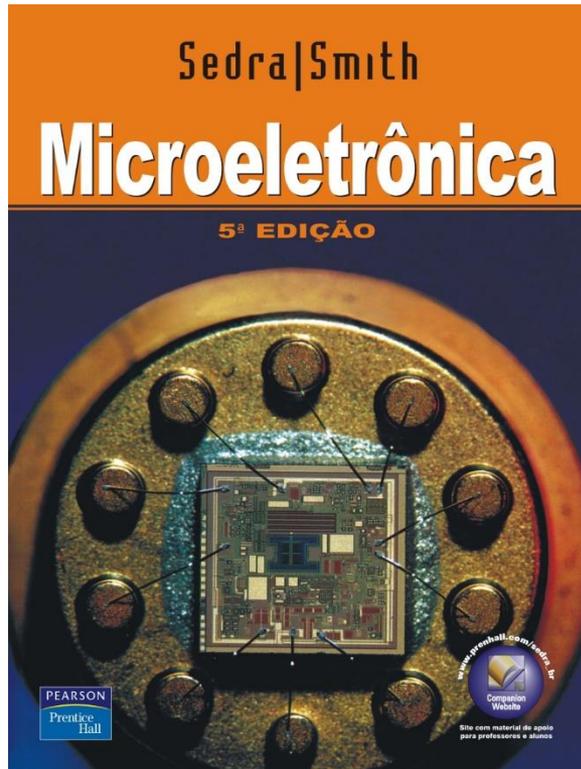


**AULA 22**

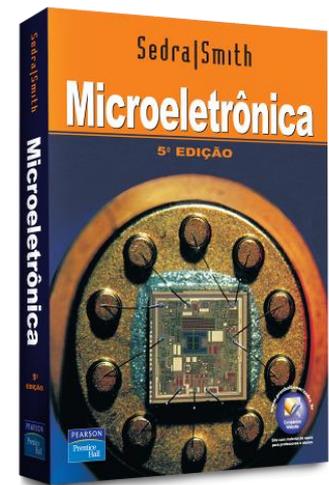


Cap. 8- Realimentação.

- Estrutura Geral da Realimentação.
  - Algumas Propriedades da Realimentação Negativa.  
(p. 489-494)

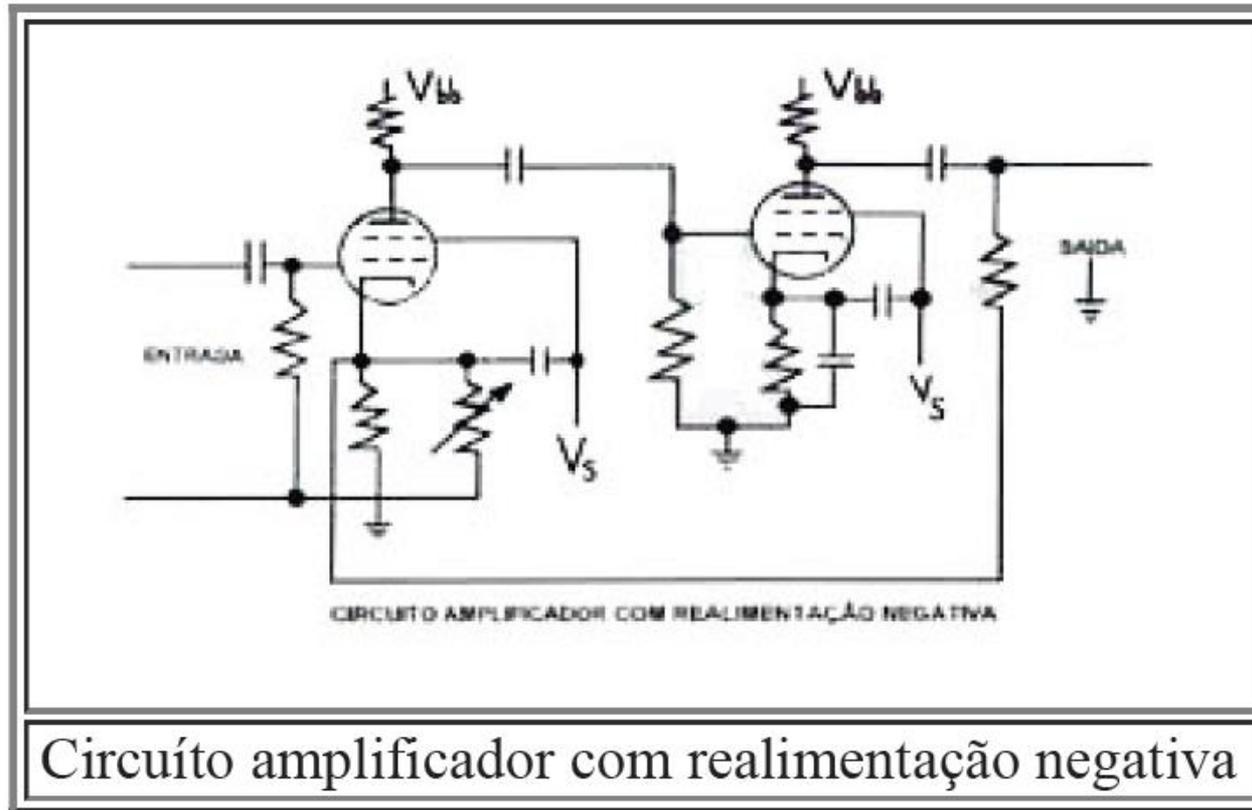
## Cap.8 - Realimentação

**Eng. Harold Black** : Invenção do Amplificador com realimentação negativa em 1927 (Western Eletronics Company)



- National Inventors Hall of Fame inductee number 25, 1981
- Robert H. Goddard Award from WPI 1981
- IEEE Lamme Medal 1958
- D. Eng. degree (honorary) from WPI 1955
- Research Corporation Scientific Award 1952
- John H. Potts Memorial Award of the Audio Engineering Society
- John Price Wetherill Award of the Franklin Institute

## Eng. Harold Black : Invenção do Amplificador com realimentação negativa em 1927

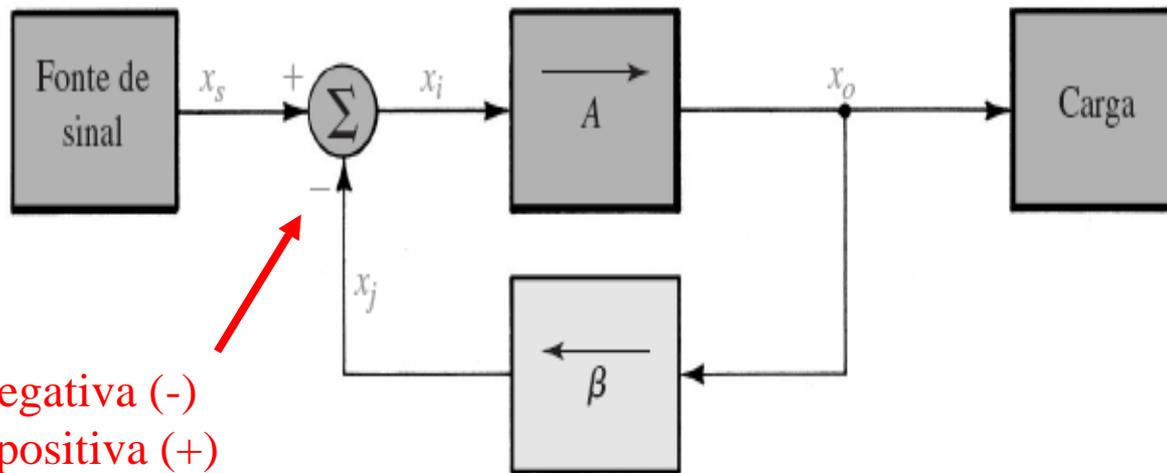


Circuito amplificador com realimentação negativa

Este circuito originalmente desenvolvido pelo engenheiro americano Harold S. Black sendo um dos mais importantes marcos da historia das telecomunicações. Na realidade o Dr. Black descobriu que a realimentação negativa podia ser aplicada a um amplificador para minimizar as distorções sobre uma larga faixa de frequências simultaneamente obtendo estabilização.

## Cap.8 - Realimentação

- Realimentação negativa: Amplificadores (Cap.8)
- Realimentação positiva: Osciladores (Cap.13)

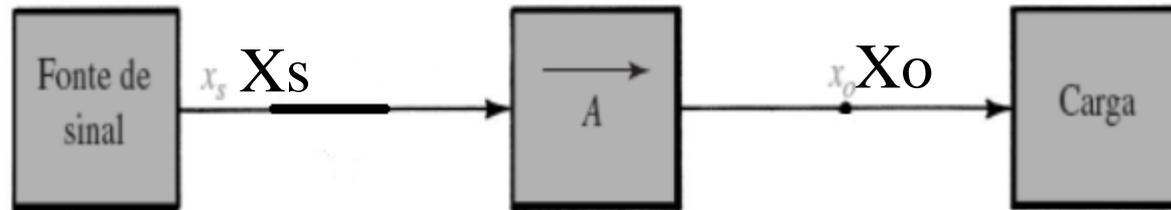


Realimentação negativa (-)  
Realimentação positiva (+)

## Cap.8 - Realimentação

Sistema sem  
realimentação

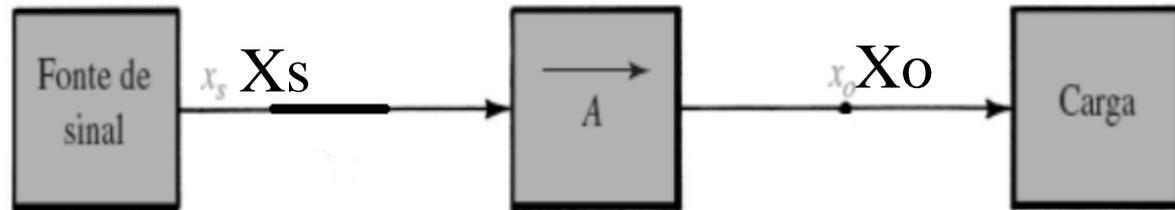
$$A = X_o / X_s$$



# Cap.8 - Realimentação

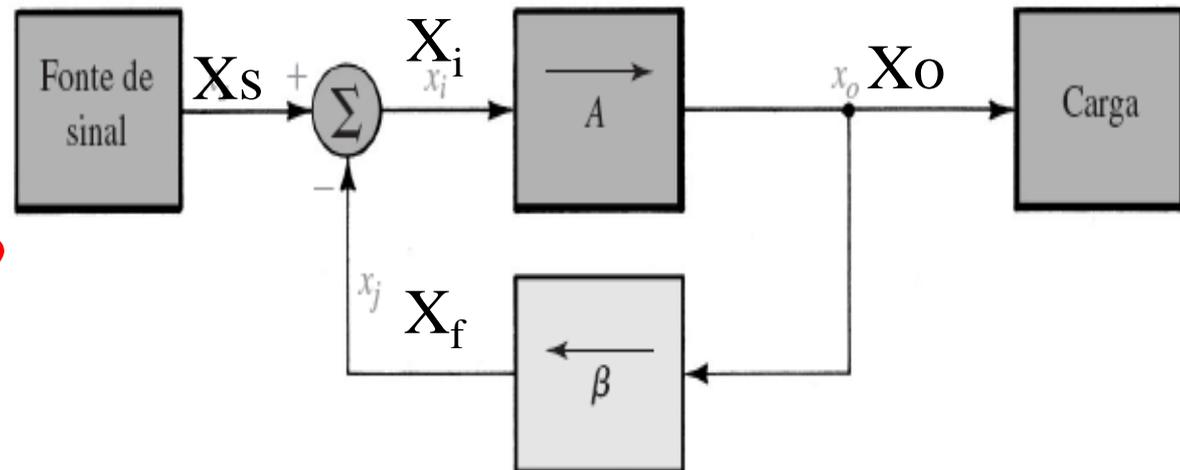
- Realimentação negativa: Amplificadores (Cap.8)

Sistema sem realimentação



$$A = X_o / X_s$$

Sistema com realimentação

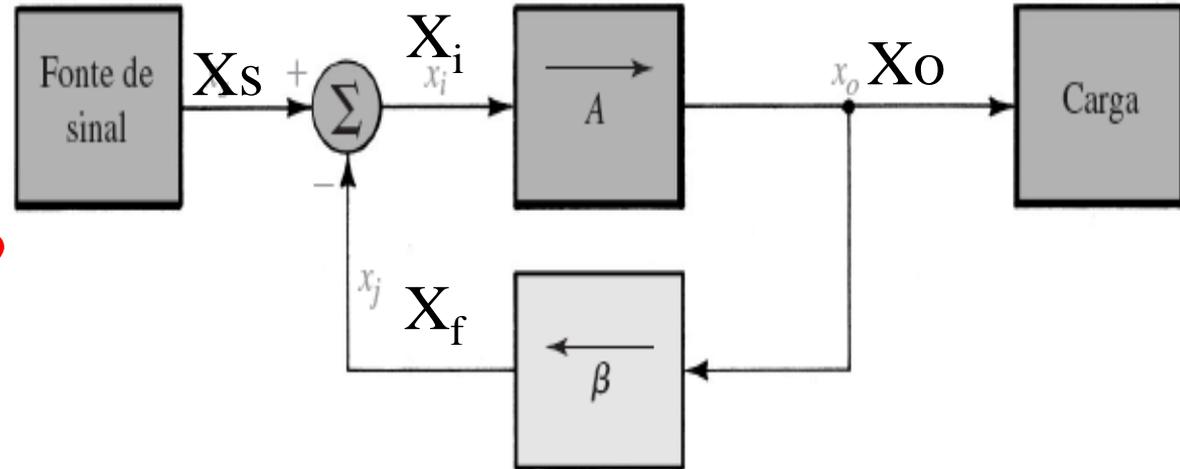


$$A_f = X_o / X_s = ?$$

# Cap.8 - Realimentação

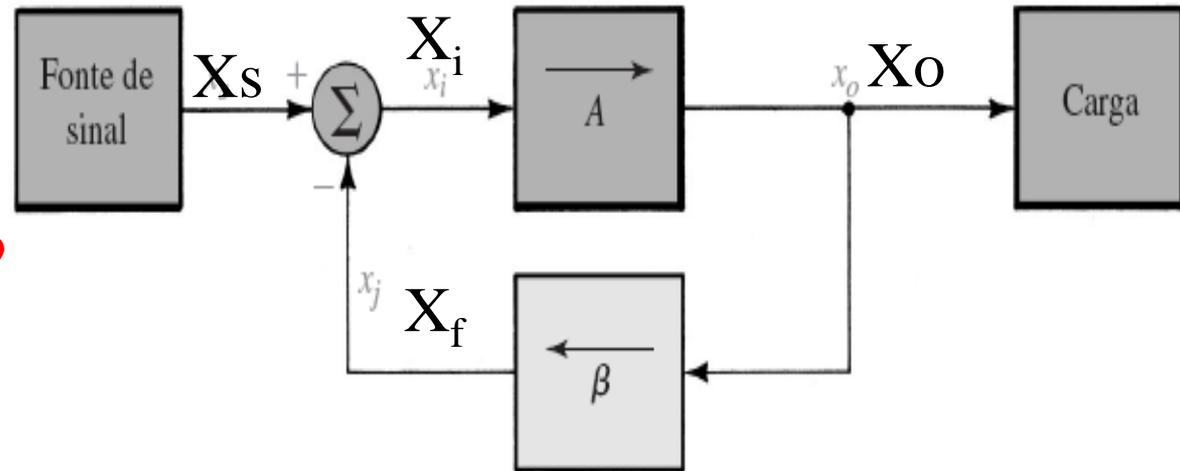
Sistema com realimentação

$$A_f = X_o / X_s = ?$$



## Cap.8 - Realimentação

Sistema com  
realimentação



$$A_f = X_o / X_s = ?$$

$$A_f = X_o / X_s = A / (1 + A \cdot \beta)$$

$A$  = Ganho de malha aberta

$\beta$  = Fator de realimentação

$A \cdot \beta$  = Ganho de malha

$(1 + A \cdot \beta)$  = Quantidade de realimentação

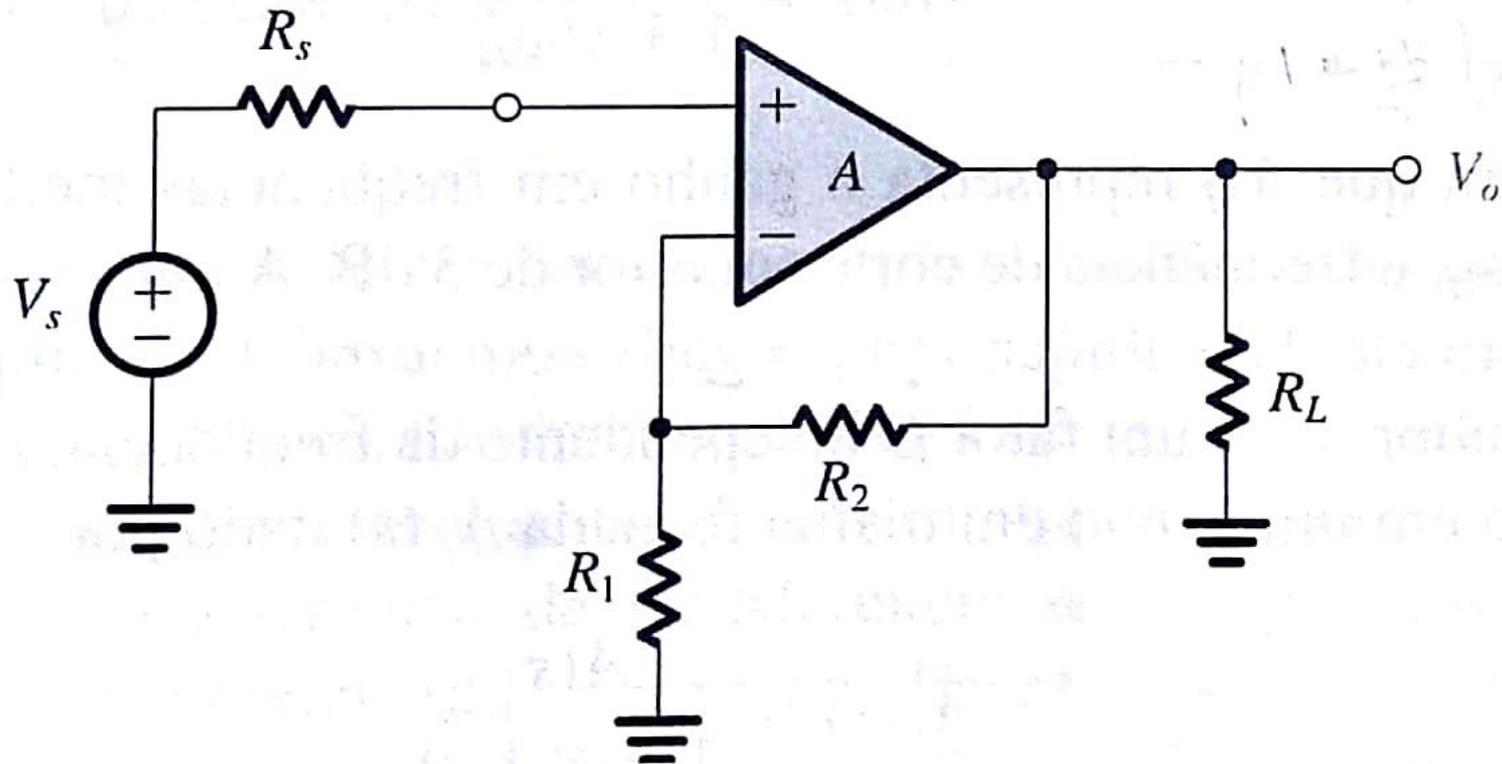
$A_f$  = Ganho de malha fechada (ou ganho com realimentação)

## Exercício 8.1 (pag. 491)

A configuração não inversora do Amp Op, mostrado na Figura E8.1, fornece uma implementação direta do elo de realimentação da Figura 8.1.

(a) Suponha que o Amp Op tenha uma resistência de entrada infinita e uma resistência de saída zero. Encontre uma expressão para o fator de realimentação  $\beta$ . (b) Se o ganho de tensão em malha aberta for  $A = 10^4$ , calcule  $R_2/R_1$  para obter um ganho em malha fechada  $A_f$  de 10. (c) Qual é a quantidade de realimentação em decibéis? (d) Se  $V_s = 1$  V, calcule  $V_o$ ,  $V_f$  e  $V_i$ . (e) Se  $A$  diminuir em 20%, qual a correspondente diminuição em  $A_f$ ?

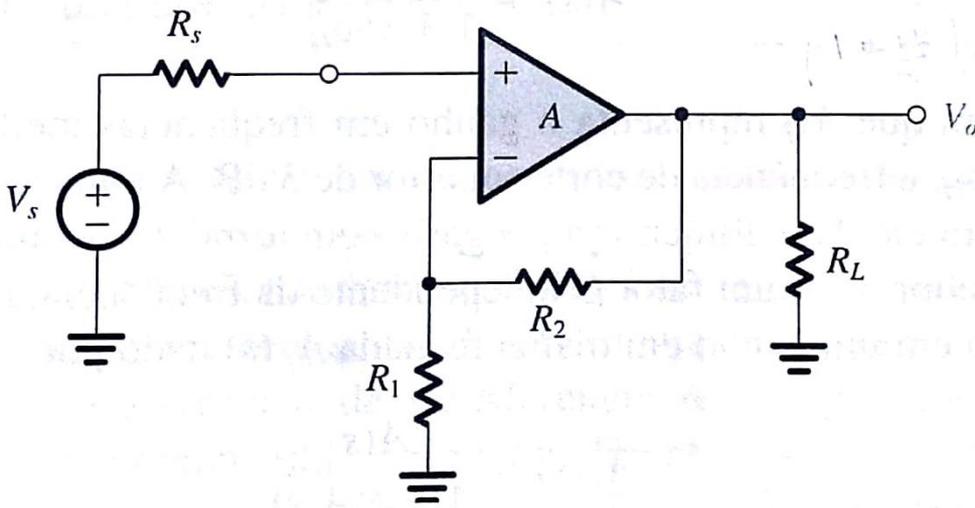
## Exercício 8.1 (pag. 491)



**Figura E8.1**

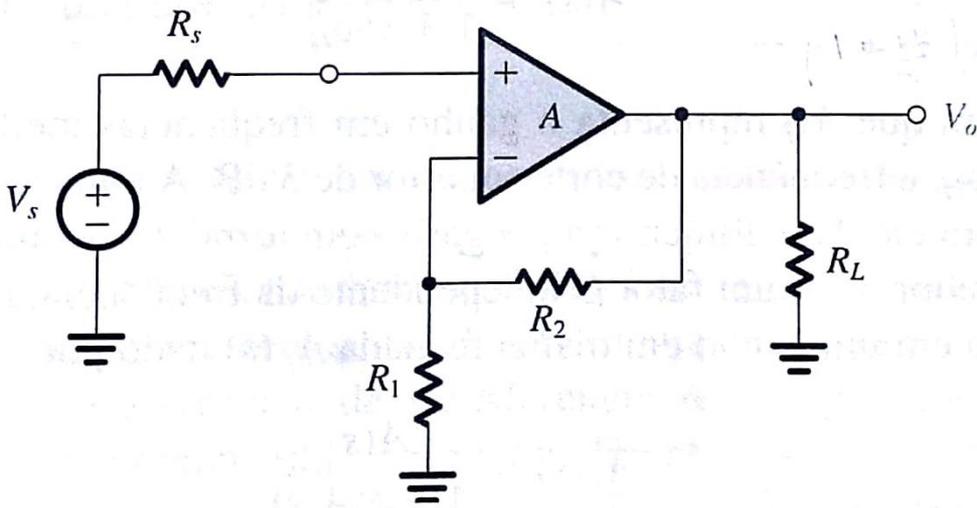
**Resposta** (a)  $\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$ ; (b) 9,01; (c) 60 dB; (d) 10V, 0,999 V, 0,001 V; (e) 0,02%.

## Exercício 8.1 (pag. 491)



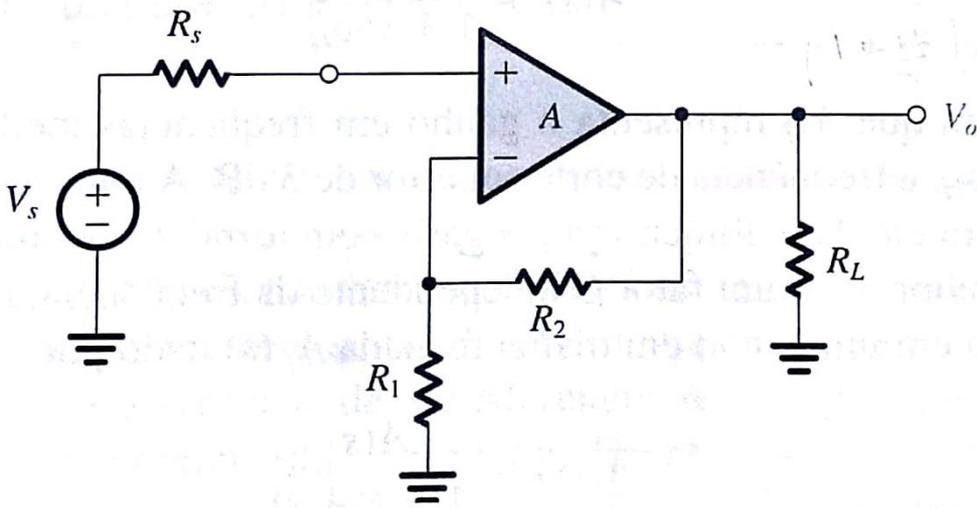
- Expressão para  $\beta$
- Se  $A = 10^4$ , determine  $R_2/R_1$  para  $A_f = 10$
- $(1 + A \cdot \beta)_{dB}$  ?
- Se  $V_s = 1V$ , calcule  $V_o$ ,  $V_f$ ,  $V_i$
- Se  $A$  diminuir de 20%, quanto  $A_f$  diminui ?

