

CAP. 3

REALIMENTAÇÃO

INTRODUÇÃO

Realimentação: uma “amostra” do sinal de saída é incorporada à entrada

Realimentação: {
 Positiva (regenerativa)
 Negativa (degenerativa)

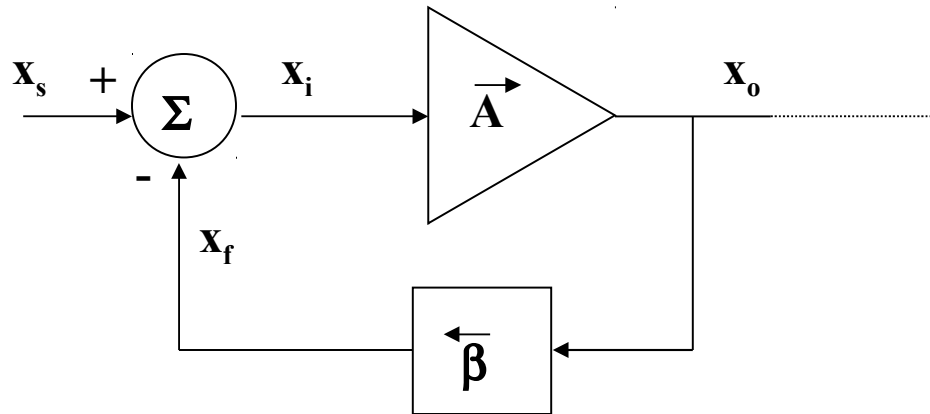
Vantagens da realimentação negativa

- **Estabilização do ganho**
- **Redução da distorção não linear**
- **Redução do ruído**
- **Controle das impedâncias de entrada e saída**
- **Extensão da largura de banda**

Desvantagens da realimentação negativa

- **Diminuição do ganho**
- **Tendência à oscilação**

3.1 ESTRUTURA GERAL DA REALIMENTAÇÃO



β : fator de realimentação
 A : ganho do amplificador

$$x_i = x_s - x_f$$

$$x_o = A x_i$$

$$x_f = \beta x_o$$

$$A_f = \frac{x_o}{x_s} = \frac{A x_i}{x_i + x_f}$$

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$A\beta = L =$ ganho de malha

$1 + A\beta =$ quantidade de realimentação

$A_f =$ ganho de malha fechada

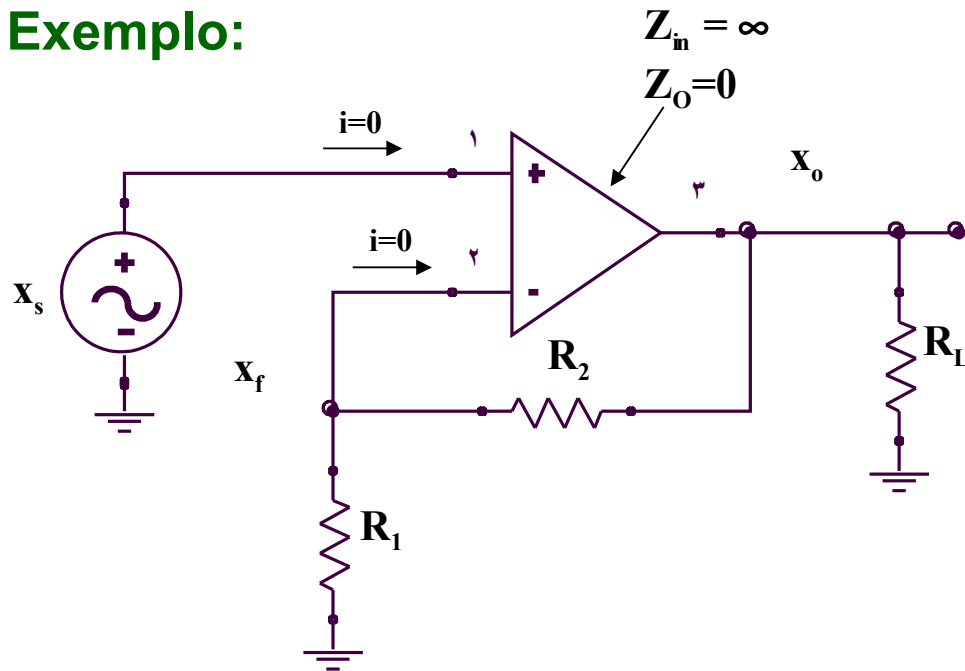
Se $A\beta \gg 1 \rightarrow A_f \approx 1/\beta$

O ganho final é determinado pelo elo de realimentação

$$x_f = \beta x_o \rightarrow x_f = \frac{A\beta}{1 + A\beta} x_s$$

Se $A\beta \gg 1 \rightarrow x_f \approx x_s$ (x_f é uma réplica de x_s .)