## Exercício 8.1 (pag. 491)



- Expressão para  $\beta$
- Se  $A = 10^4$ , determine  $R_2/R_1$  para  $A_f = 10$
- $(1 + A \cdot \beta)_{dB}$  ?
- Se  $V_s = 1V$ , calcule  $V_o$ ,  $V_f$ ,  $V_i$
- Se  $A$  diminuir de 20%, quanto  $A_f$  diminuir ?

## Exercício 8.1 (pag. 491)



- Expressão para  $\beta$
- Se  $A = 10^4$ , determine  $R_2/R_1$  para  $A_f = 10$
- $(1 + A \cdot \beta)_{dB}$  ?
- Se  $V_s = 1V$ , calcule  $V_o$ ,  $V_f$ ,  $V_i$
- Se  $A$  diminuir de 20%, quanto  $A_f$  diminuir ?

- Realimentação negativa: Amplificadores (Cap.8)

$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

Vantagens:

- 1) Manter o ganho mais estável (Dessensibilidade do ganho)
- 2) Extensão da faixa de passagem do amplificador
- 3) Redução do efeito do ruído (aumento da relação sinal/ruído)
- 4) Redução da distorção não linear
- 5) Melhoria das impedâncias de entrada e saída

Desvantagem:

- 1) Diminuição do ganho

# Propriedades da Realimentação Negativa

$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

1) Manter o ganho mais estável (Dessensibilidade do ganho)

$$\frac{\partial A_f}{\partial A} = ?$$

# Propriedades da Realimentação Negativa

$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

1) Manter o ganho mais estável (Dessensibilidade do ganho)

$$\frac{\partial A_f}{\partial A} = \frac{\partial}{\partial A} \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{1}{(1 + A\beta)^2}$$

$$\frac{\partial A_f}{A_f} = \frac{1}{(1 + A\beta)} \frac{\partial A}{A}$$

Lembre-se que no Ex.8.1 para A diminuindo de **20%**,  
Af diminuiu apenas de **0,02 %**

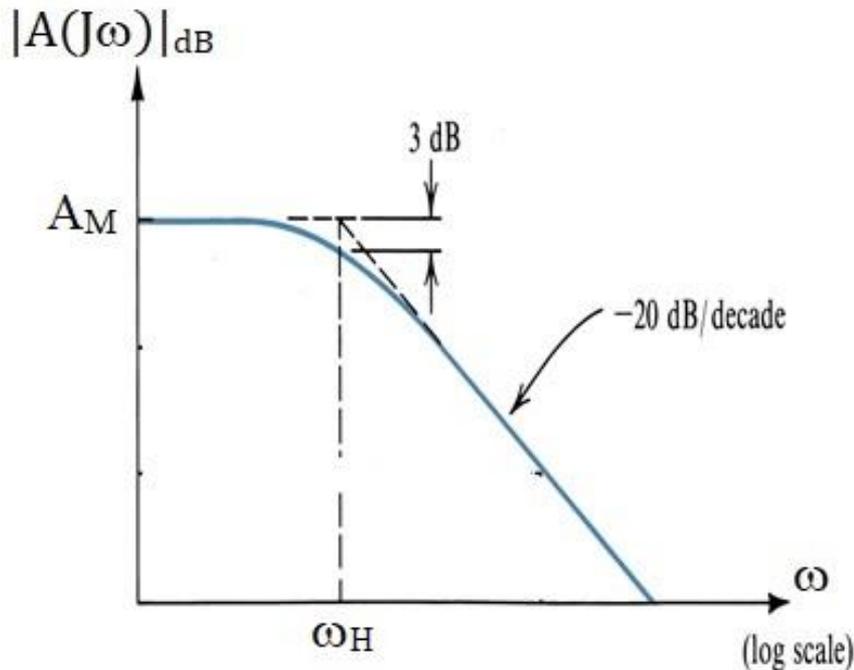
# Propriedades da Realimentação Negativa

$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

## 2) Extensão da faixa de passagem do amplificador

$$A(S) = \frac{A_M}{1 + s/\omega_H}$$

$$\omega_{Hf} = ?$$



# Propriedades da Realimentação Negativa

$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

## 2) Extensão da faixa de passagem do amplificador

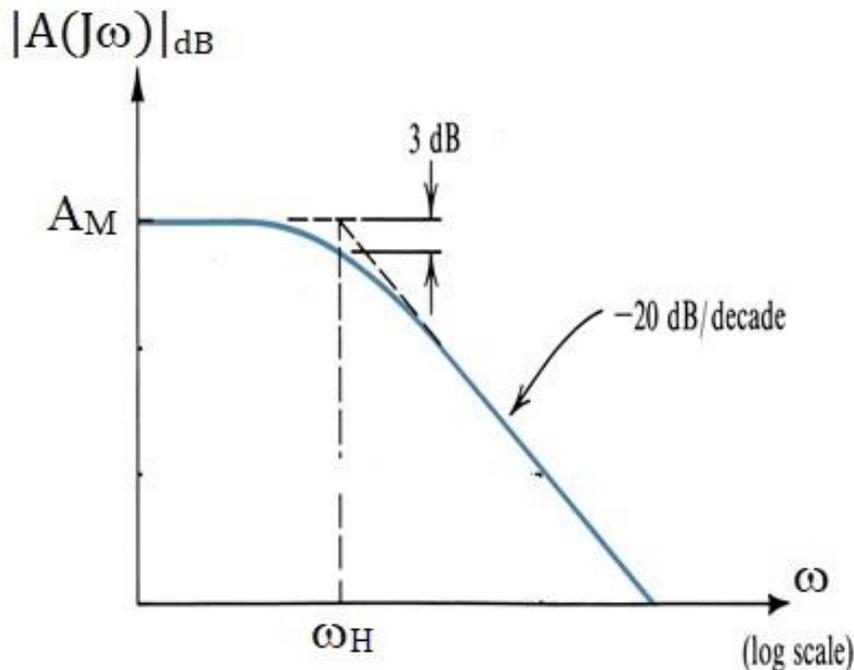
$$A(S) = \frac{A_M}{1+s/\omega_H}$$

$$A_f(s) = \frac{\frac{A_M}{1+s/\omega_H}}{1+\beta\frac{A_M}{1+s/\omega_H}}$$

$$A_f(s) = \frac{A_M/(1+A_M\beta)}{1+s/\omega_H(1+A_M\beta)}$$

$$\omega_{Hf} = \omega_H(1+A_M\beta)$$

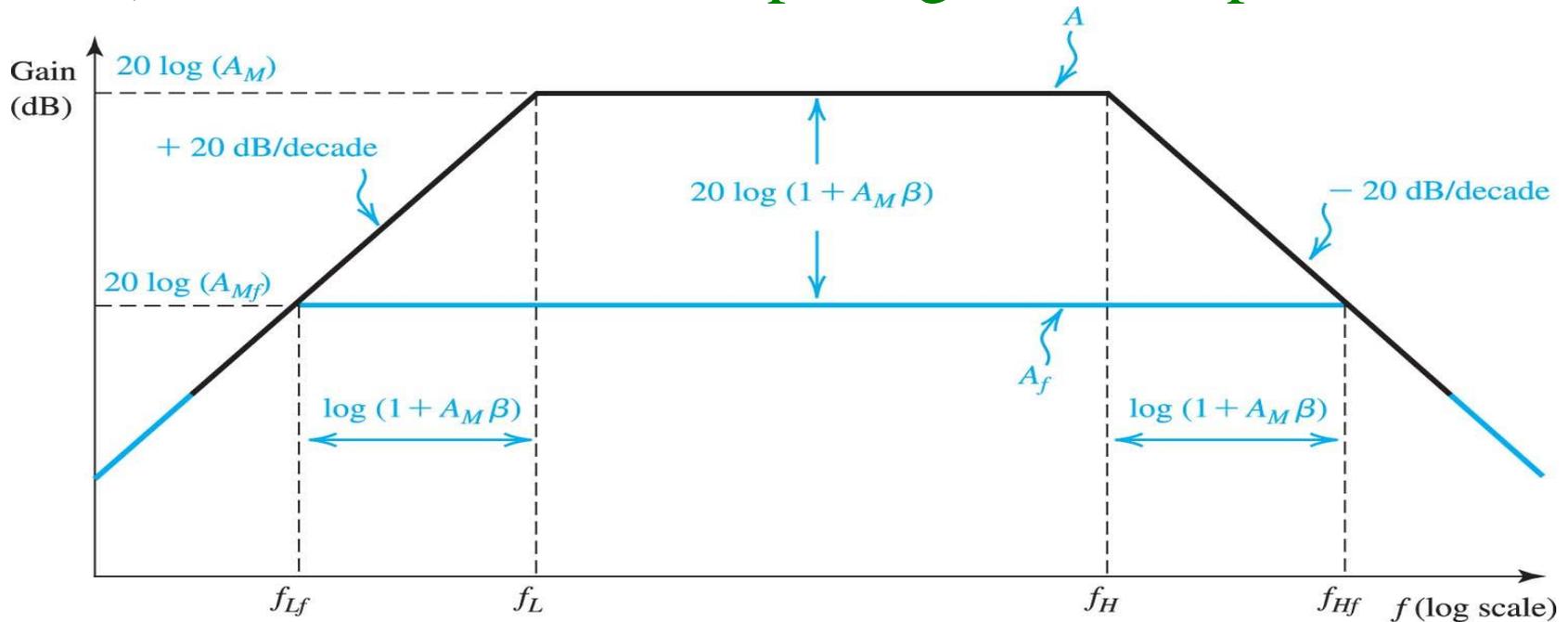
Analogamente: 
$$\omega_{Lf} = \frac{\omega_L}{1+A_M\beta}$$



# Propriedades da Realimentação Negativa

$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

## 2) Extensão da faixa de passagem do amplificador



$$f_{Lf} = \frac{f_L}{1 + A_M \beta}$$

$$A_{Mf} = \frac{A_M}{1 + A_M \beta}$$

$$f_{Hf} = f_H (1 + A_M \beta)$$

$$\omega_{Lf} = \frac{\omega_L}{1 + A_M \beta}$$

$$\omega_{Hf} = \omega_H (1 + A_M \beta)$$

## Exercício 8.2 (pag. 492)

**8.2** Considere o circuito com Amp Op não inversor do Exercício 8.1. Suponha que o ganho em malha aberta  $A$  tenha um valor em baixas frequências de  $10^4$  e uma queda uniforme de  $-6$  dB/oitava em altas frequências com uma frequência de corte de  $100$  Hz. Calcule o ganho em baixas frequências e a frequência de corte superior de um amplificador em malha fechada com  $R_1 = 1$  k $\Omega$  e  $R_2 = 9$  k $\Omega$ .

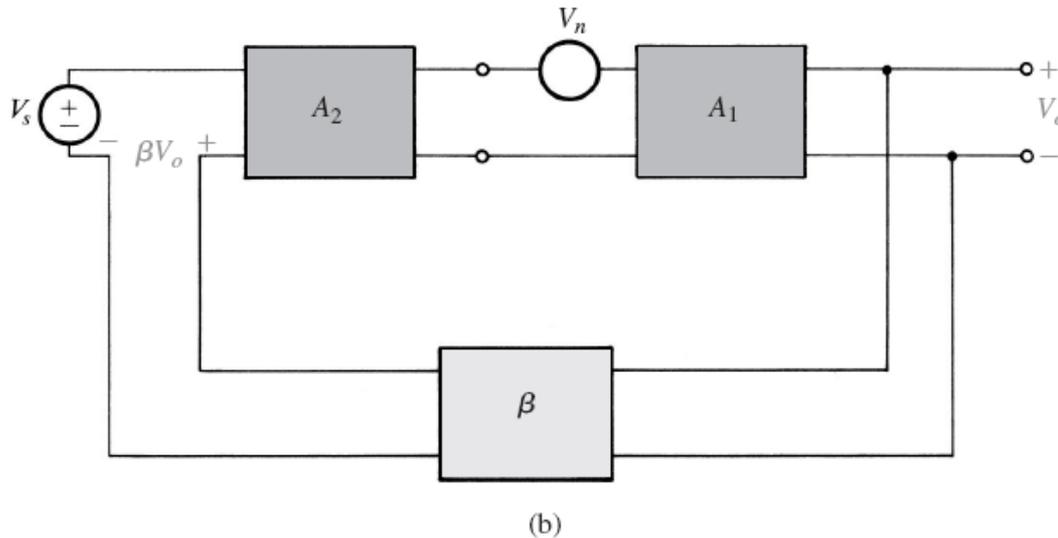
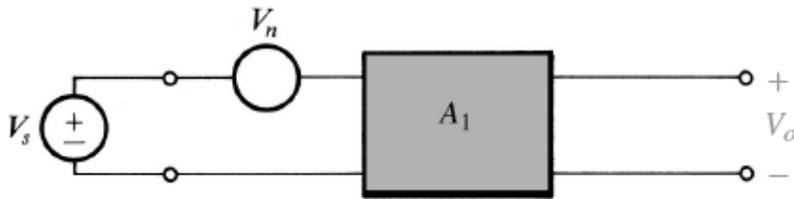
**Resposta** 9,99 V/V; 100,1 kHz.

# Propriedades da Realimentação Negativa

$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

## 3) Redução do efeito do ruído (aumento da relação sinal/ruído)

$$(S/N) = ?$$



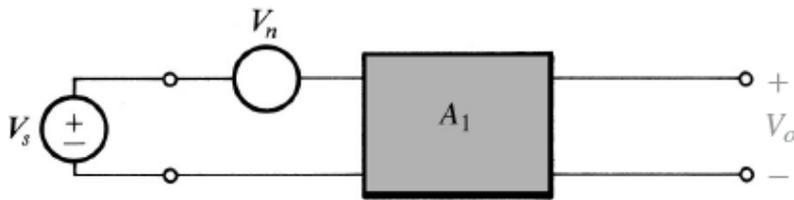
$$(S/N)_f = ?$$

# Propriedades da Realimentação Negativa

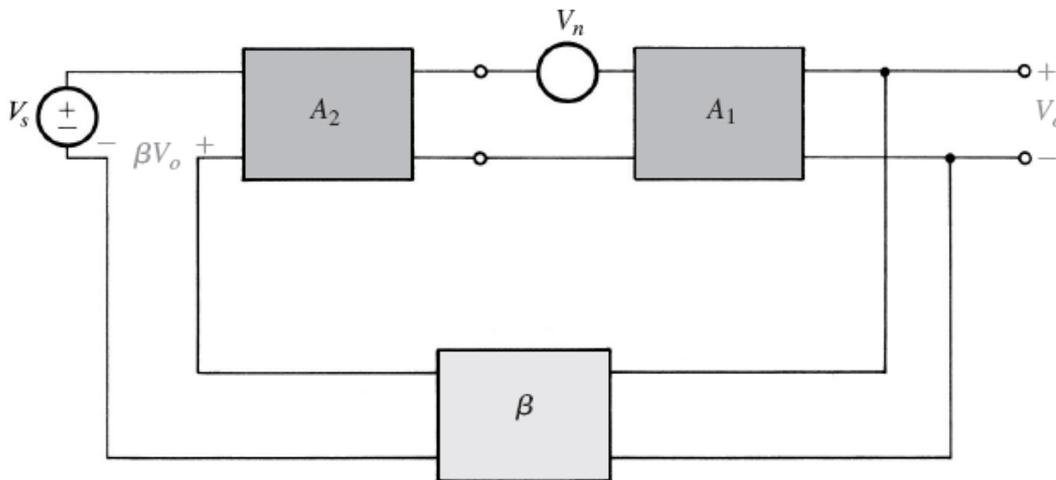
$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

## 3) Redução do efeito do ruído (aumento da relação sinal/ruído)

$$(S/N) = V_s/V_n$$



$$V_o = V_s \frac{A_1 A_2}{1 + A_1 A_2 \beta} + V_n \frac{A_1}{1 + A_1 A_2 \beta}$$



(b)

$$(S/N)_f = A_2 \cdot (V_s/V_n)$$

## Exercício 8.3 (pag. 493)

**8.3** Considere um estágio de saída de potência com um ganho de tensão  $A_1 = 1$ , um sinal de entrada  $V_s = 1$  V e um ruído  $V_n$  de 1 V. Suponha que esse estágio de potência seja precedido por um estágio para pequenos sinais com ganho  $A_2 = 100$  V/V e que seja aplicada uma realimentação total de  $\beta = 1$ . Se  $V_s$  e  $V_n$  permanecerem sem alteração, calcule as tensões do sinal e do ruído na saída e, conseqüentemente, a melhora em  $S/N$ .