Exemplo:

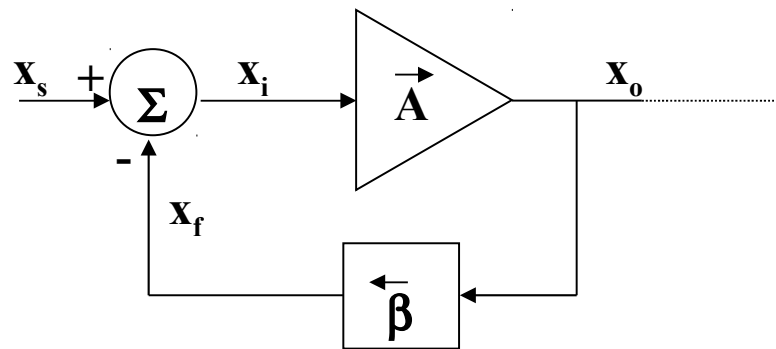


$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{A}{1 + \frac{AR_1}{R_1 + R_2}}$$

$$A\beta = A \frac{R_1}{R_1 + R_2} \gg 1 \rightarrow$$

$$A_f \approx 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

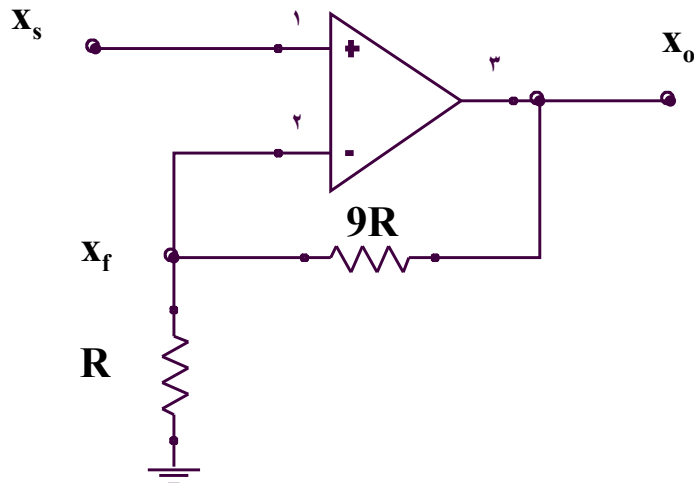


3.2 ALGUMAS PROPRIEDADES DA REALIMENTAÇÃO NEGATIVA

a) Dessensibilidade do ganho

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta} \quad ; \quad \frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{1 + A\beta} \cdot \frac{dA}{A}$$

Exemplo

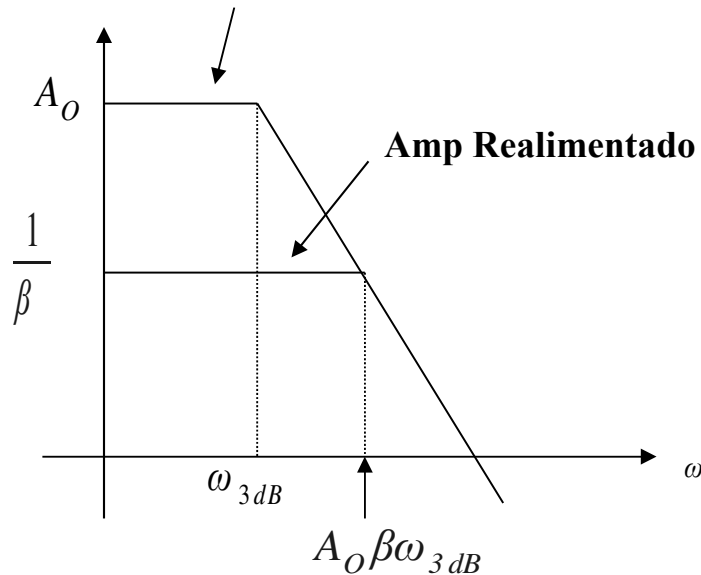
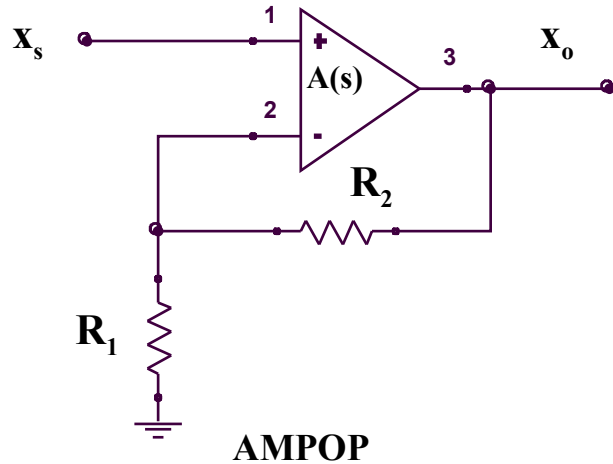