**Resposta**  $\approx 1$  V;  $\approx 0,01$  V; 100 (40 dB).

# Propriedades da Realimentação Negativa

$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

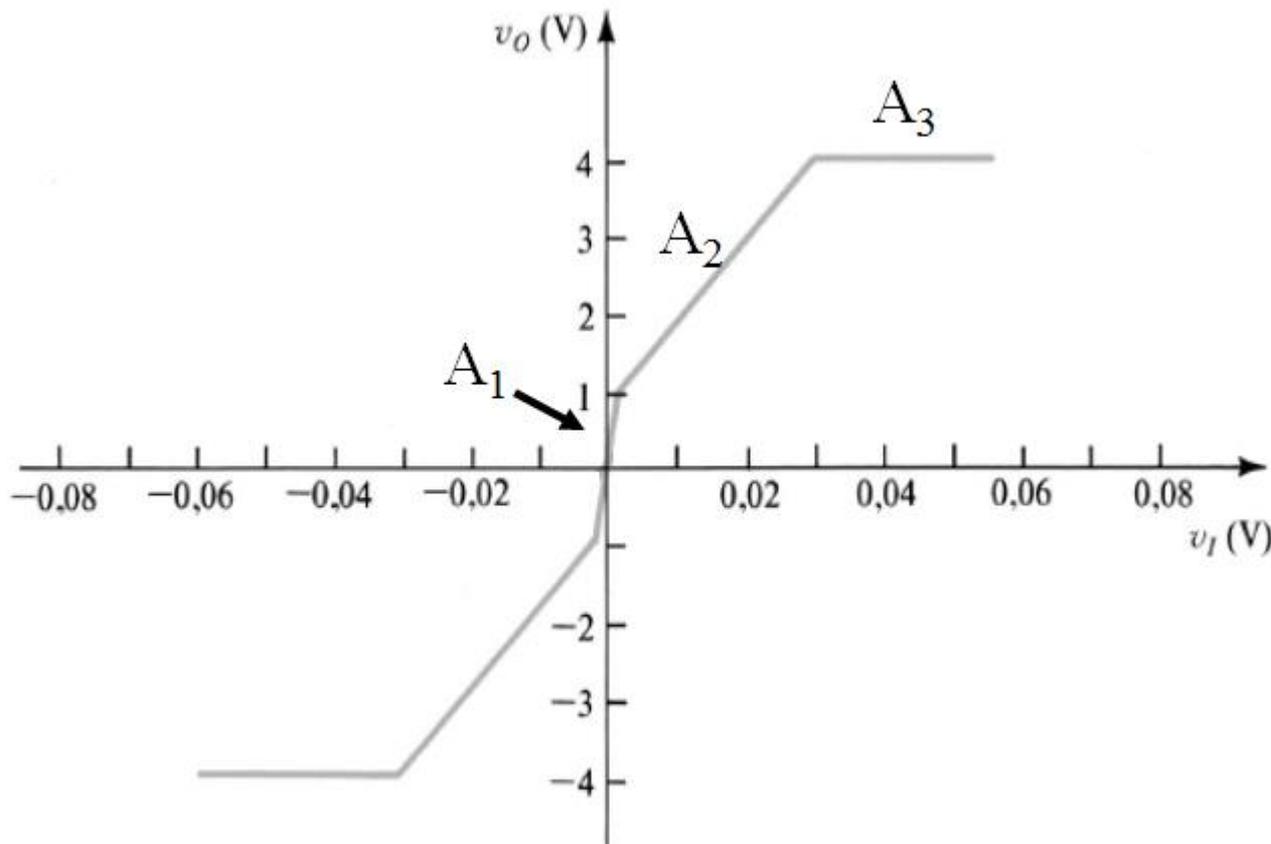
## 4) Redução da distorção não linear

Sem realimentação

$$A_1 = 1000$$

$$A_2 = 100$$

$$A_3 = 0$$



# Propriedades da Realimentação Negativa

$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

## 4) Redução da distorção não linear

Sem realimentação

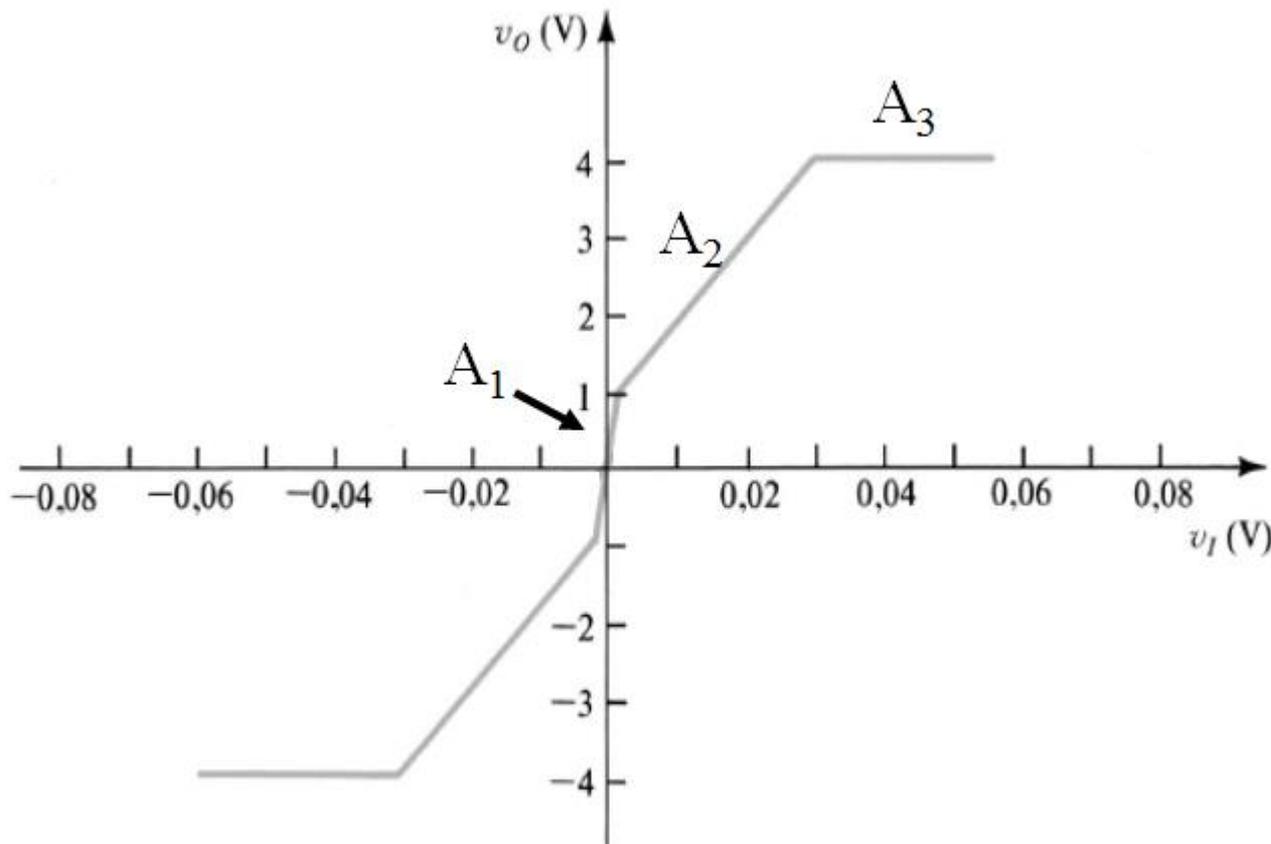
$$A_1 = 1000$$

$$A_2 = 100$$

$$A_3 = 0$$

Com realimentação

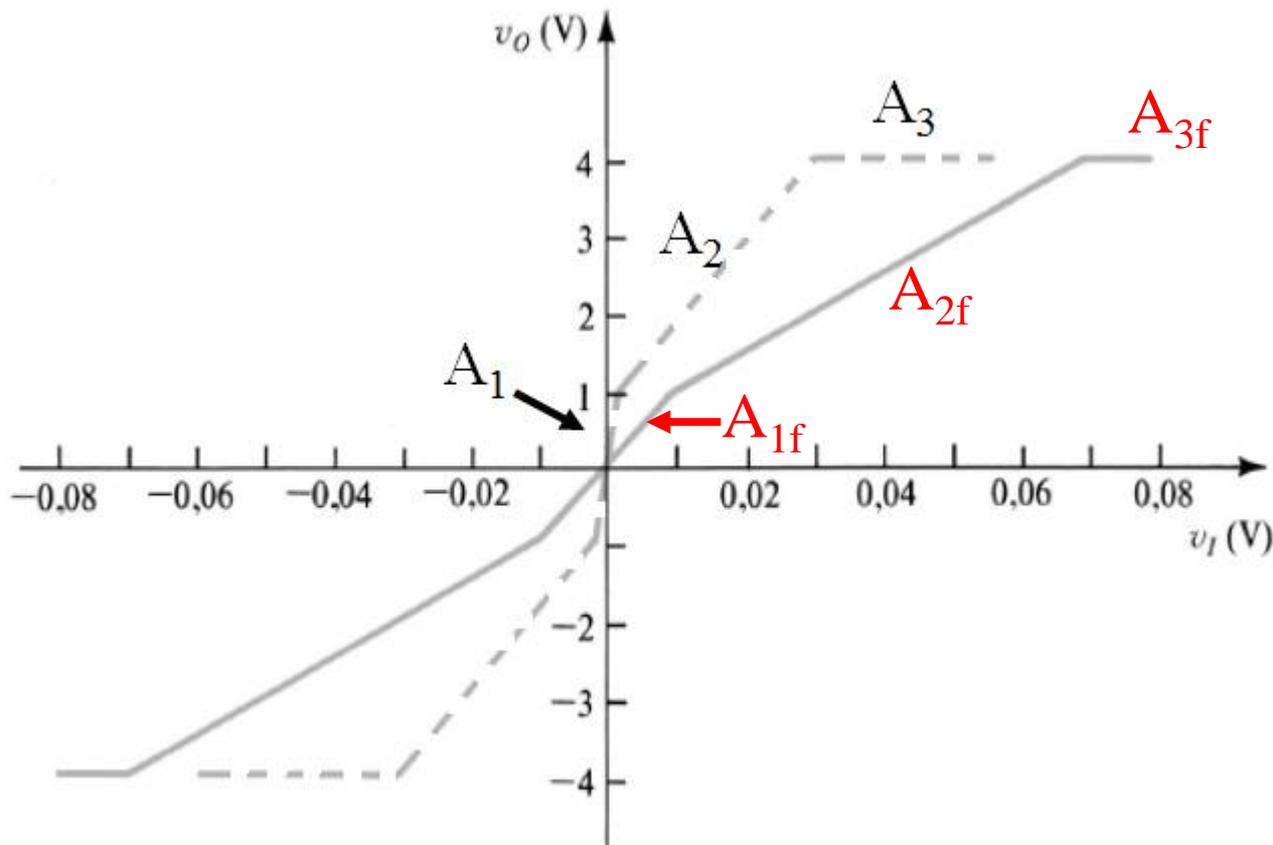
$$\beta = 0,01$$



# Propriedades da Realimentação Negativa

$$A_f = A / (1 + A.\beta)$$

## 4) Redução da distorção não linear



Sem realimentação

$$A_1 = 1000$$

$$A_2 = 100$$

$$A_3 = 0$$

Com realimentação

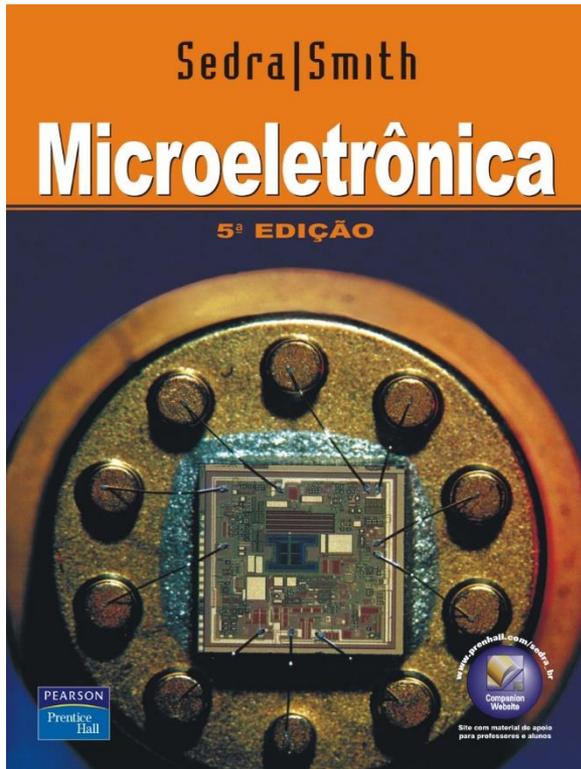
$$\beta = 0,01$$

$$A_{1f} = 90,9$$

$$A_{2f} = 50$$

$$A_{3f} = 0$$

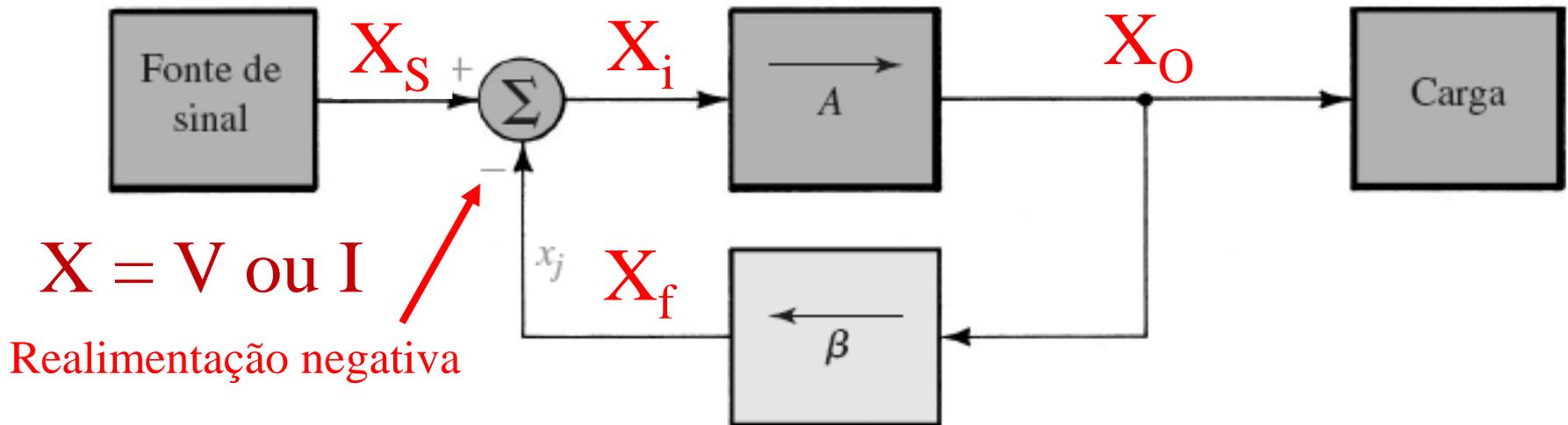
**AULA 23**



- Cap. 8- Realimentação.**
- **As quatro topologias básicas da Realimentação.**
  - **Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo (Caso Ideal) (p. 494-498)**

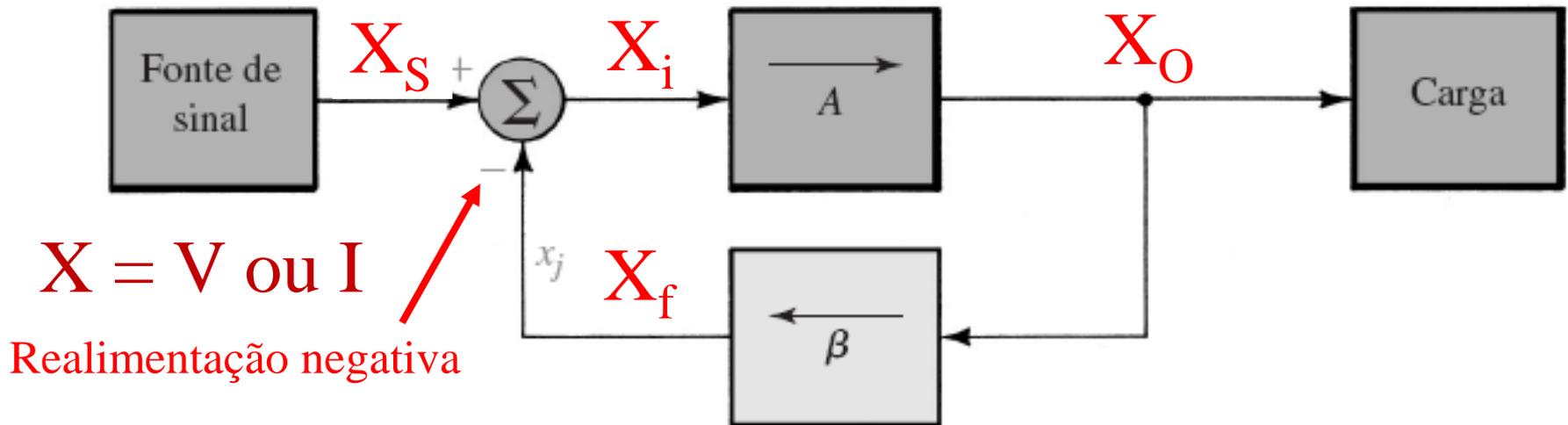
# Cap.8 - Realimentação

- Realimentação negativa: Amplificadores (Cap.8)



# Cap.8 - Realimentação

- Realimentação negativa: Amplificadores (Cap.8)



$X = V$  ou  $I$

Realimentação negativa

$$X_O = A \cdot X_i$$

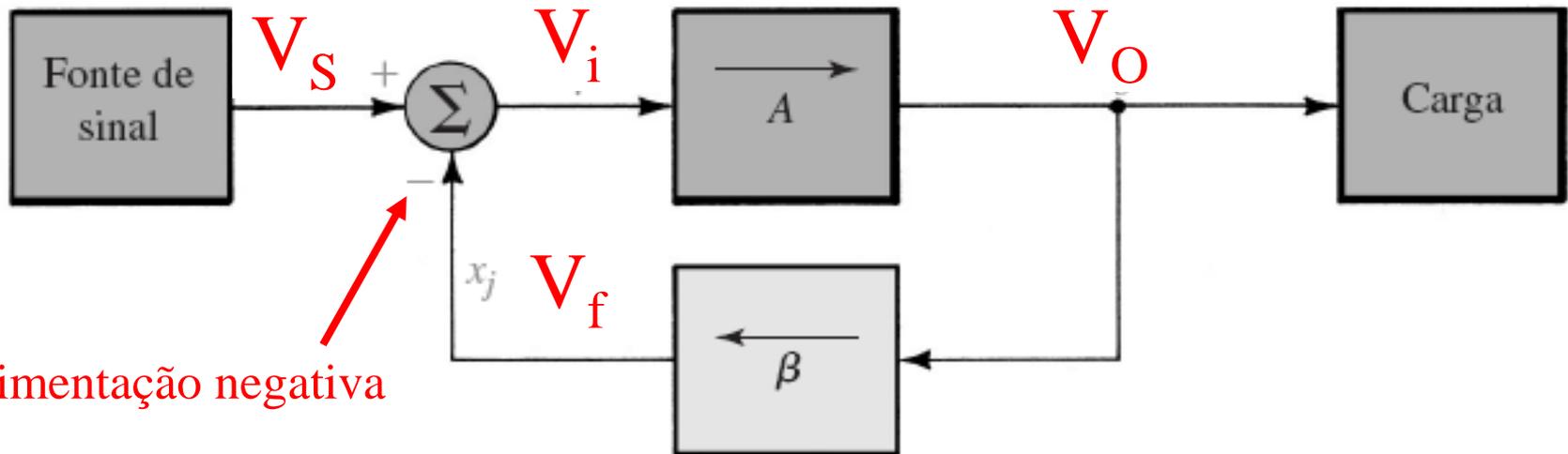
$$X_i = X_S - X_f$$

$$X_f = \beta \cdot X_O$$

$$A_f = X_O / X_S = A / (1 + A \cdot \beta)$$

# Cap.8 - Realimentação

- Amplificador de Tensão ( $X = V$ )



Realimentação negativa

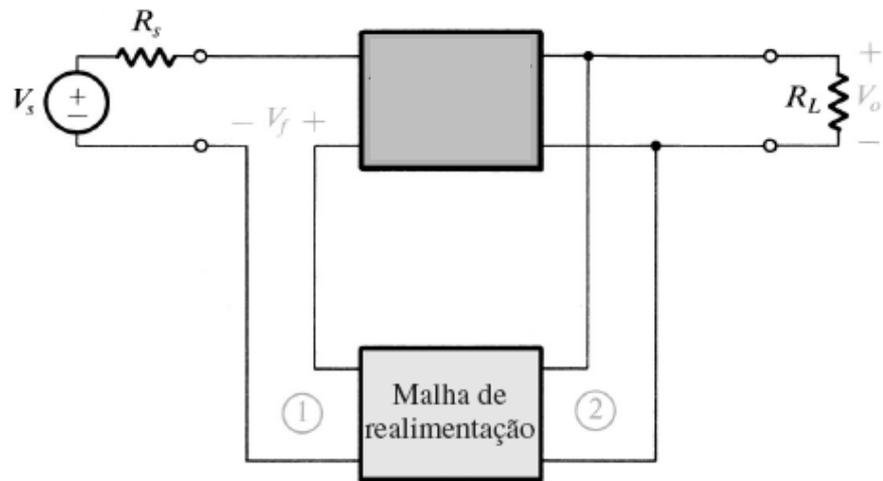
$$V_O = A \cdot V_i$$

$$V_i = V_S - V_f$$

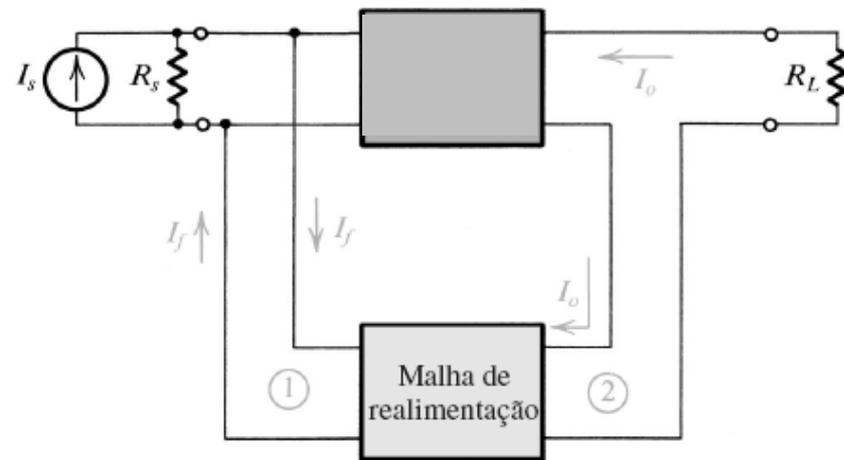
$$V_f = \beta \cdot V_O$$

$$A_f = V_O / V_S = A / (1 + A \cdot \beta)$$

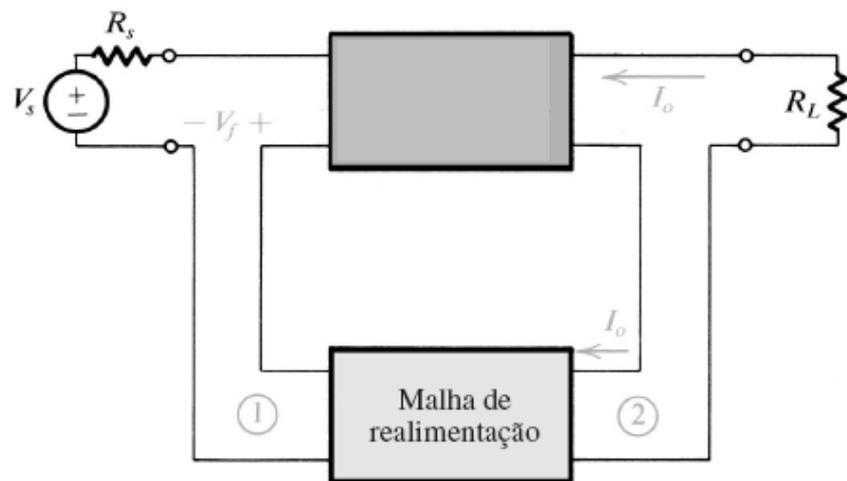
# Topologias básicas de realimentação



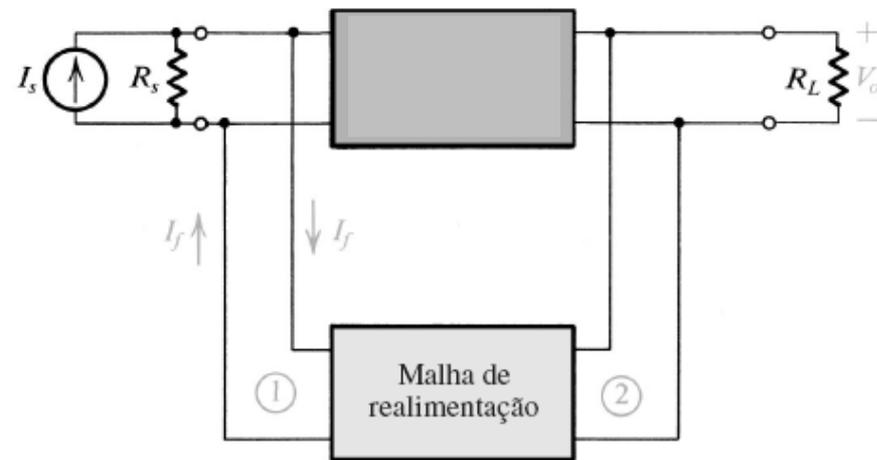
(a)



(b)



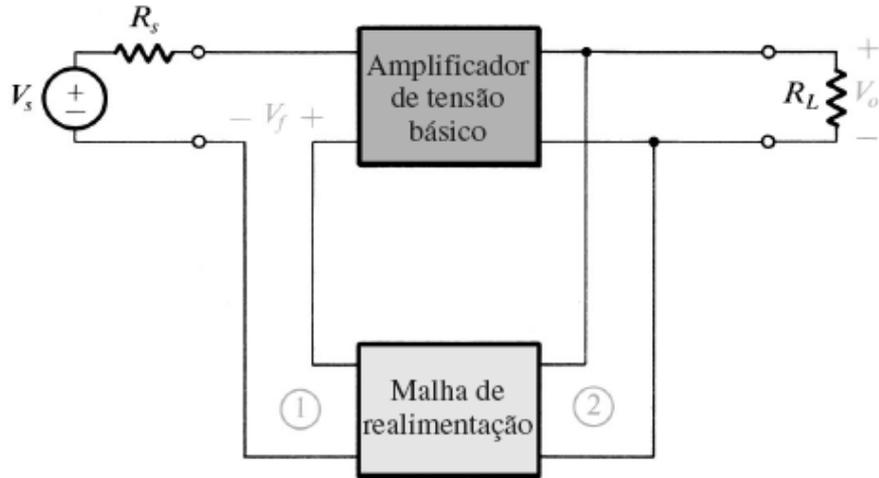
(c)



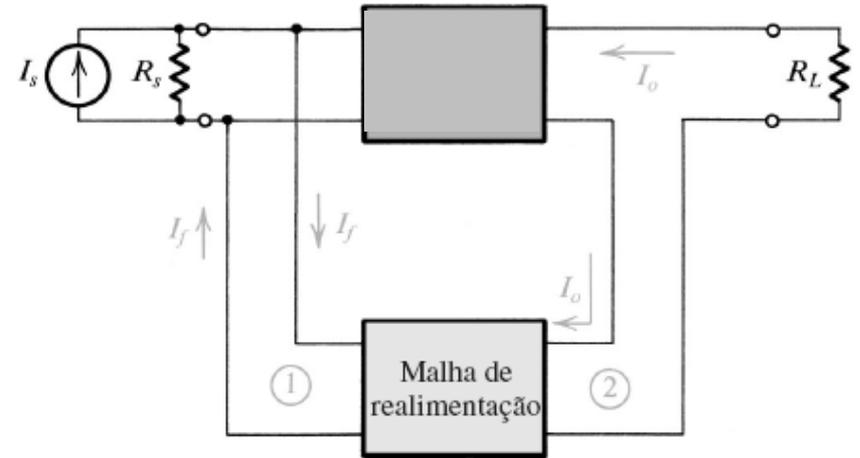
(d)

Figura 8.4 As quatro topologias básicas de realimentação: (a) composição de tensão com amostragem de tensão (série-paralelo) ; (b) composição de

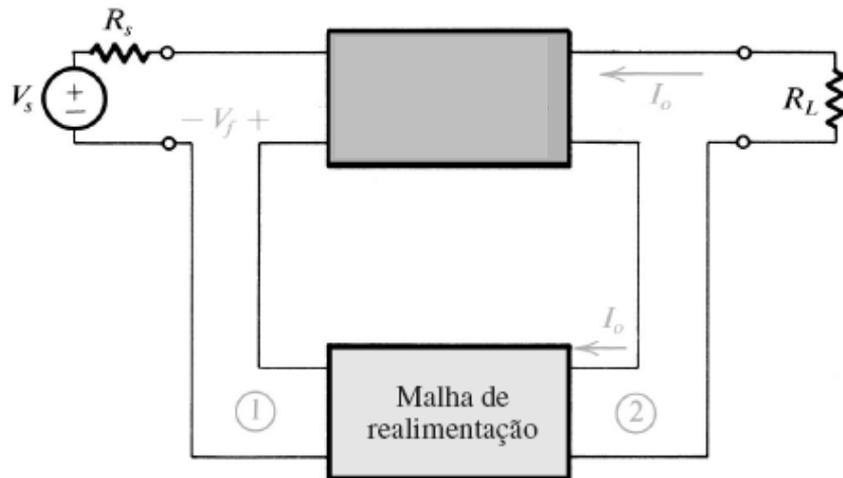
# Topologias básicas de realimentação



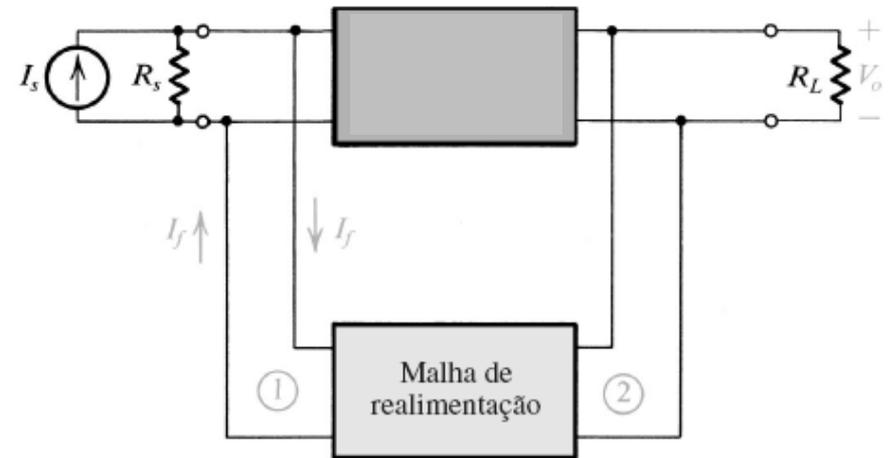
(a)



(b)



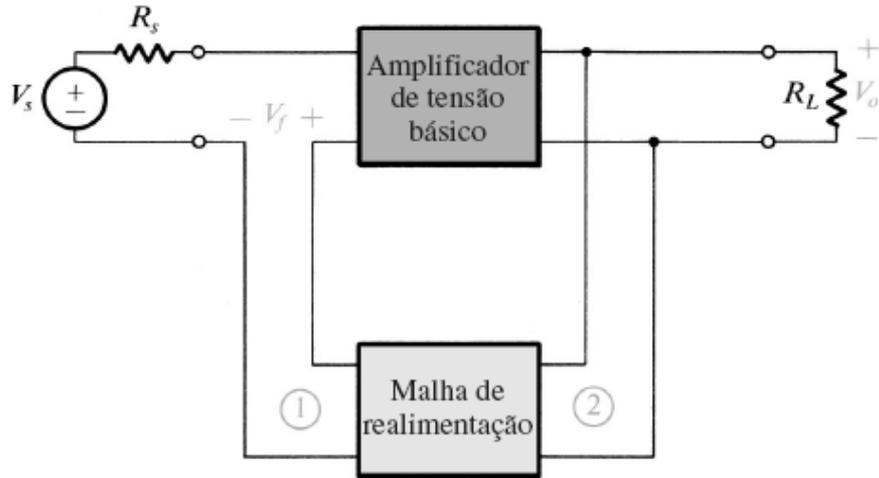
(c)