$$A=10000$$

$$\beta=0.1$$

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{1 + 10^3} \cdot \frac{dA}{A} \approx 10^{-3} \left(\frac{dA}{A} \right)$$

b) Extensão da largura de banda



$$A(s) = \frac{A_0}{1 + s/\omega_{r\text{dB}}}$$

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta} \quad A_f = \frac{A_0}{1 + A_0\beta + s/\omega_{r\text{dB}}}$$

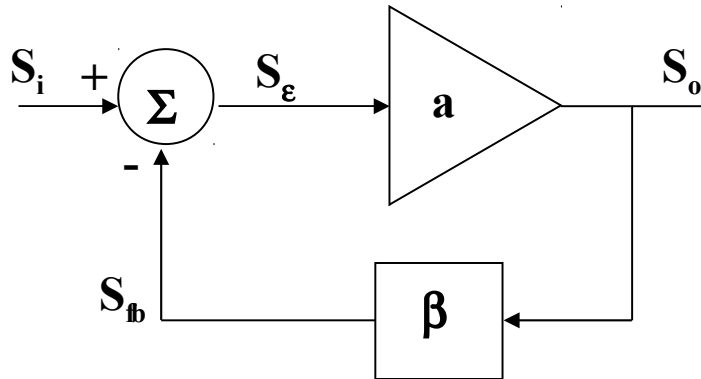
$$A_f = \frac{A_0 / (1 + A_0\beta)}{1 + s/\omega_{r\text{dB}f}}$$

$$\omega_{3\text{dB}f} = (1 + A_0\beta)\omega_{3\text{dB}}$$

$\omega_{3\text{dB}f}$ **Frequência de corte do amplificador realimentado**

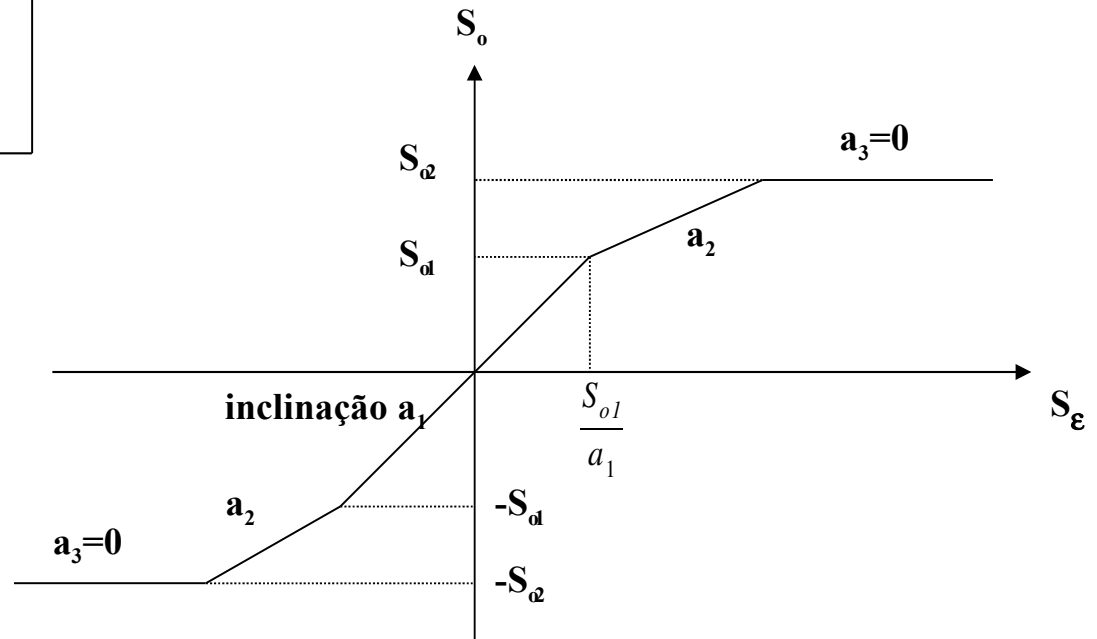
$\omega_{3\text{dB}}$ **Frequência de corte do AMPOP**