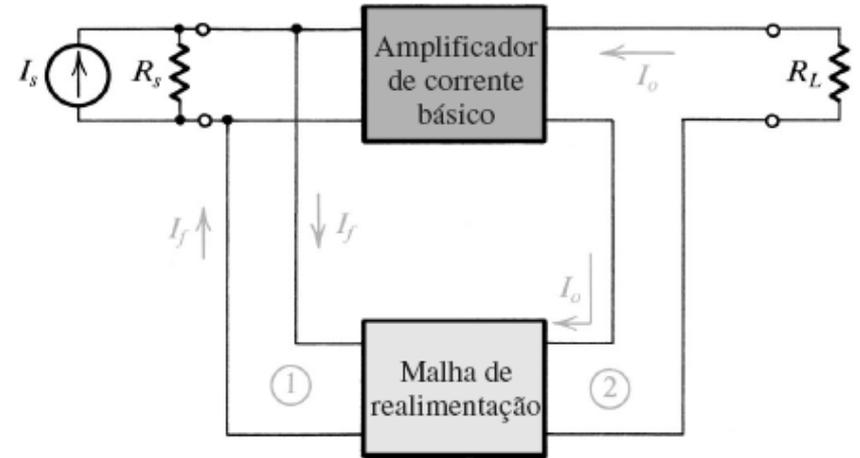
(d)

Figura 8.4 As quatro topologias básicas de realimentação: (a) composição de tensão com amostragem de tensão (série-paralelo) ; (b) composição de

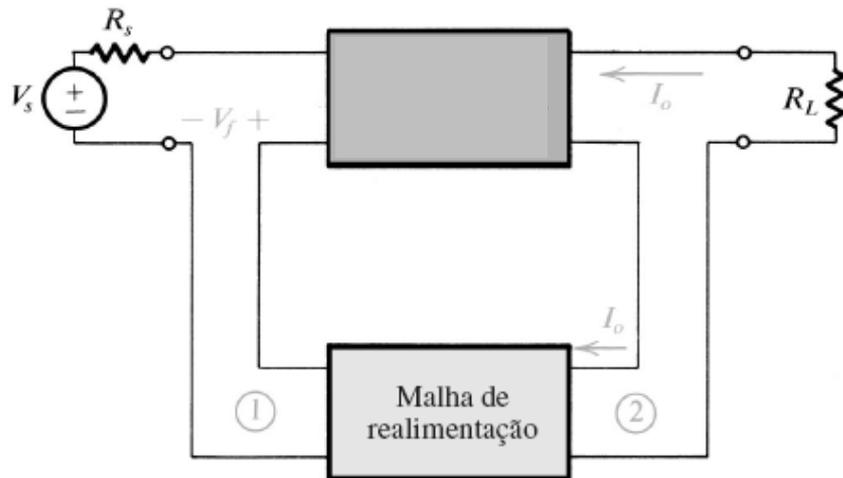
# Topologias básicas de realimentação



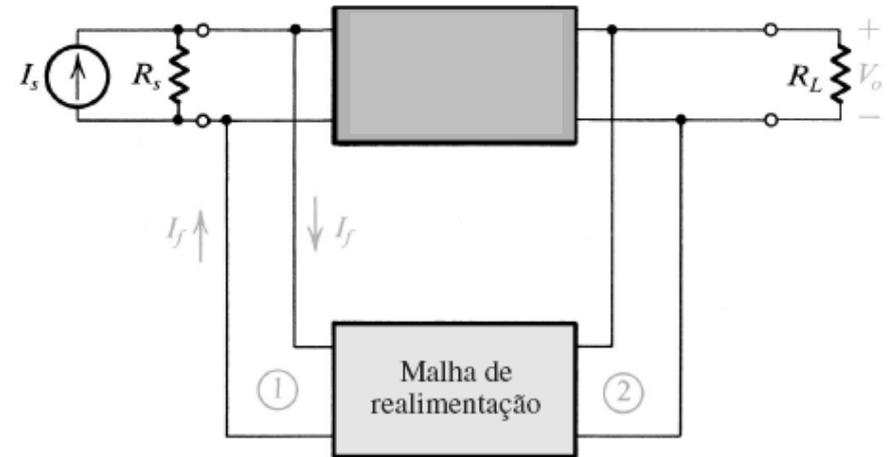
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 8.4 As quatro topologias básicas de realimentação: (a) composição de tensão com amostragem de tensão (série-paralelo) ; (b) composição de

# Topologias básicas de realimentação

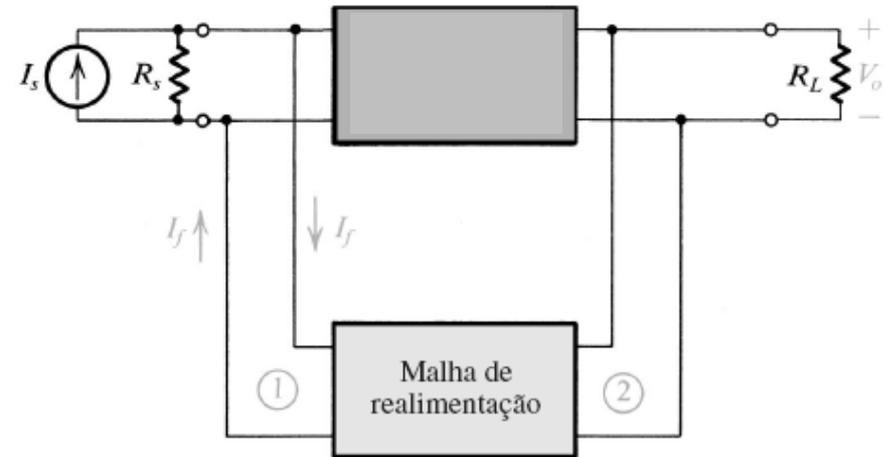
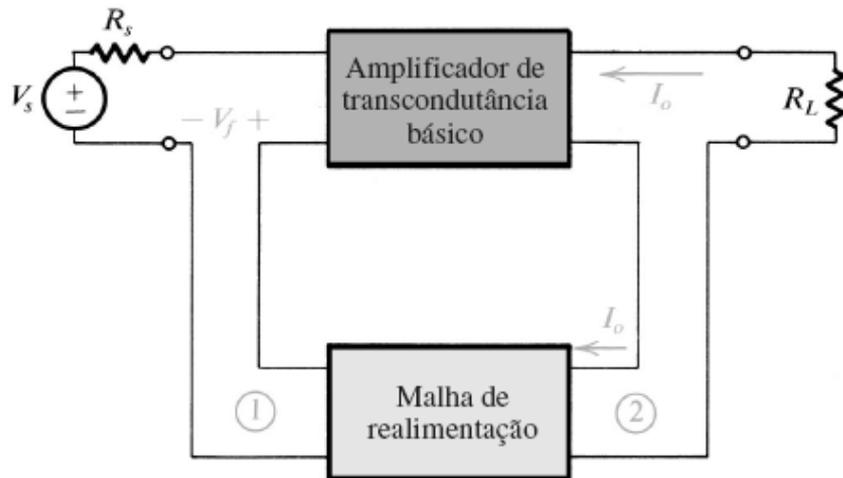
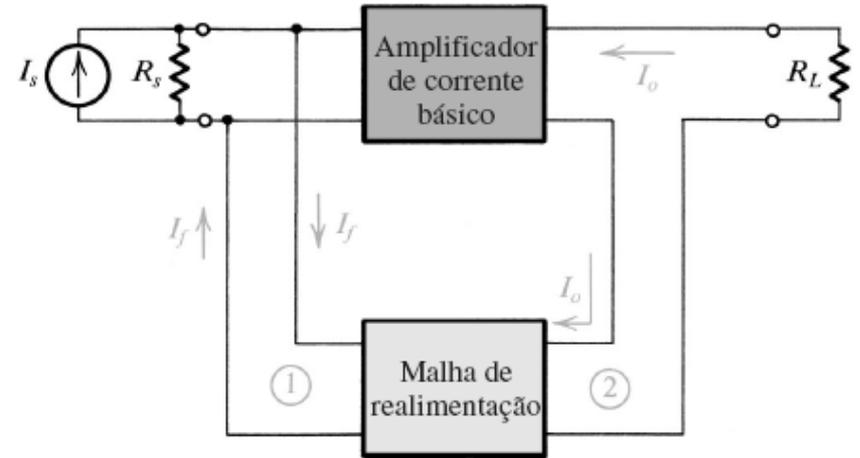
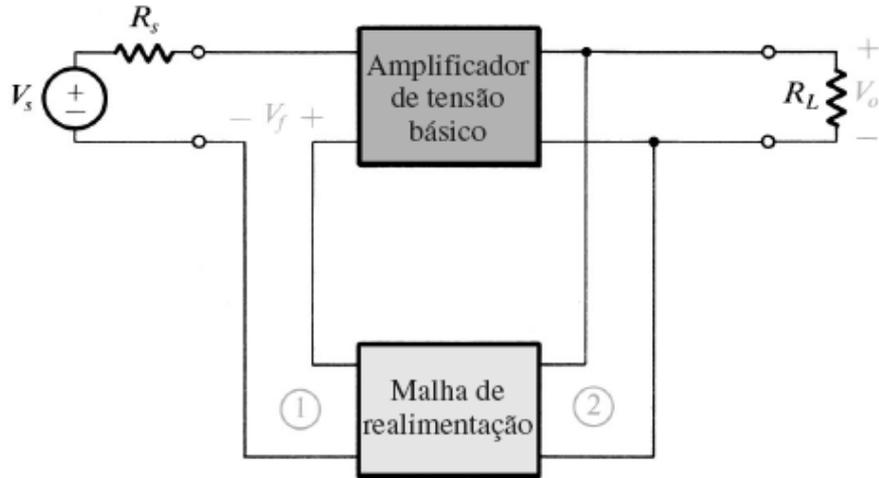


Figura 8.4 As quatro topologias básicas de realimentação: (a) composição de tensão com amostragem de tensão (série-paralelo) ; (b) composição de

# Topologias básicas de realimentação

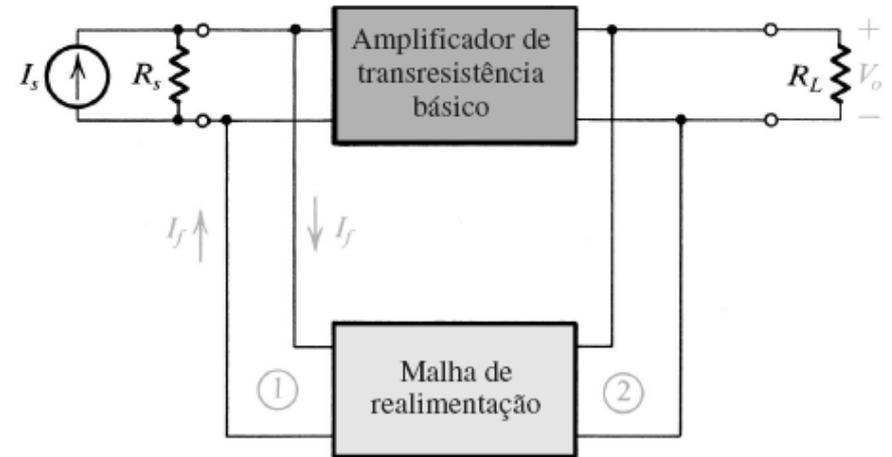
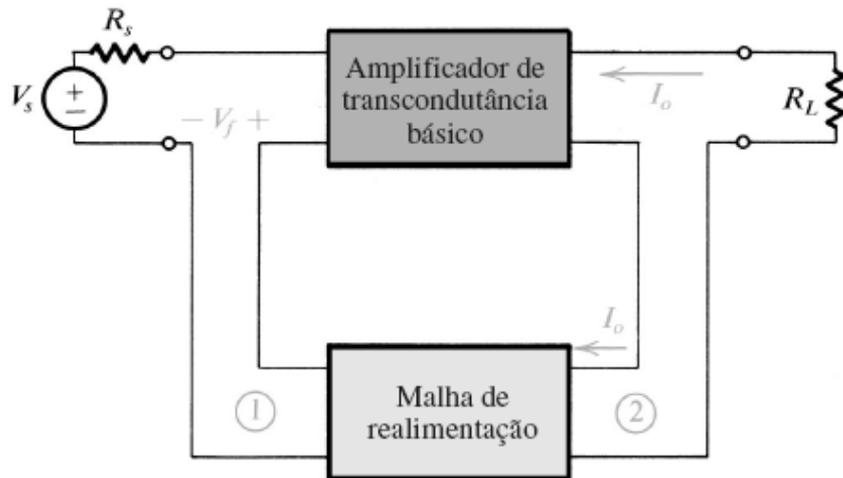
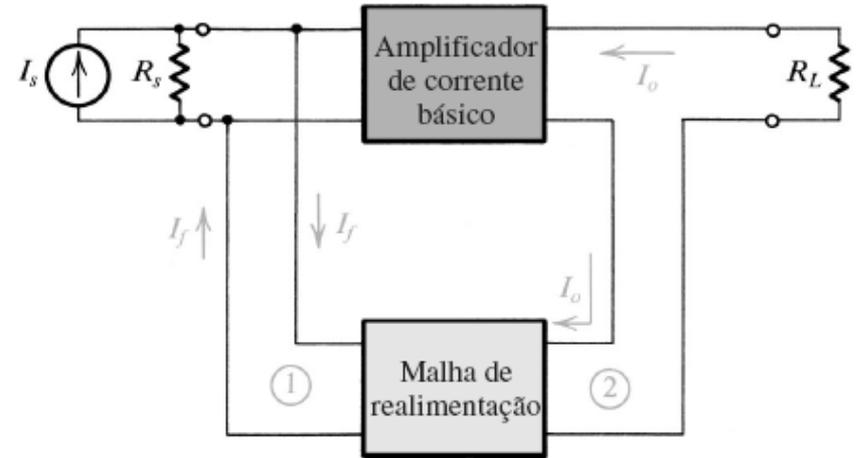
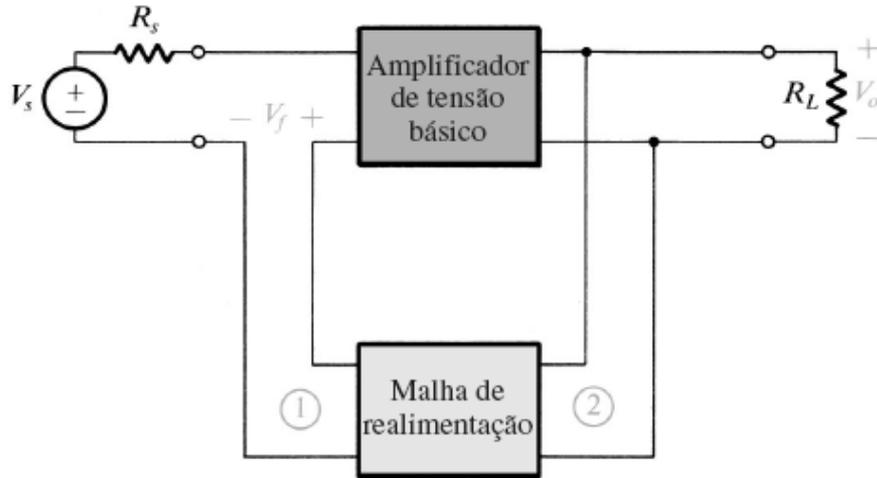
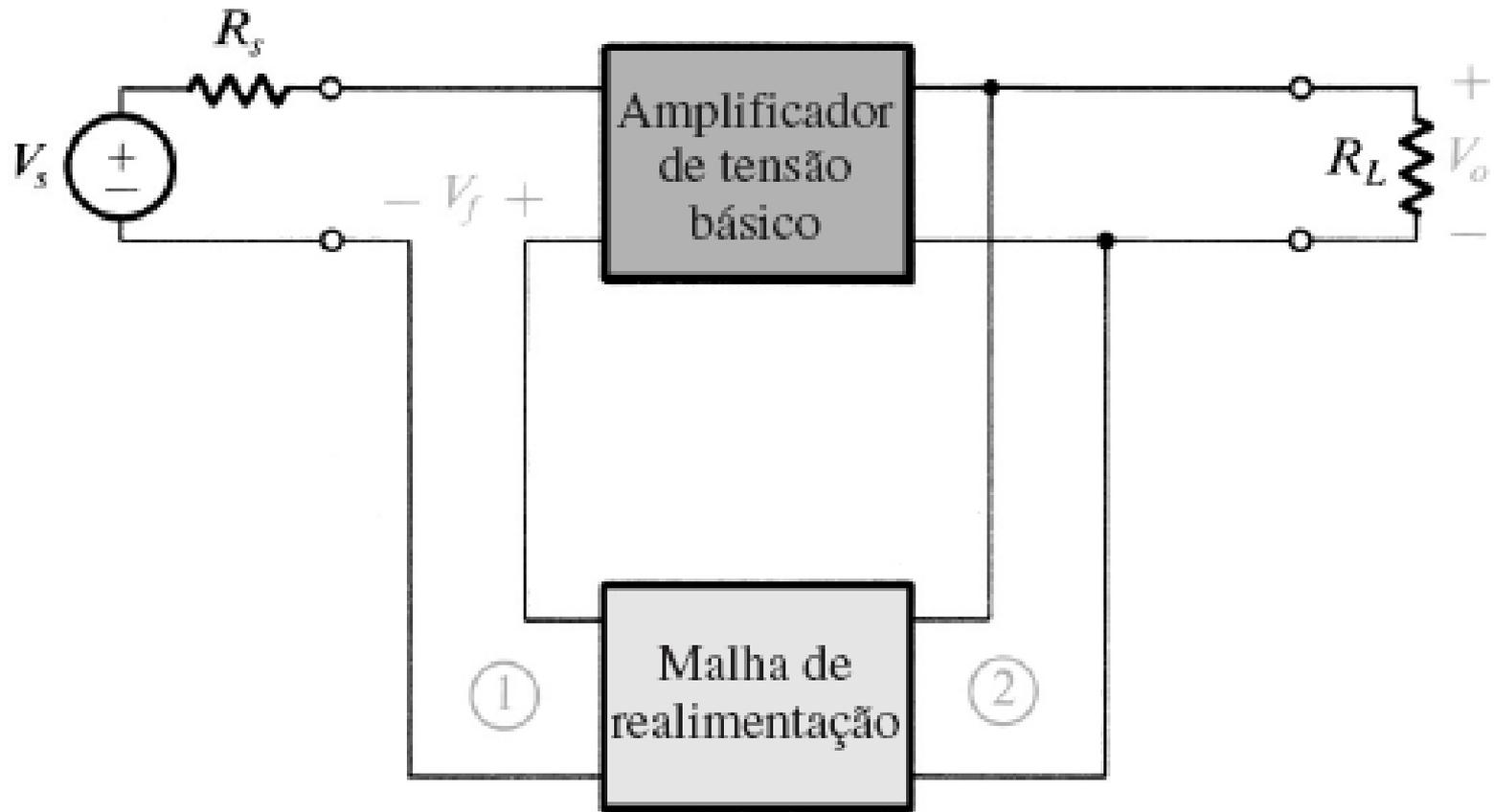


Figura 8.4 As quatro topologias básicas de realimentação: (a) composição de tensão com amostragem de tensão (série-paralelo) ; (b) composição de

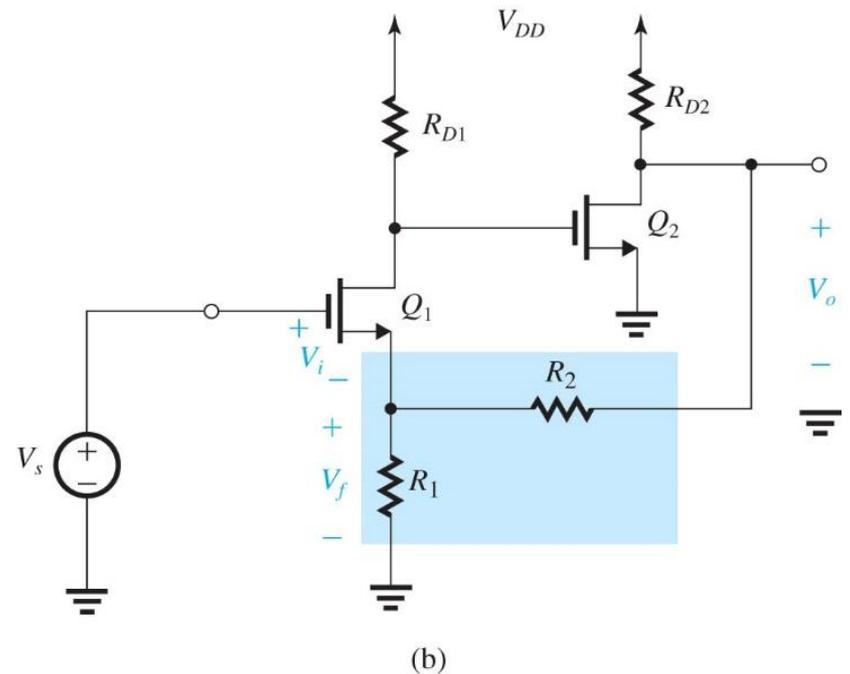
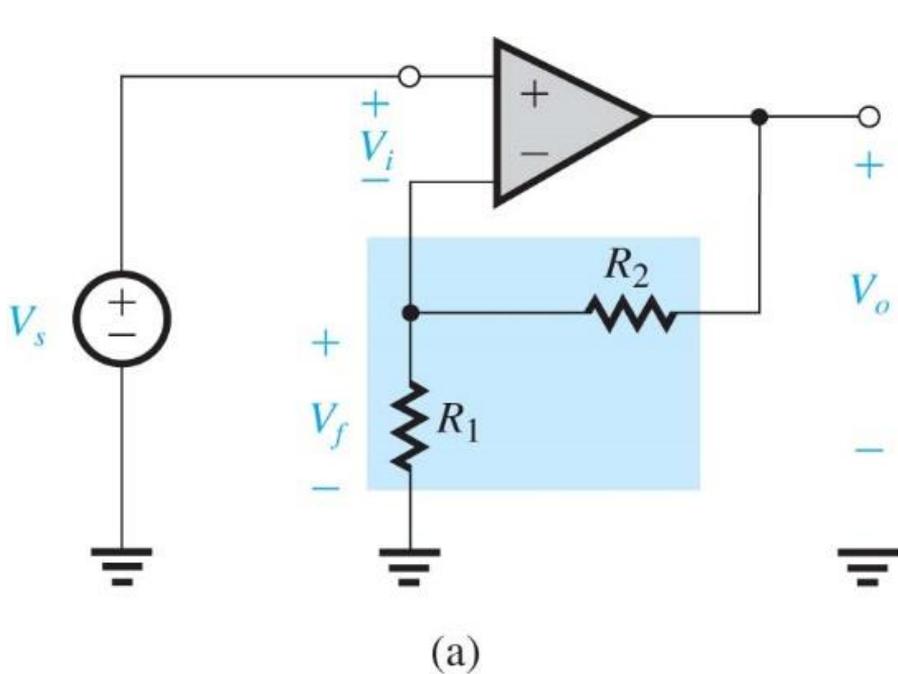
# Topologias básicas de realimentação

## Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo



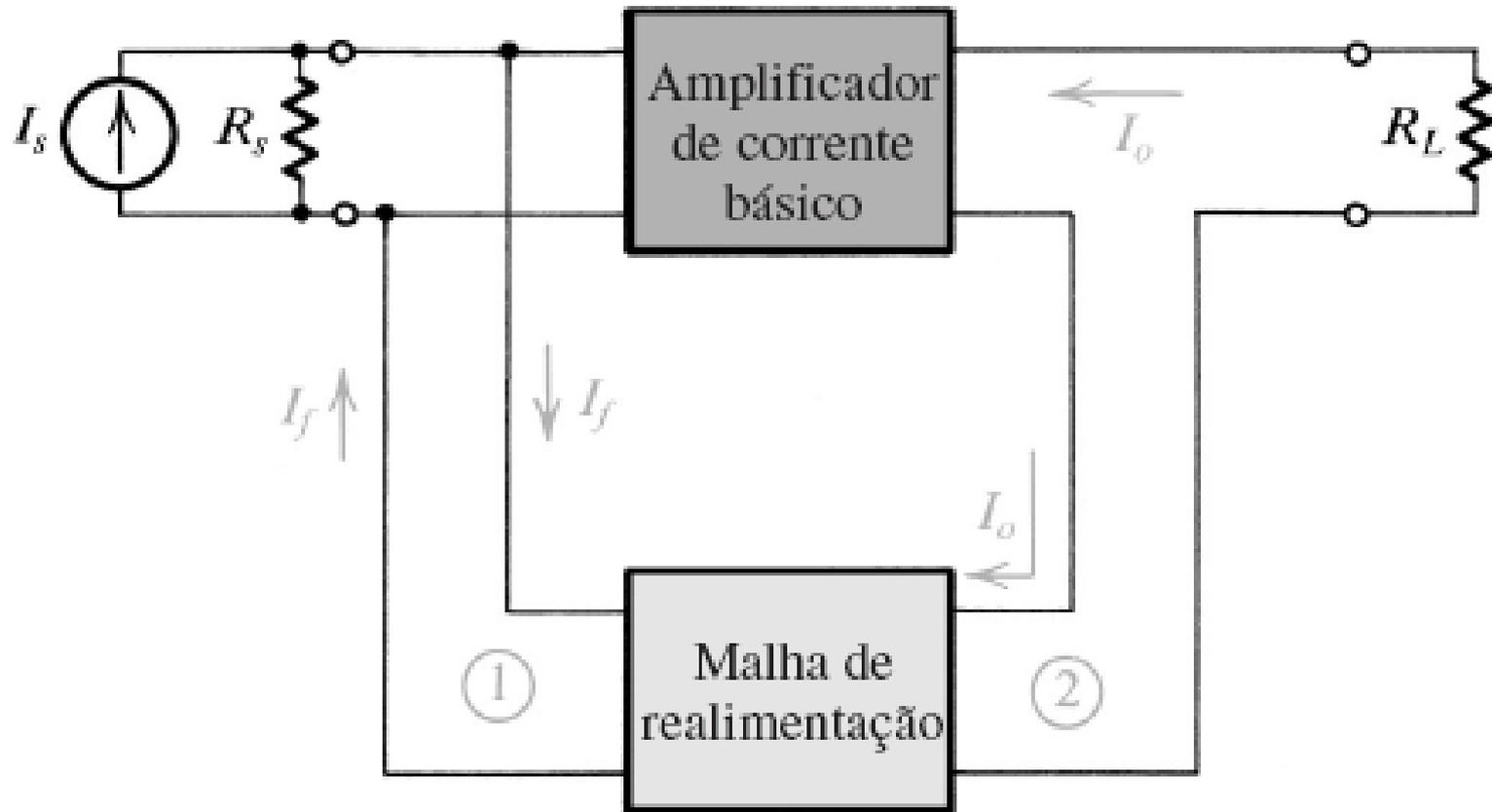
# Topologias básicas de realimentação

## Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo



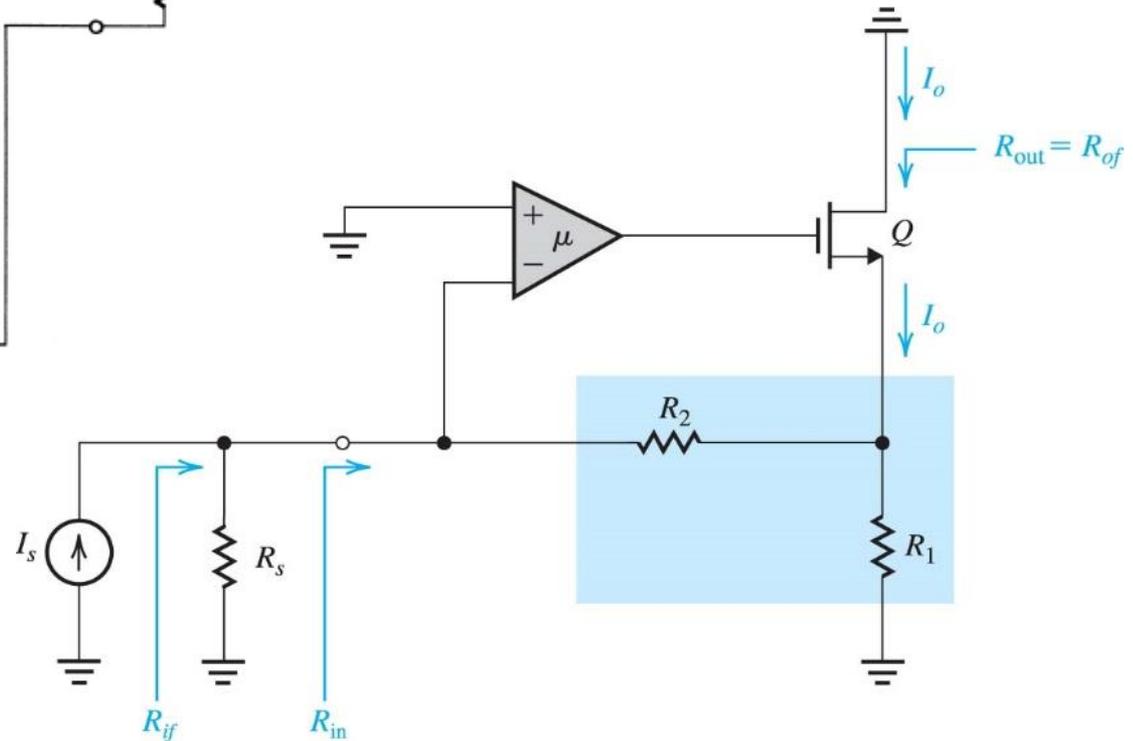
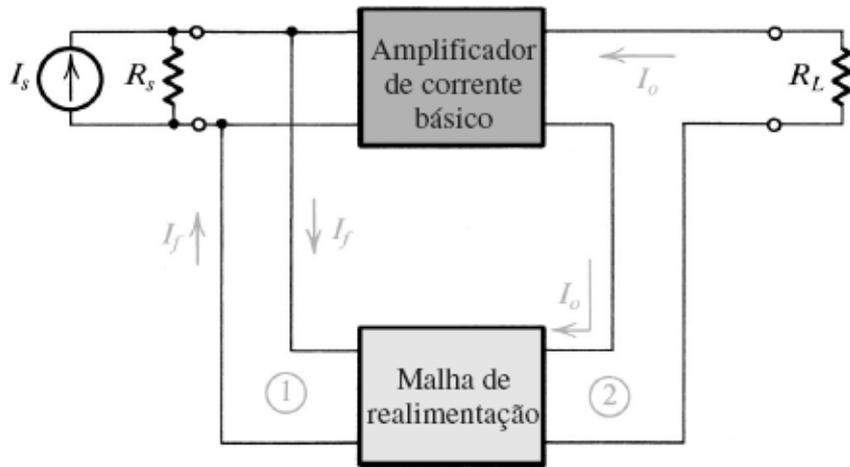
# Topologias básicas de realimentação

## Amplificador de Corrente: Topologia paralelo-série



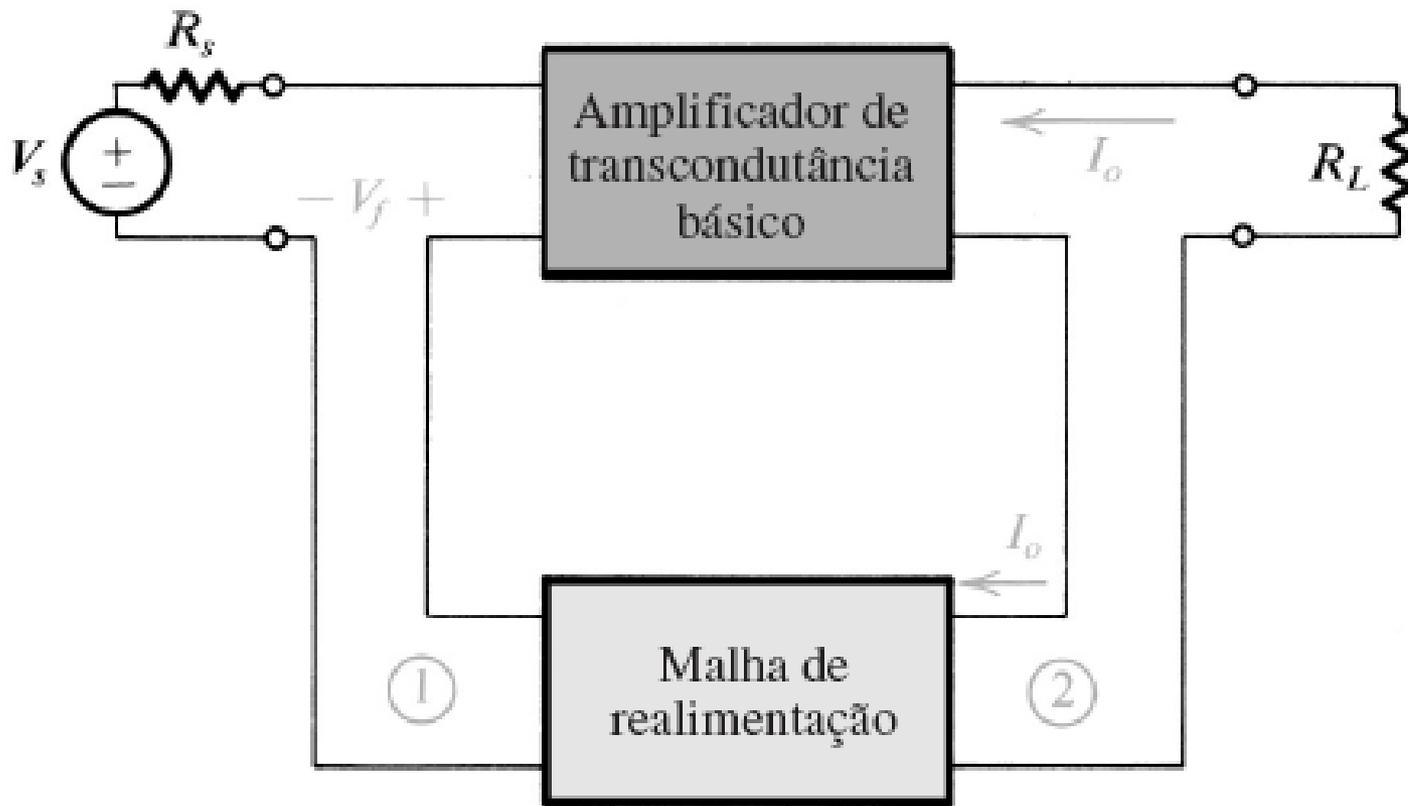
# Topologias básicas de realimentação

## Amplificador de Corrente: Topologia paralelo-série

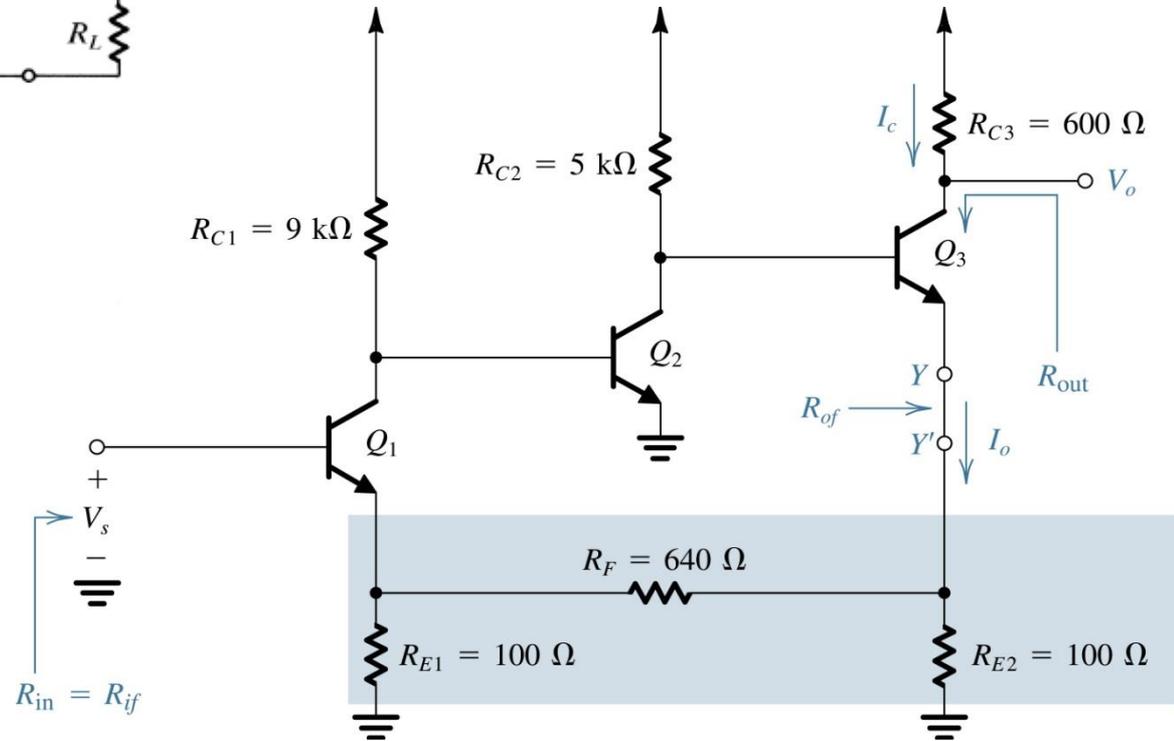
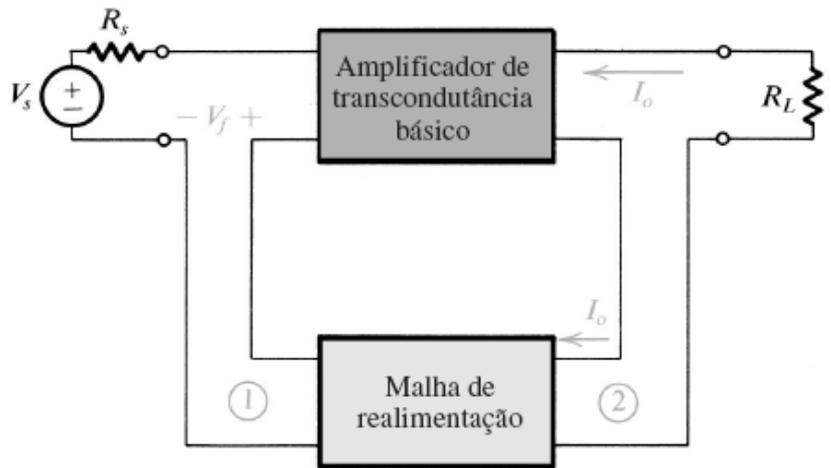


# Topologias básicas de realimentação

## Amplificador de Transcondutância: Topologia série-série

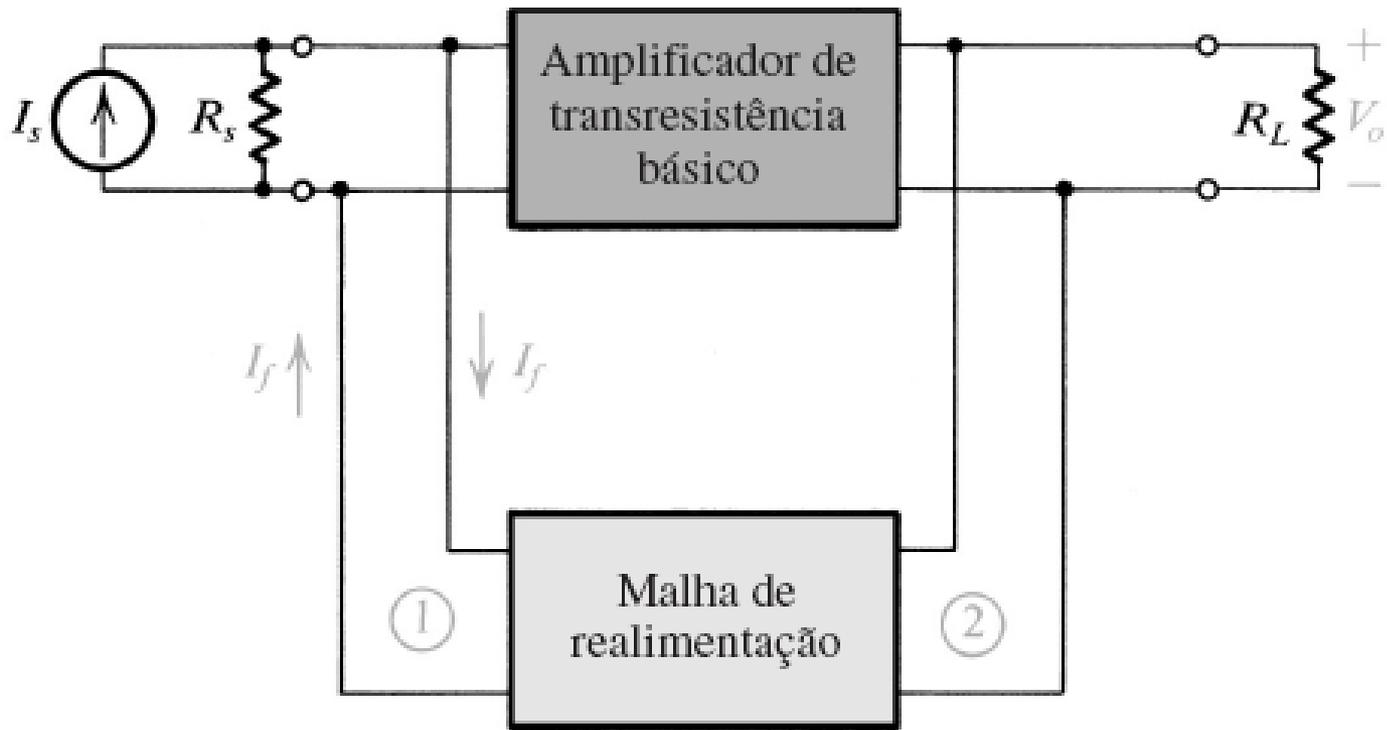


## Amplificador de Transcondutância: Topologia série-série



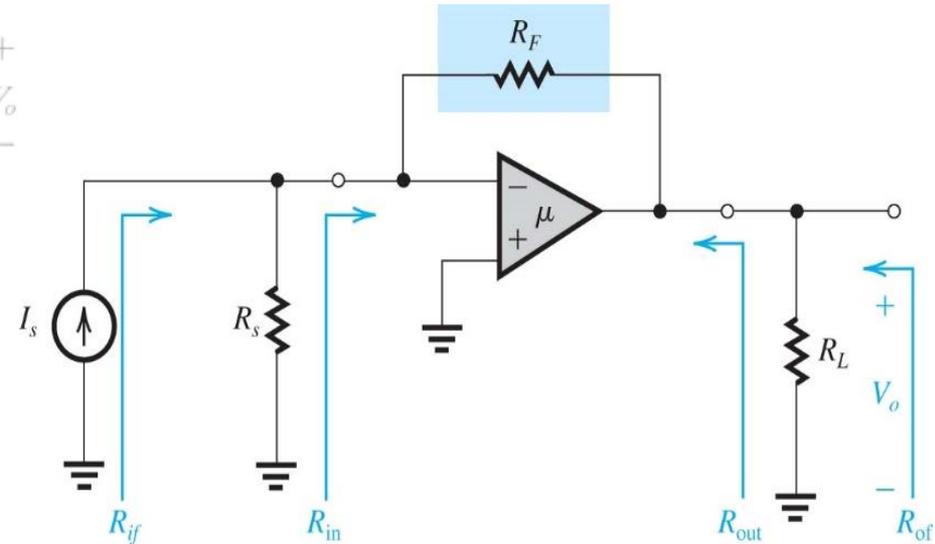
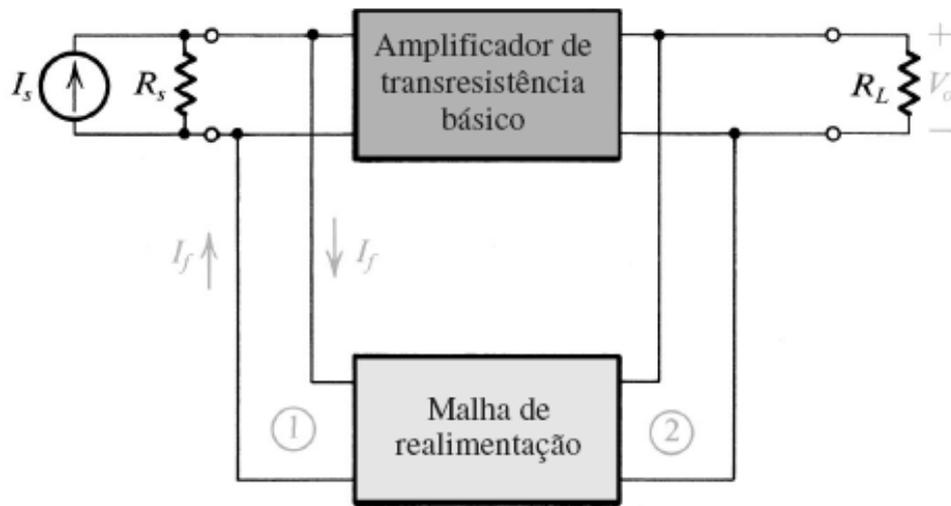
# Topologias básicas de realimentação

## Amplificador de Transresistância: Topologia paralelo-paralelo

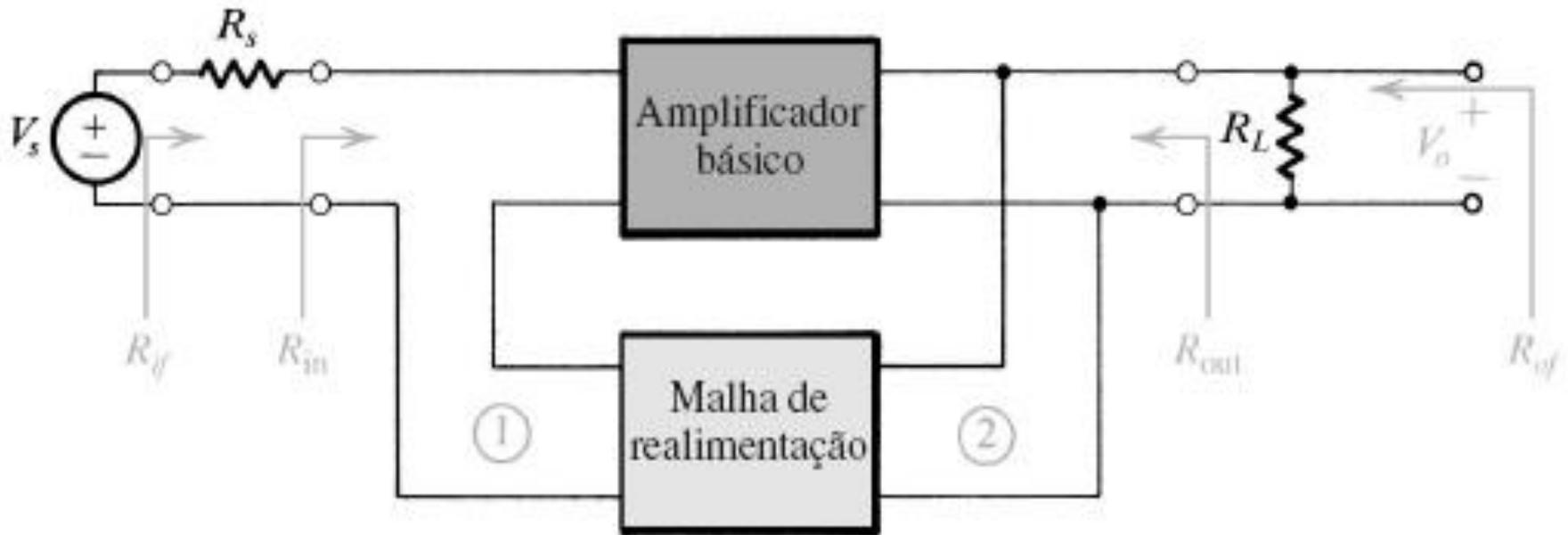


# Topologias básicas de realimentação

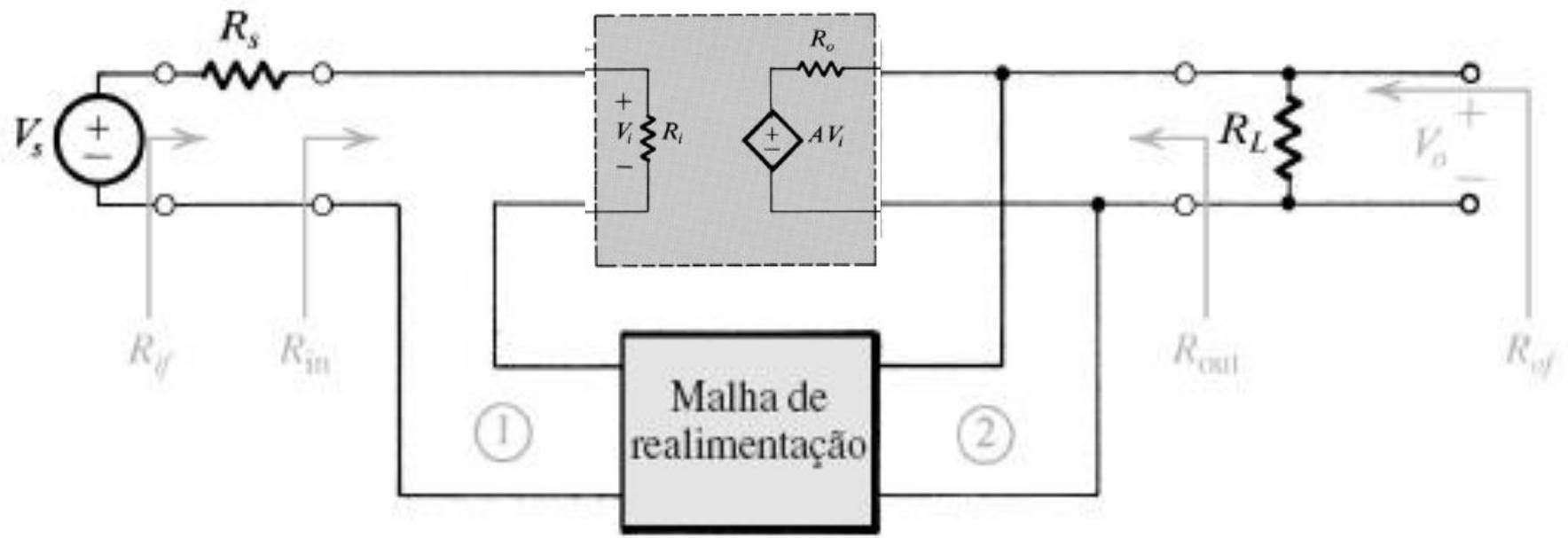
## Amplificador de Transresistância: Topologia paralelo-paralelo



# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

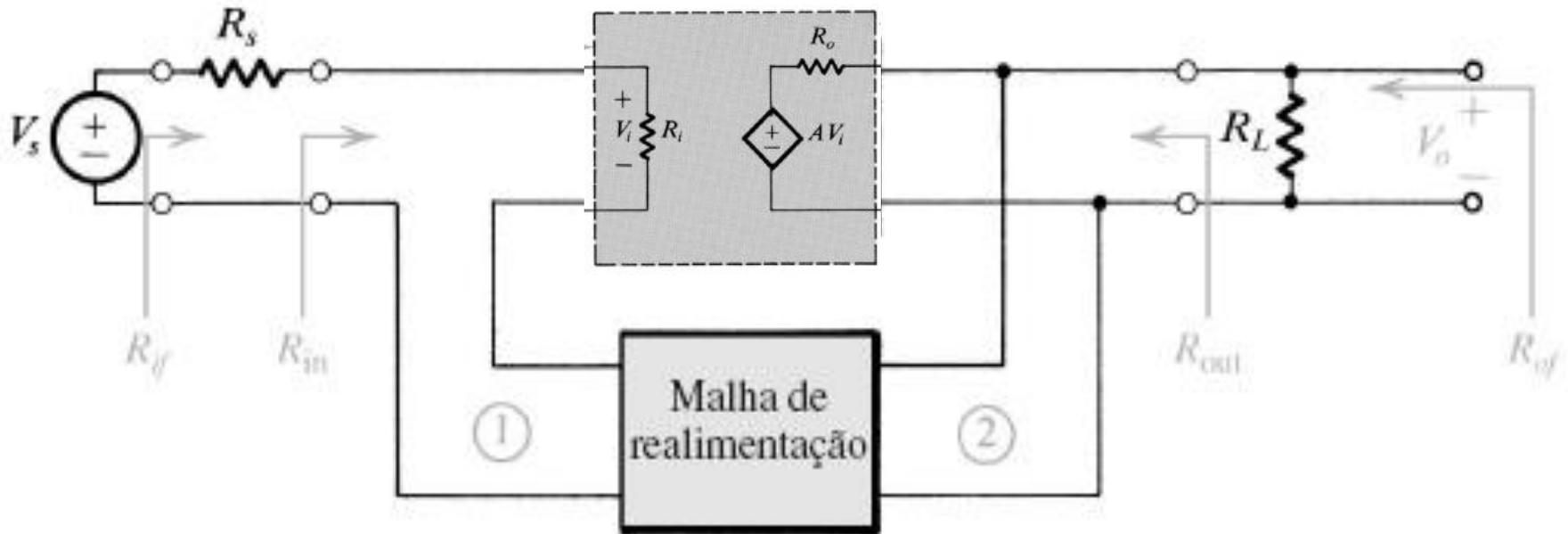


# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo



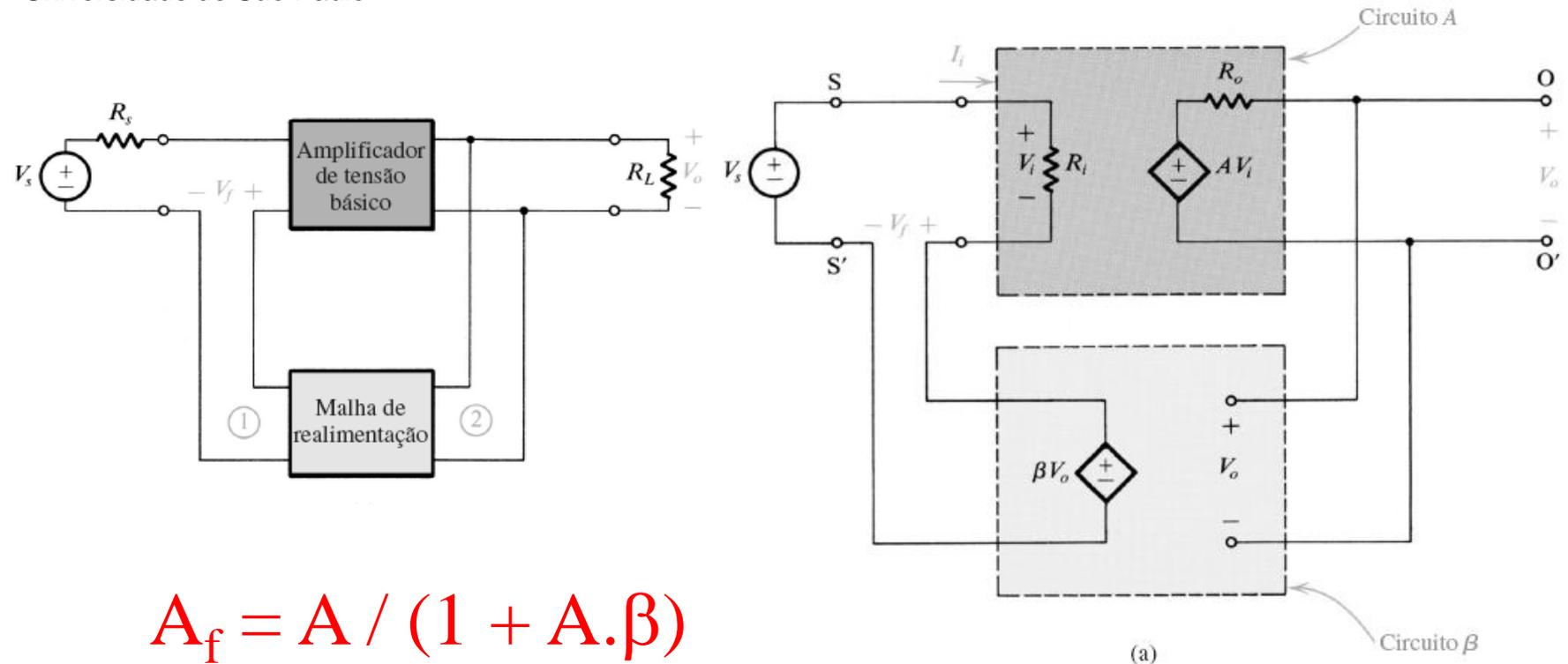
# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso ideal:  $R_s = 0$ ,  $R_L = \infty$ , Malha de realimentação ideal



# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

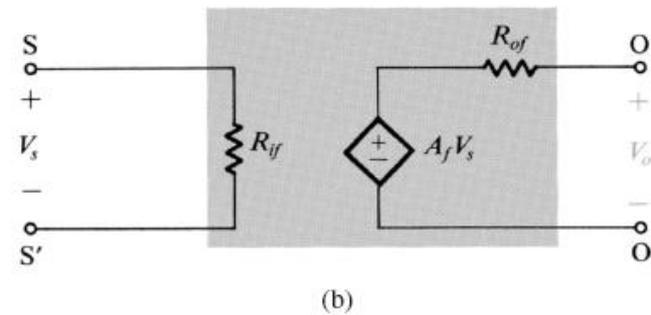
Caso ideal:  $R_s = 0$ ,  $R_L = \infty$ , Malha de realimentação ideal



$$A_f = A / (1 + A \cdot \beta)$$

$$R_{if} = ?$$

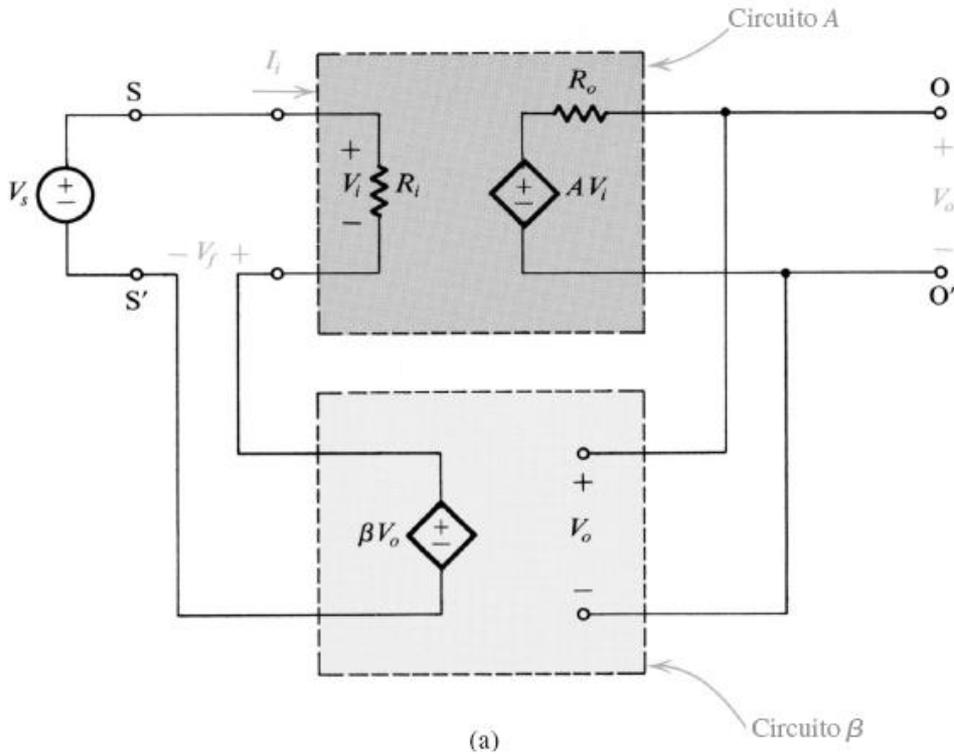
$$R_{of} = ?$$



# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso ideal:  $R_s = 0$ ,  $R_L = \infty$ , Malha de realimentação ideal

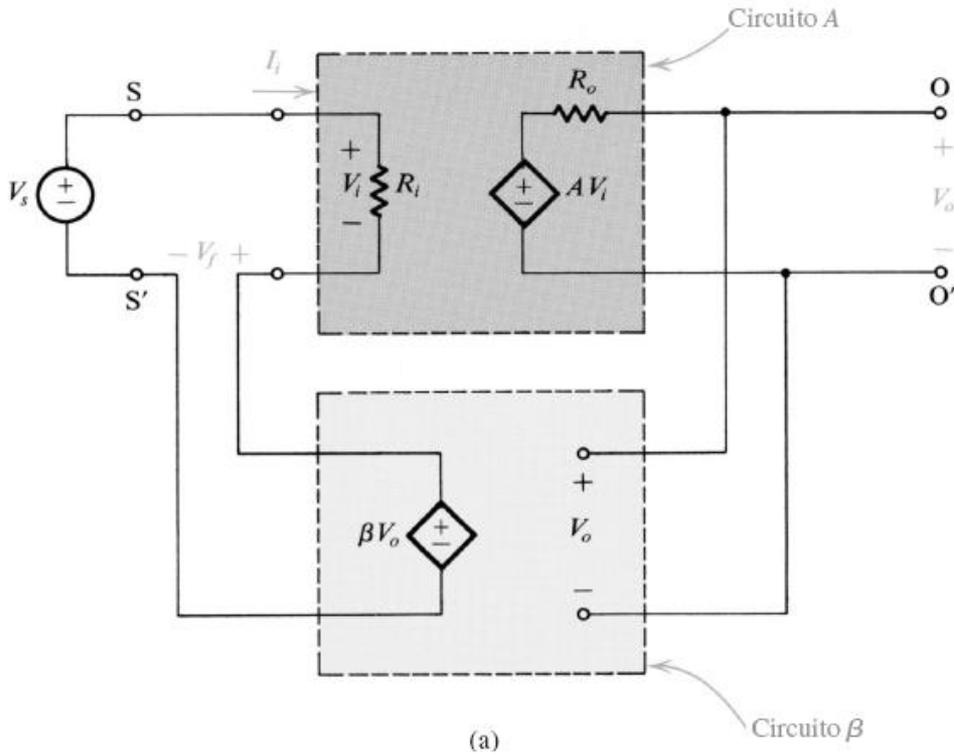
$$R_{if} = ?$$



# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

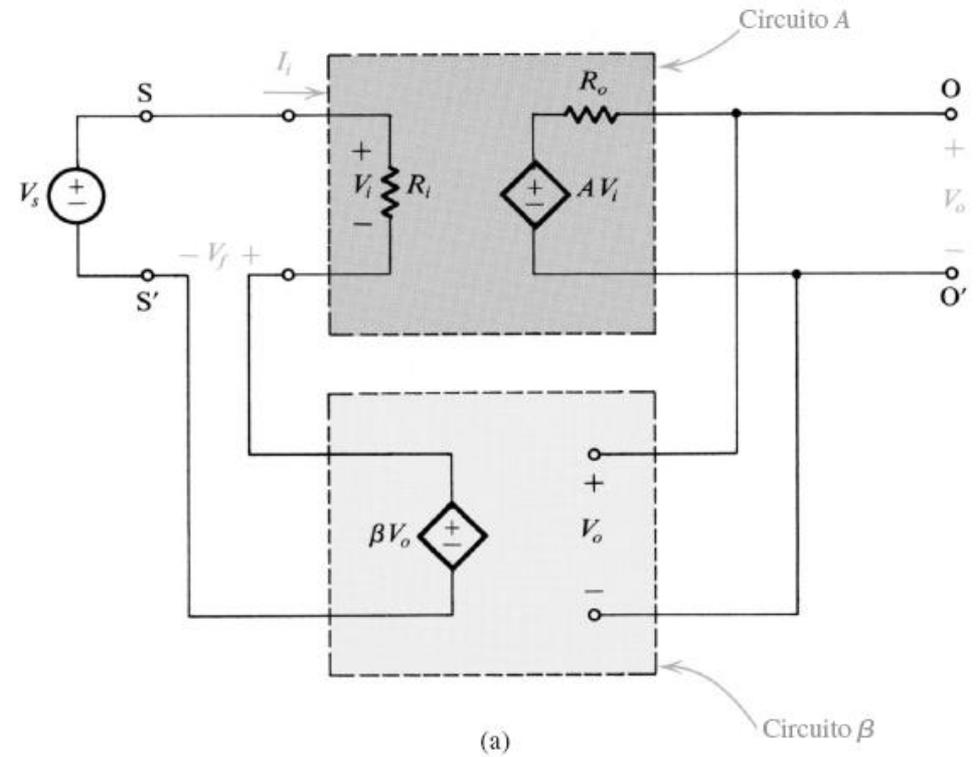
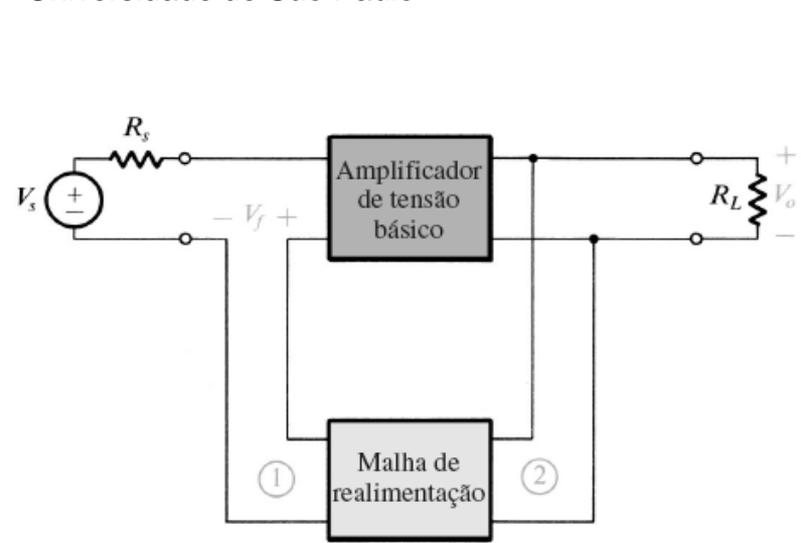
Caso ideal:  $R_s = 0$ ,  $R_L = \infty$ , Malha de realimentação ideal

$$R_{of} = ?$$



# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

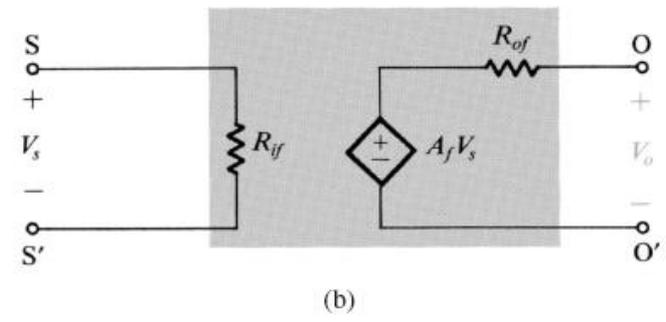
Caso ideal:  $R_s = 0$ ,  $R_L = \infty$ , Malha de realimentação ideal



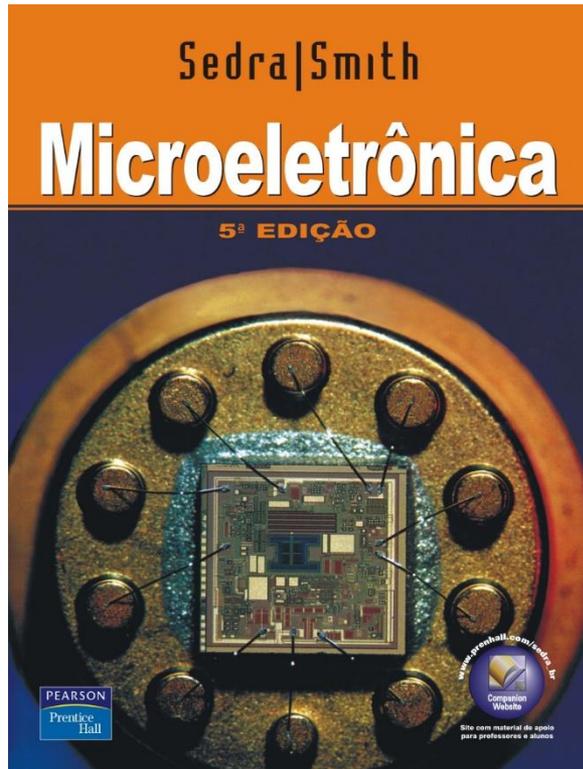
$$A_f = A / (1 + A \cdot \beta)$$

$$R_{if} = R_i \cdot (1 + A \cdot \beta)$$

$$R_{of} = R_o / (1 + A \cdot \beta)$$



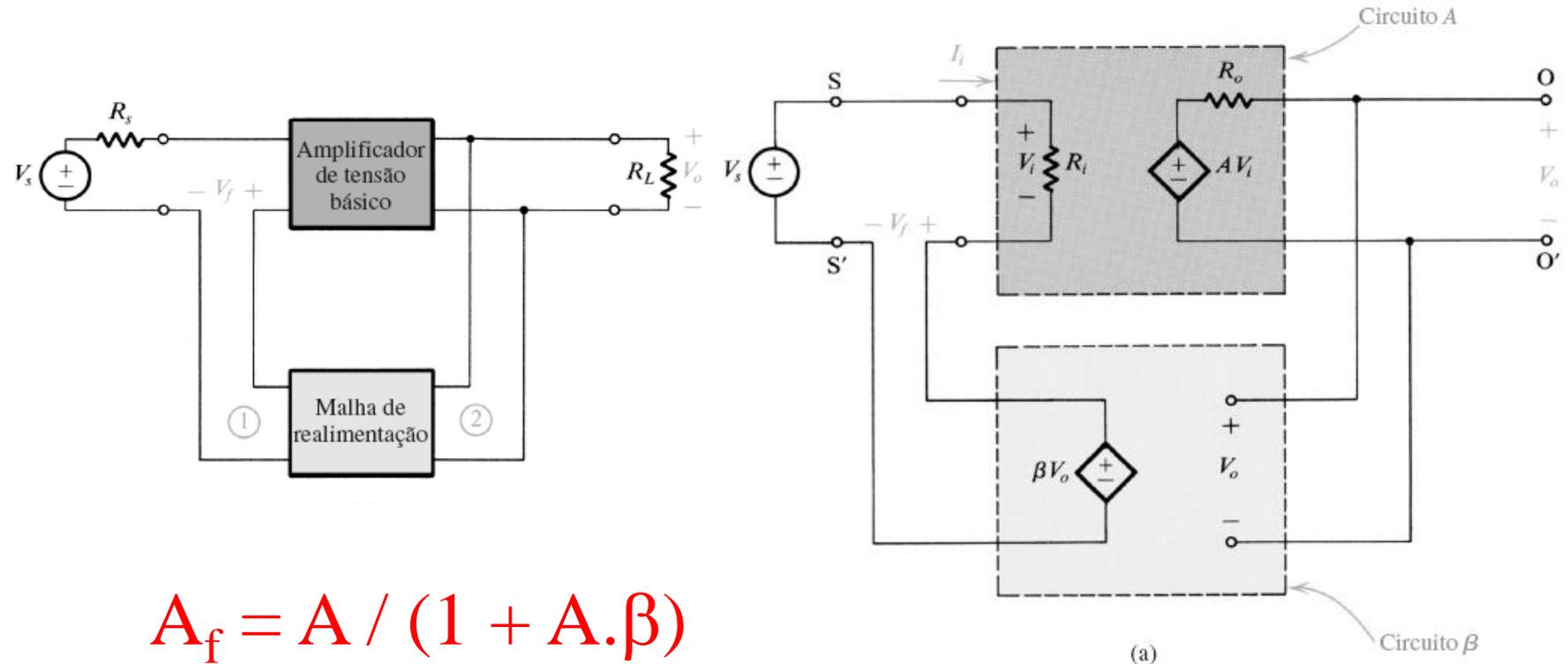
**AULA 24**



**Cap. 8- Amplificador de Tensão:  
Topologia série-paralelo.  
Caso Real  
(p. 498-502)**

# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

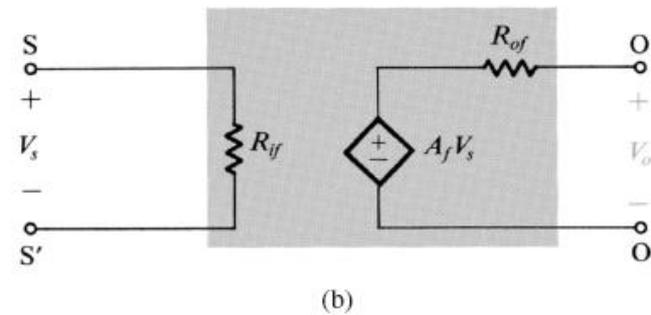
Caso ideal:  $R_s = 0$ ,  $R_L = \infty$ , Malha de realimentação ideal



$$A_f = A / (1 + A \cdot \beta)$$

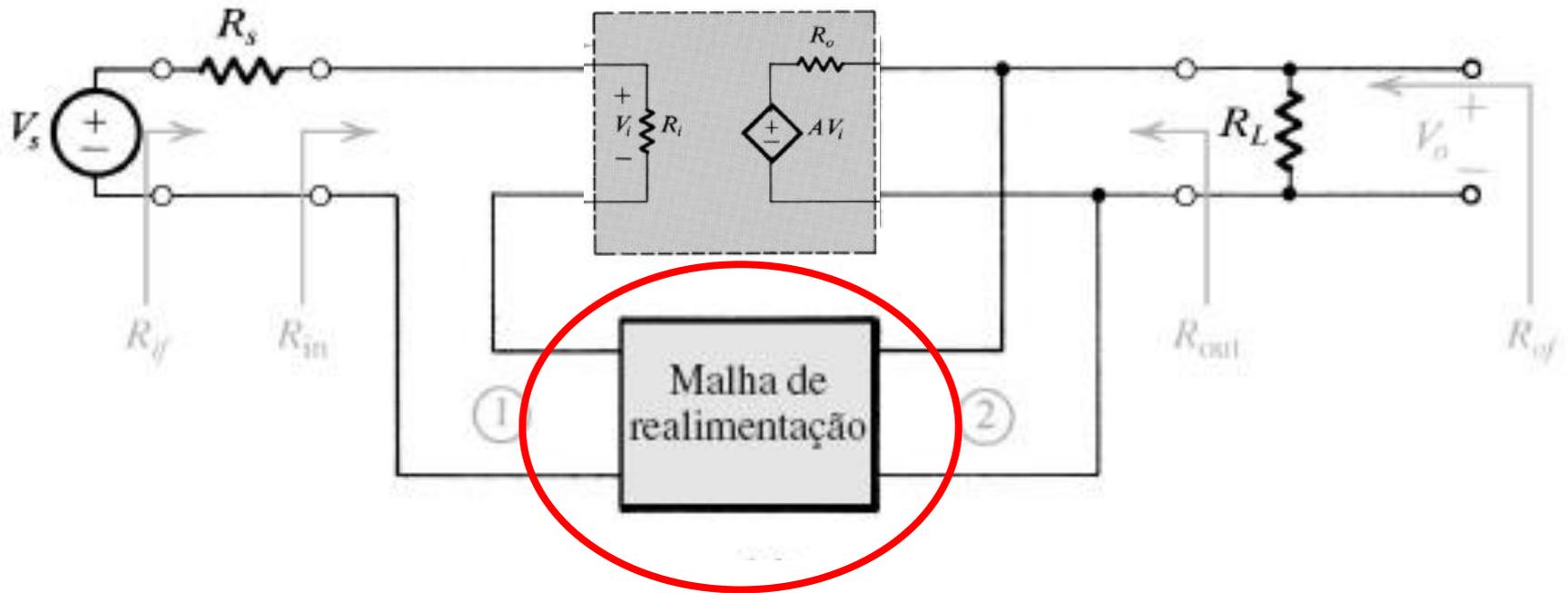
$$R_{if} = R_i \cdot (1 + A \cdot \beta)$$

$$R_{of} = R_o / (1 + A \cdot \beta)$$



# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real



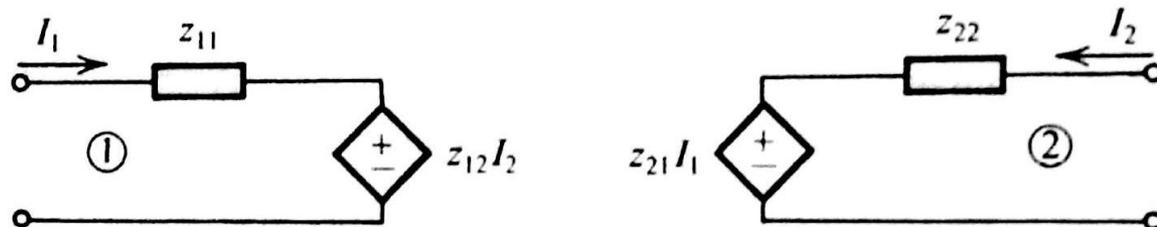
# Malha de realimentação REAL

## Parâmetros de Redes Lineares de 2 acessos (quadripolos)



### Parâmetros z (impedância):

$$\begin{cases} V_1 = z_{11} \cdot I_1 + z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 = z_{21} \cdot I_1 + z_{22} \cdot I_2 \end{cases}$$



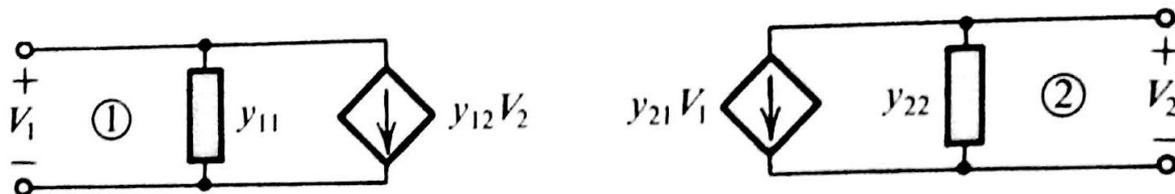
# Malha de realimentação REAL

## Parâmetros de Redes Lineares de 2 acessos (quadripolos)



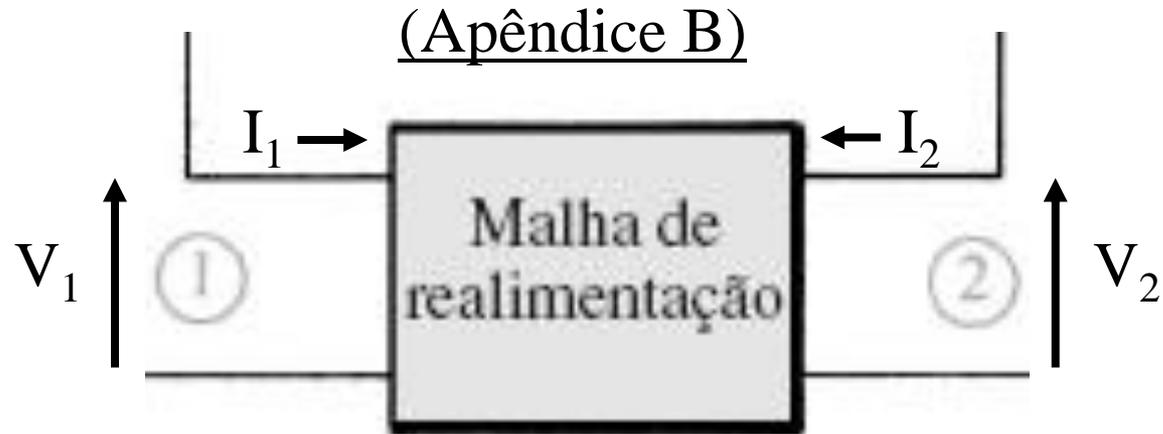
### Parâmetros $y$ (admitância):

$$\begin{cases} I_1 = y_{11} \cdot V_1 + y_{12} \cdot V_2 \\ I_2 = y_{21} \cdot V_1 + y_{22} \cdot V_2 \end{cases}$$



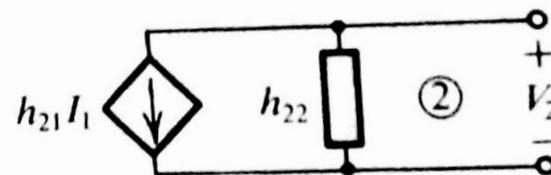
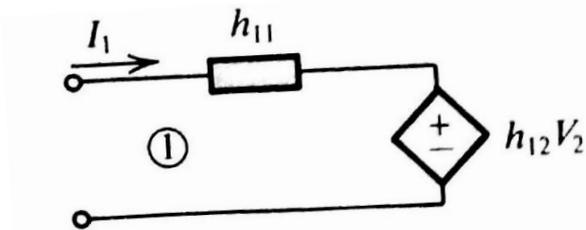
# Malha de realimentação REAL

## Parâmetros de Redes Lineares de 2 acessos (quadripolos)



### Parâmetros h (híbrida):

$$\begin{cases} V_1 = h_{11} \cdot I_1 + h_{12} \cdot V_2 \\ I_2 = h_{21} \cdot I_1 + h_{22} \cdot V_2 \end{cases}$$



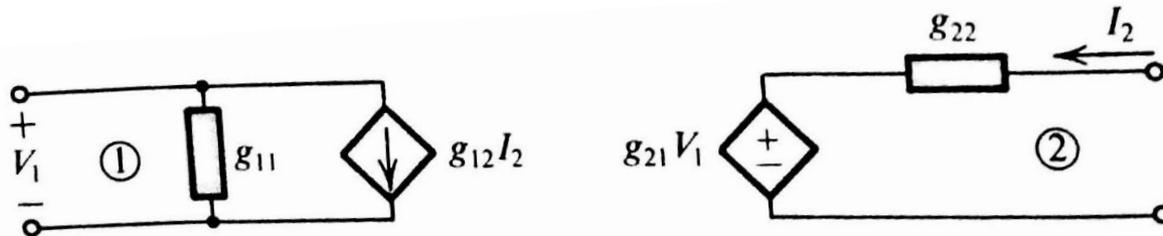
# Malha de realimentação REAL

## Parâmetros de Redes Lineares de 2 acessos (quadripolos)



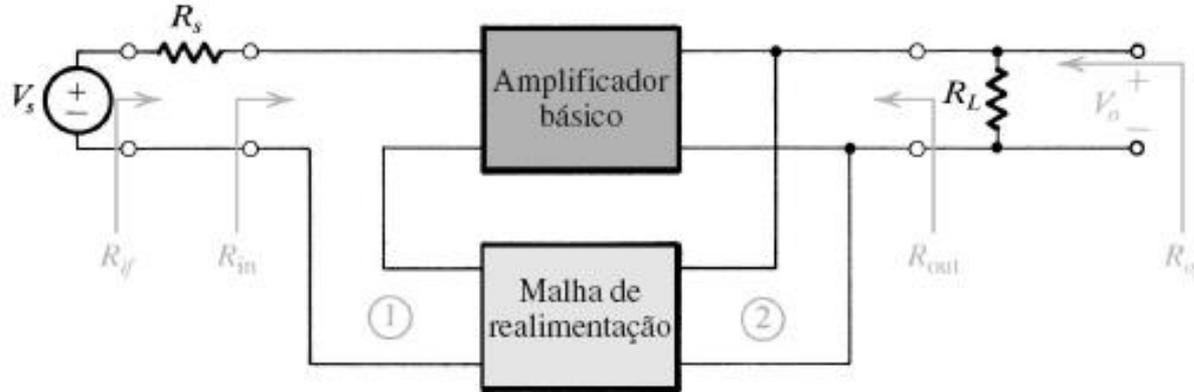
### Parâmetros g (híbrida inversa):

$$\begin{cases} I_1 = g_{11} \cdot V_1 + g_{12} \cdot I_2 \\ V_2 = g_{21} \cdot V_1 + g_{22} \cdot I_2 \end{cases}$$

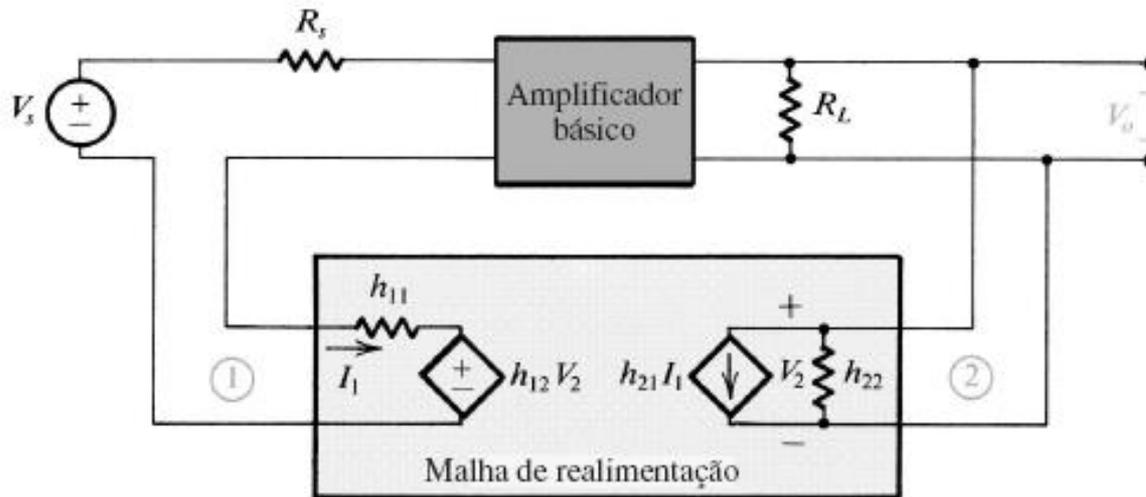


# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real



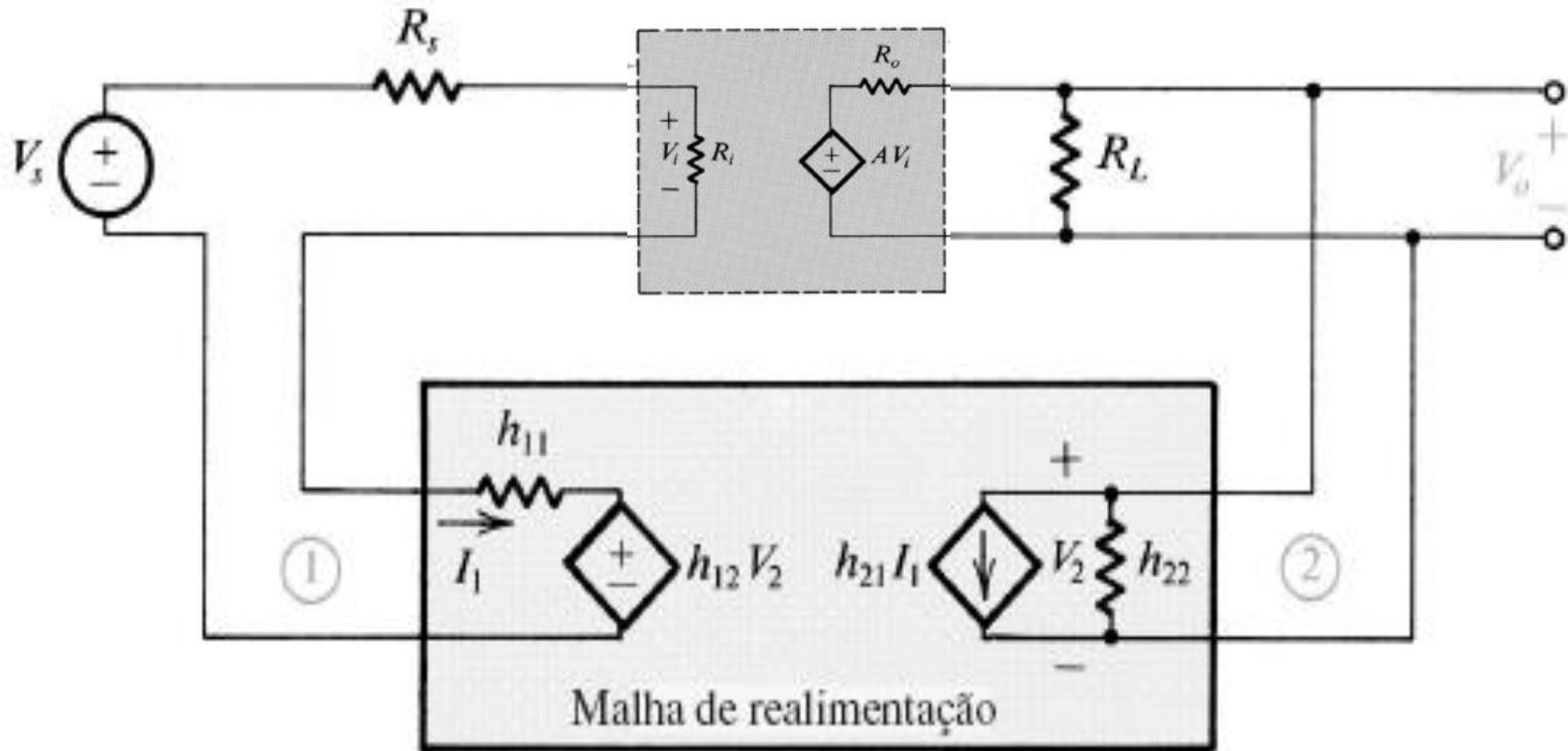
(a)



(b)

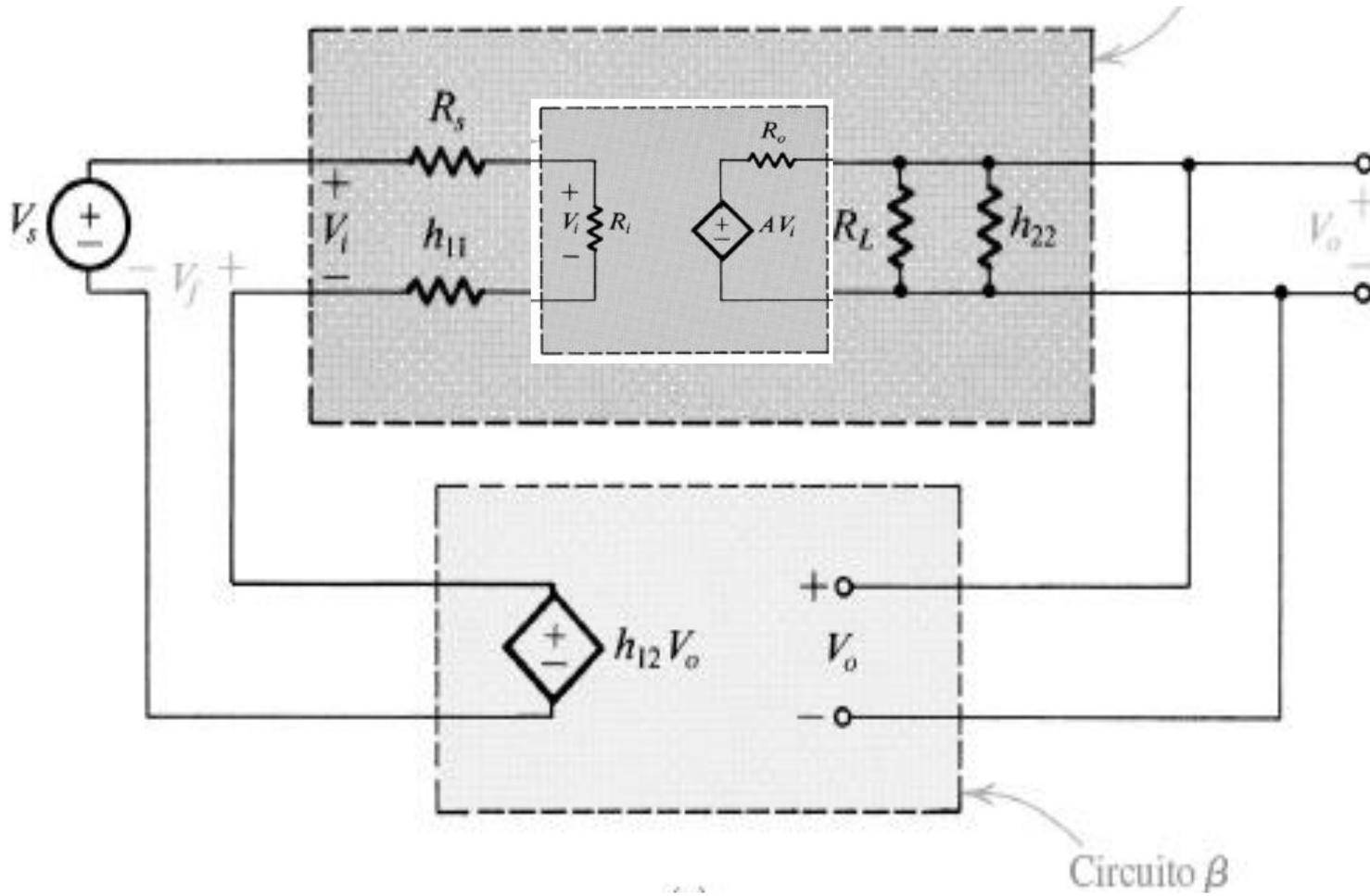
# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real



# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

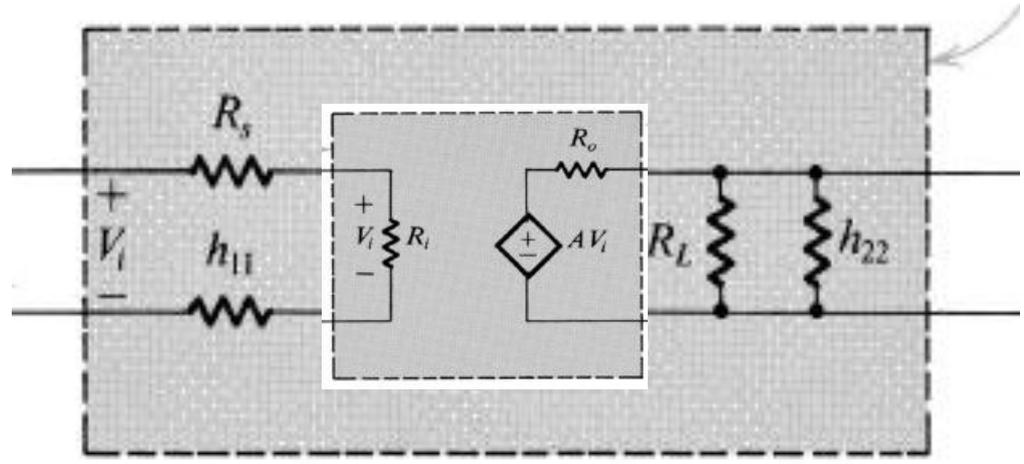
Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real



$$|h_{21}|_{\text{realimentação}} \ll |h_{21}|_{\text{ampl. básico}}$$

# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real



# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real

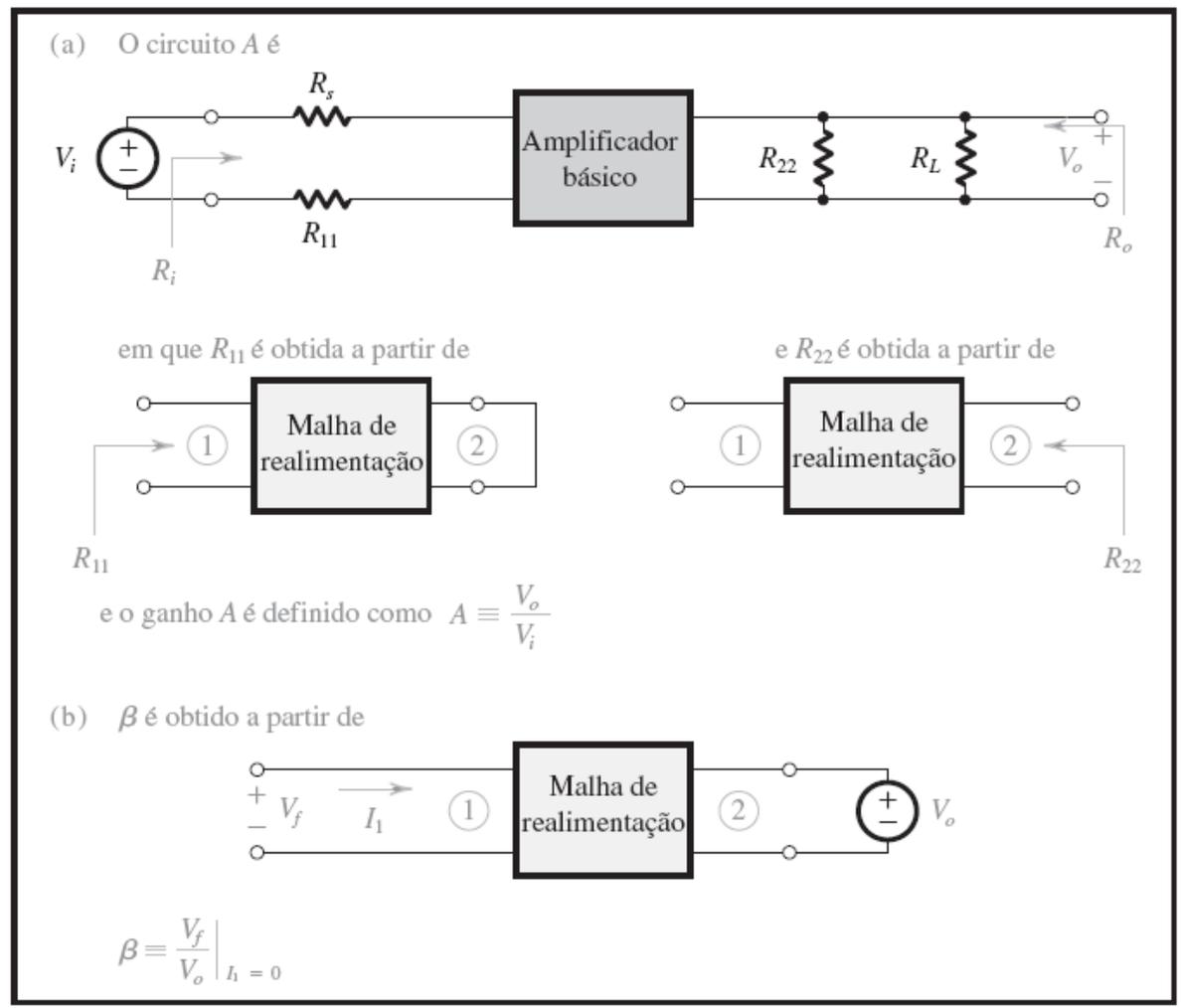
$$\begin{cases} V_1 = h_{11} \cdot I_1 + h_{12} \cdot V_2 \\ I_2 = h_{21} \cdot I_1 + h_{22} \cdot V_2 \end{cases}$$

$$R_{11} = h_{11} =$$

$$\beta = h_{12} =$$

$$h_{21} =$$

$$\frac{1}{R_{22}} = h_{22} =$$



**Figura 8.11** Resumo das regras para determinar os circuitos A e  $\beta$  para o caso da realimentação série-paralelo da Figura 8.10(a).

# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real

$$\begin{cases} V_1 = h_{11} \cdot I_1 + h_{12} \cdot V_2 \\ I_2 = h_{21} \cdot I_1 + h_{22} \cdot V_2 \end{cases}$$

$$R_{11} = h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0}$$

$$\beta = h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0}$$

$$h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{V_2=0}$$

$$\frac{1}{R_{22}} = h_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{I_1=0}$$

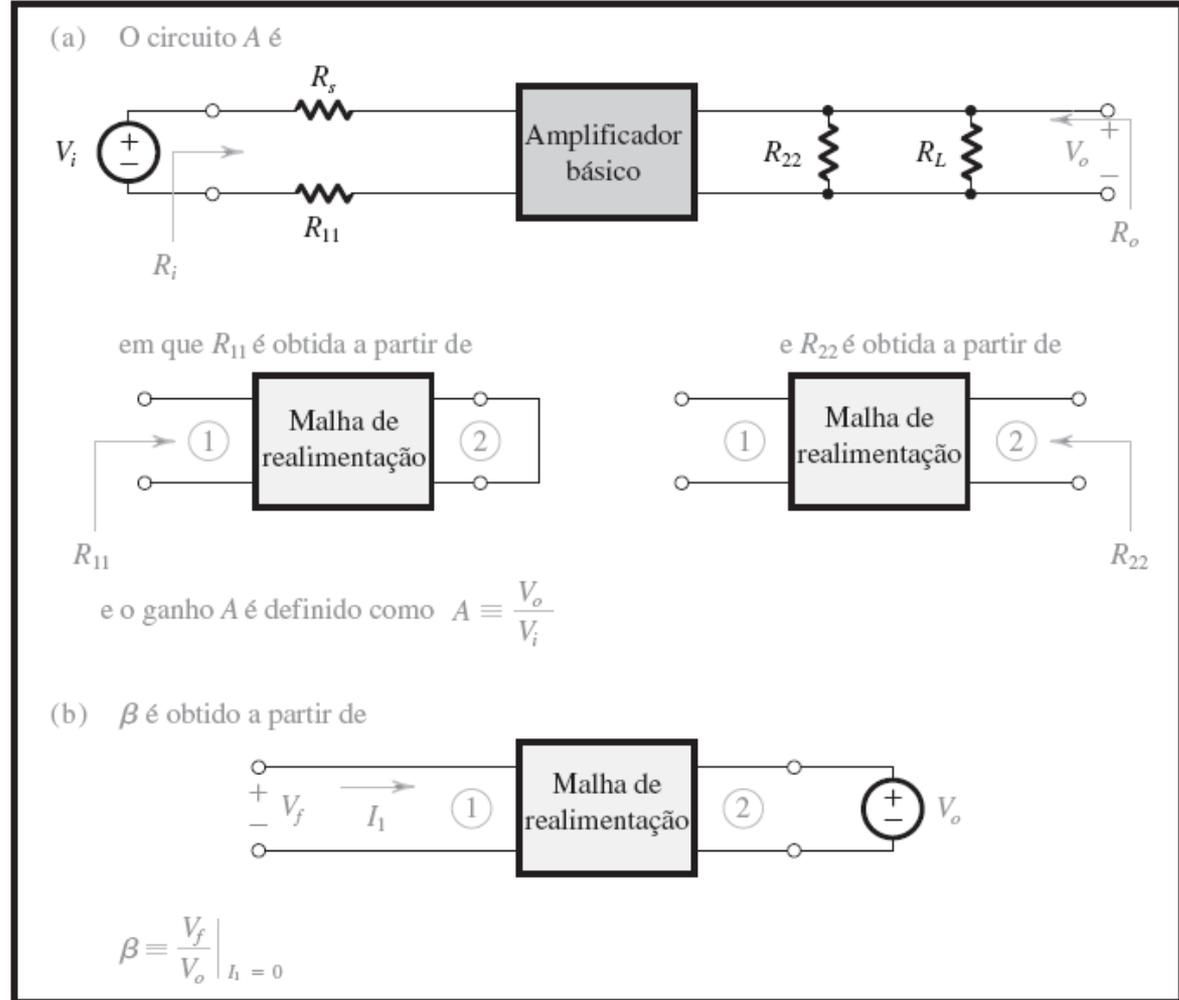


Figura 8.11 Resumo das regras para determinar os circuitos A e  $\beta$  para o caso da realimentação série-paralelo da Figura 8.10(a).

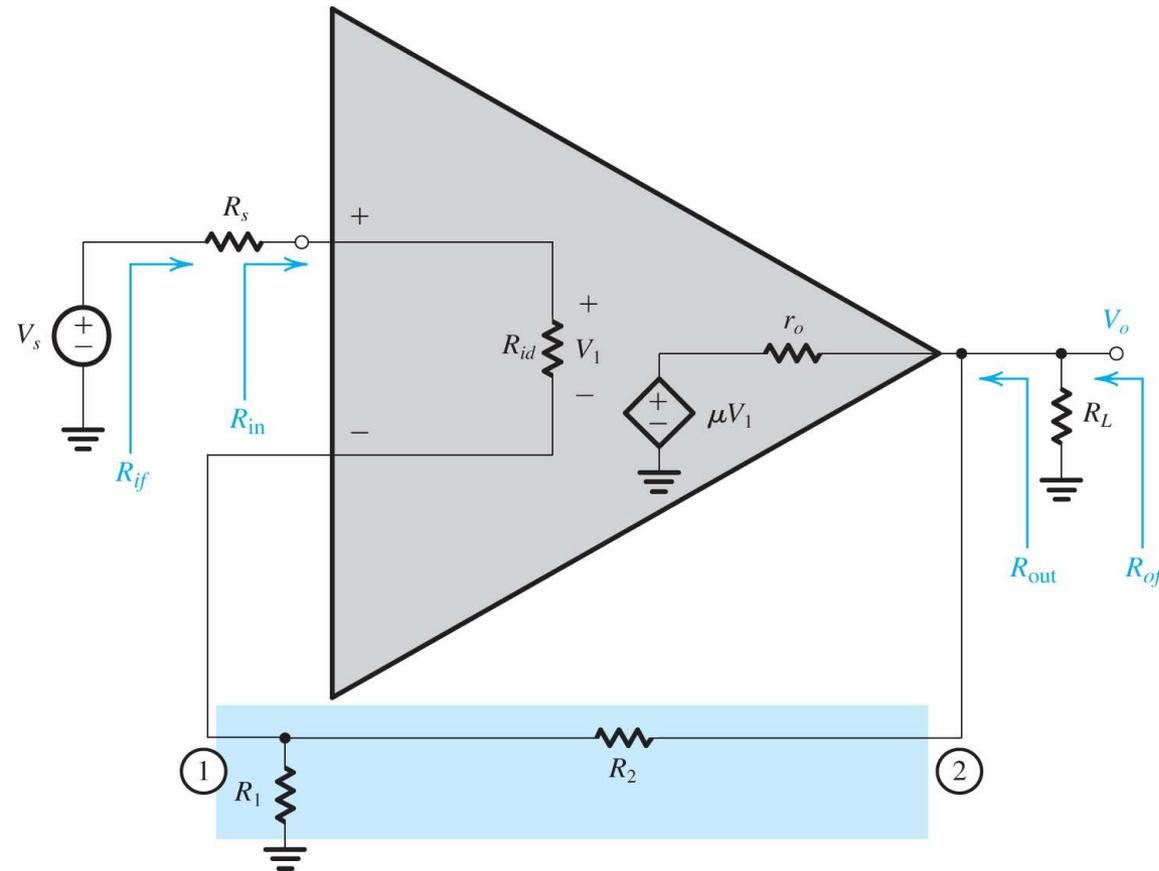
# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real

## Exemplo 8.1 (pag.500)

$R_{id} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $r_o = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $\mu = 10^4$   $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

Calcular  $A_f$ ,  $R_{if}$ ,  $R_{of}$ ,  $R_{in}$ ,  $R_{out}$



# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

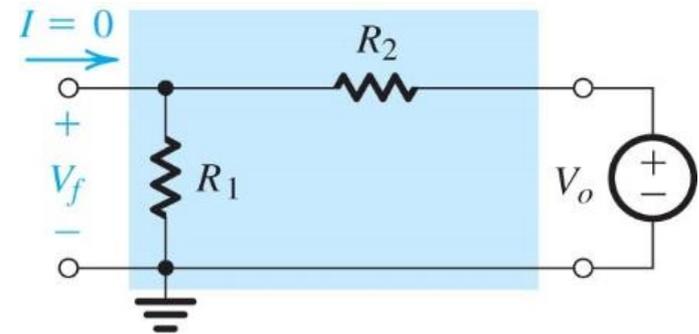
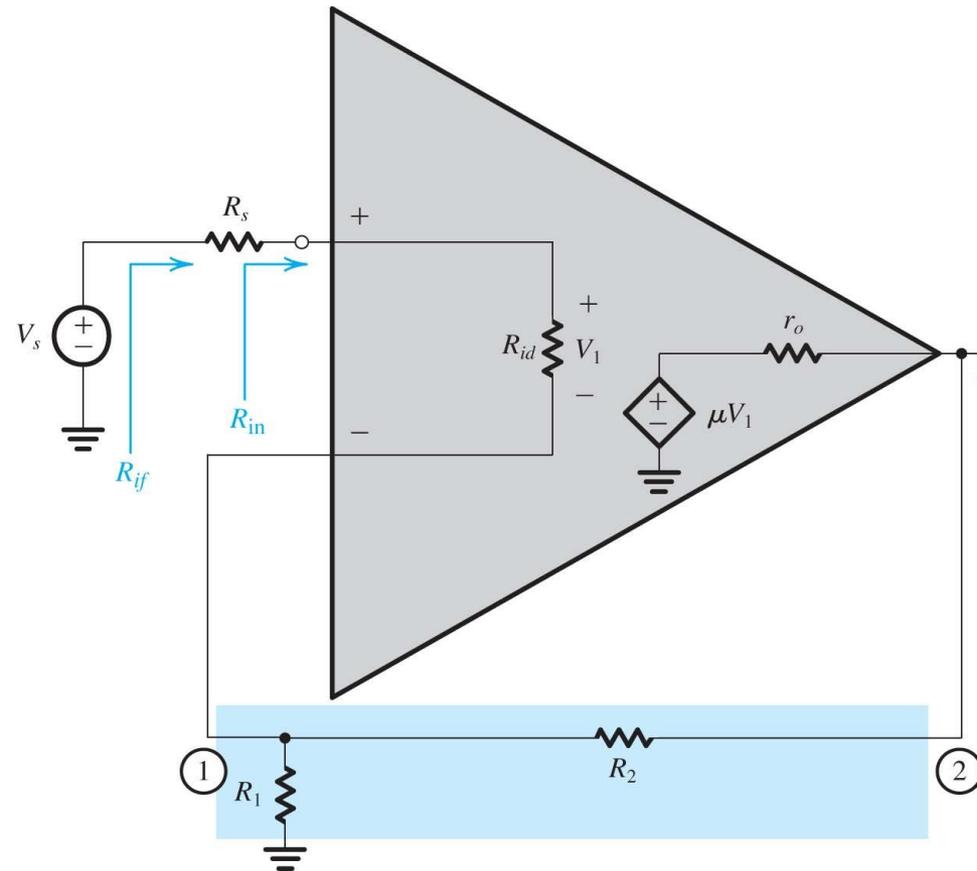
Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real

## Exemplo 8.1 (pag.500)

$R_{id} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $r_o = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $\mu = 10^4$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

Calcular  $A_f$ ,  $R_{if}$ ,  $R_{of}$ ,  $R_{in}$ ,  $R_{out}$

Malha de realimentação



$$R_{11} = h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0} =$$

$$\frac{1}{h_{22}} = R_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0} =$$

$$\beta = h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0} = \frac{V_f}{V_o}$$

$$|h_{21}|_{\text{realimentação}} \ll |h_{21}|_{\text{ampl. básico}}$$

# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

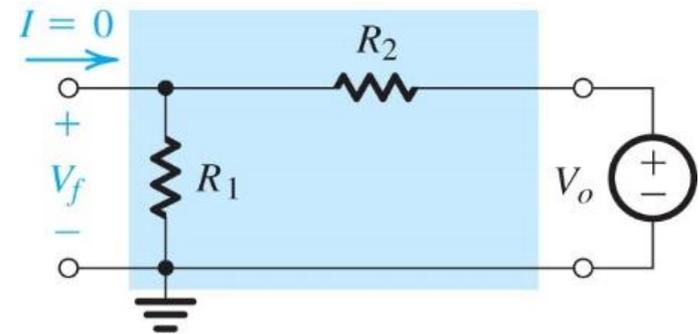
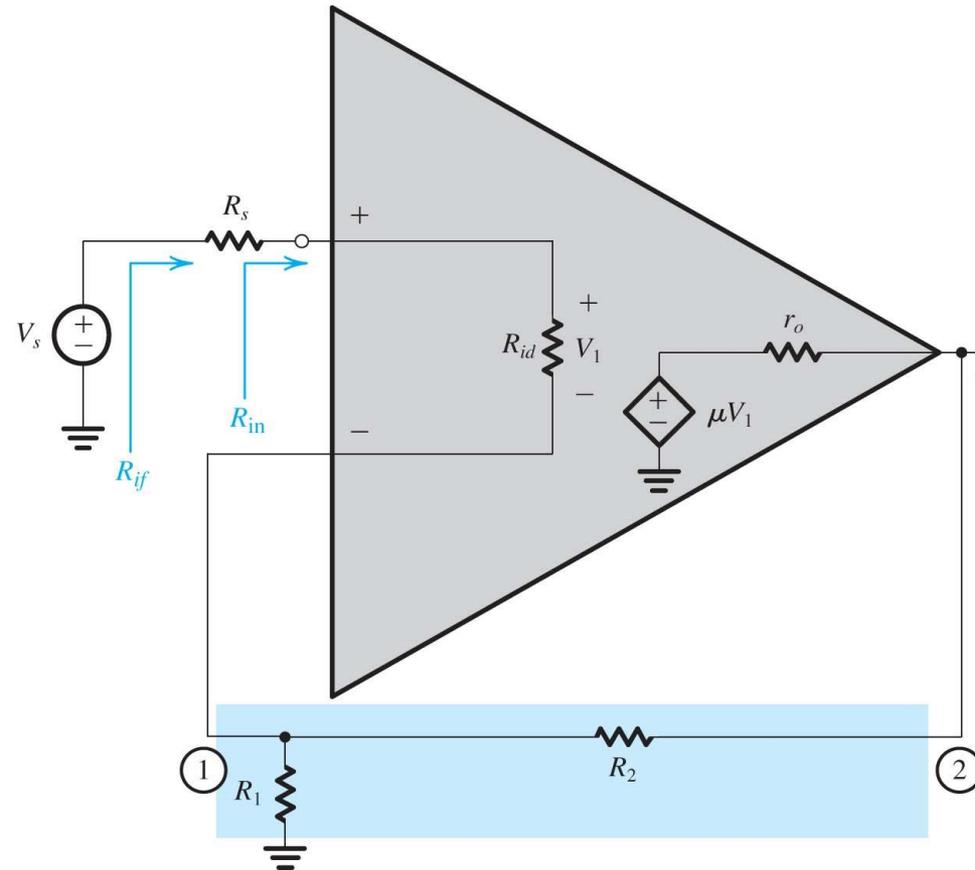
Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real

## Exemplo 8.1 (pag.500)

$R_{id} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $r_o = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $\mu = 10^4$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

Calcular  $A_f$ ,  $R_{if}$ ,  $R_{of}$ ,  $R_{in}$ ,  $R_{out}$

Malha de realimentação



$$R_{11} = h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0} = R_1 // R_2$$

$$\frac{1}{h_{22}} = R_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0} = R_1 + R_2$$

$$\beta = h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0} = \frac{V_f}{V_o} = R_1 / (R_1 + R_2)$$

$$|h_{21}|_{\text{realimentação}} \ll |h_{21}|_{\text{ampl. básico}}$$

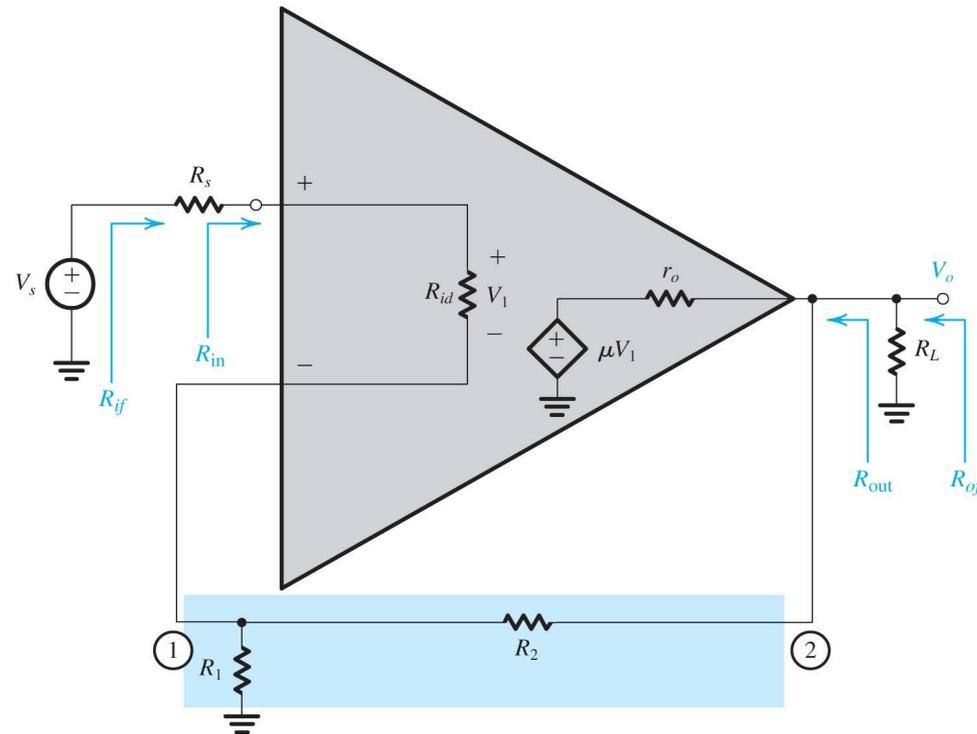
# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real

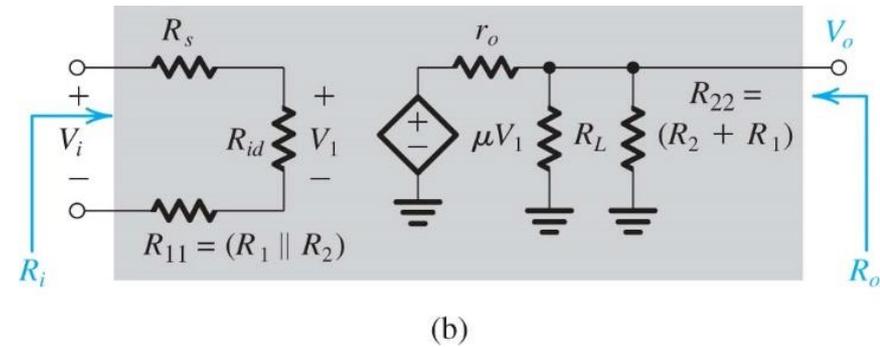
## Exemplo 8.1 (pag.500)

$R_{id} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $r_o = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $\mu = 10^4$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

Calcular  $A_f$ ,  $R_{if}$ ,  $R_{of}$ ,  $R_{in}$ ,  $R_{out}$



Novo A



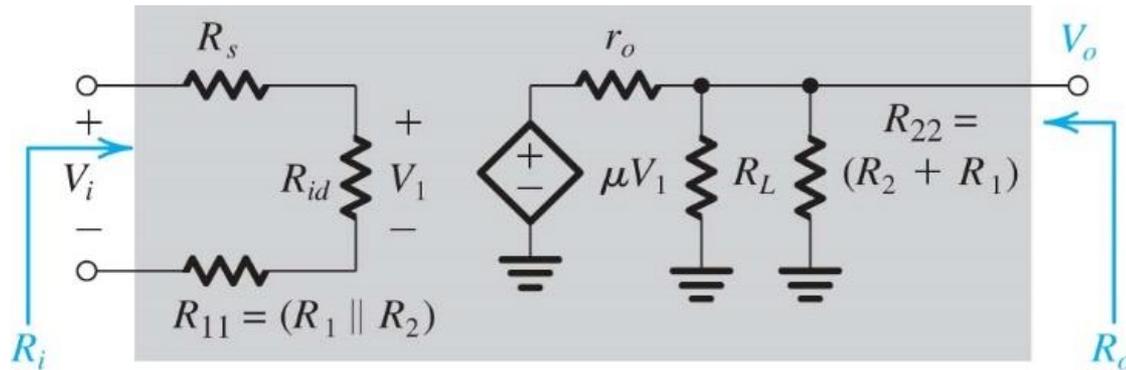
# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real

## Exemplo 8.1 (pag.500)

$R_{id} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $r_o = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $\mu = 10^4$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

Calcular  $A_f$ ,  $R_{if}$ ,  $R_{of}$ ,  $R_{in}$ ,  $R_{out}$



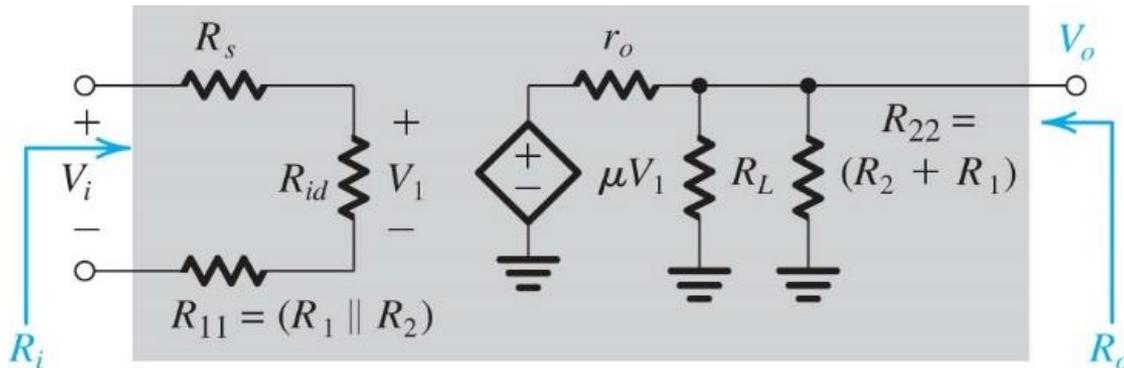
# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real

## Exemplo 8.1 (pag.500)

$R_{id} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $r_o = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $\mu = 10^4$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

Calcular  $A_f$ ,  $R_{if}$ ,  $R_{of}$ ,  $R_{in}$ ,  $R_{out}$



$$\text{Novo } R_i = R_s + R_{id} + R_{11}$$

$$\text{Novo } R_o = r_o // R_{22} // R_L$$

$$\text{Novo } A_v = \mu \cdot \frac{R_L // R_{22}}{R_L // R_{22} + r_o} \cdot \frac{R_{id}}{R_s + R_{id} + R_{11}}$$

Onde:

$$R_{11} = h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0} = R_1 // R_2$$

$$\frac{1}{h_{22}} = R_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0} = R_1 + R_2$$

$$\beta = h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0} = \frac{V_f}{V_o} = R_1 / (R_1 + R_2)$$

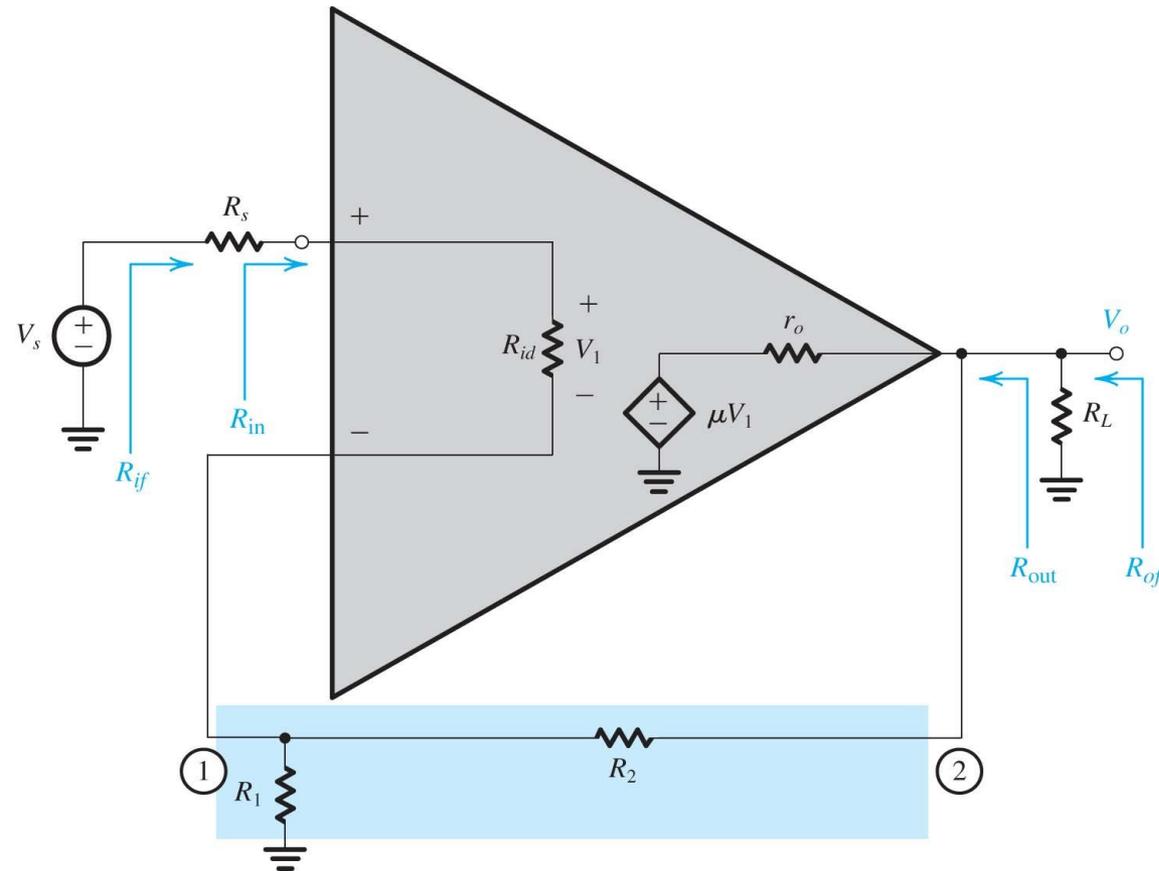
# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real

## Exemplo 8.1 (pag.500)

$R_{id} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $r_o = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $\mu = 10^4$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

Calcular  $A_f$ ,  $R_{if}$ ,  $R_{of}$



# Amplificador de Tensão: Topologia série-paralelo

Caso REAL:  $R_s \neq 0$ ,  $R_L$  finito, Malha de realimentação real

## Exemplo 8.1 (pag.500)

$R_{id} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $r_o = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $\mu = 10^4$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

Calcular  $R_{in}$ ,  $R_{out}$