c) Redução na distorção



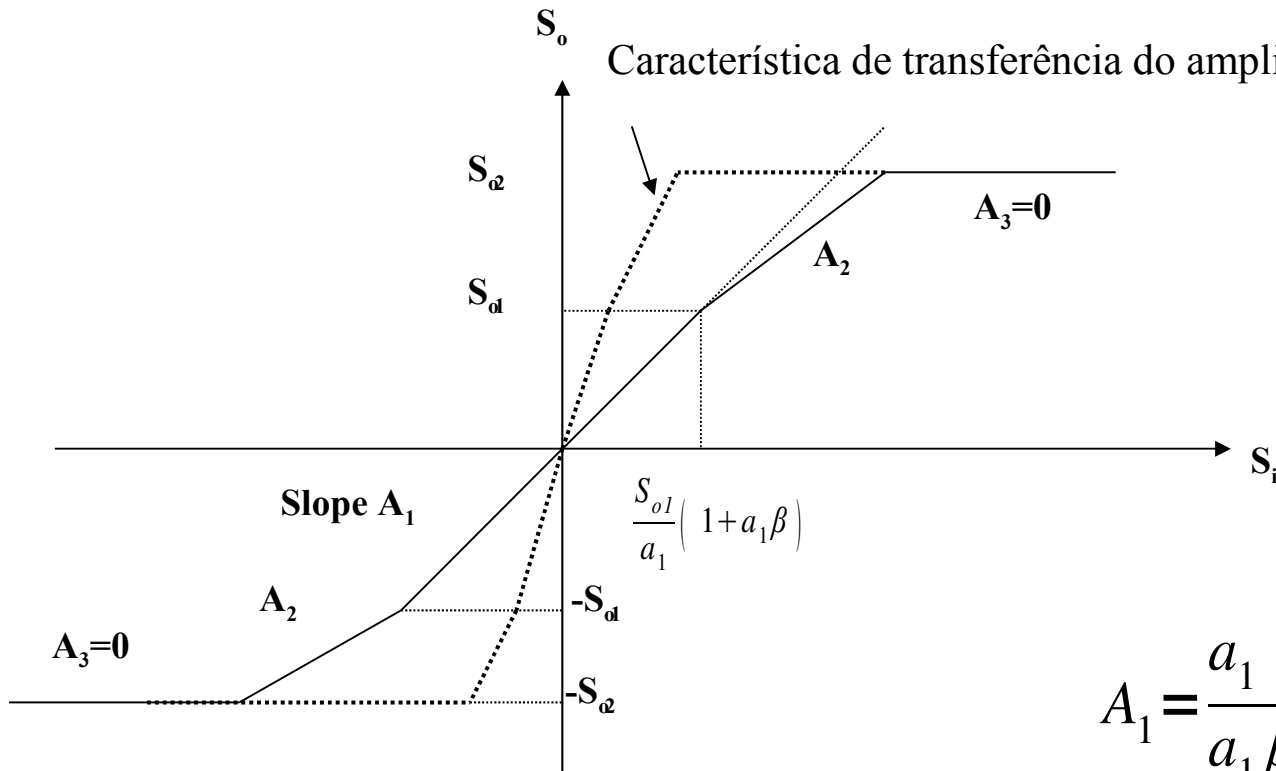
$$A_f = \frac{a}{1 + a\beta}$$

$$\frac{S_o}{S_i} = A_f$$



Característica de transferência do amplificador básico

Característica de transferência do amplificador básico

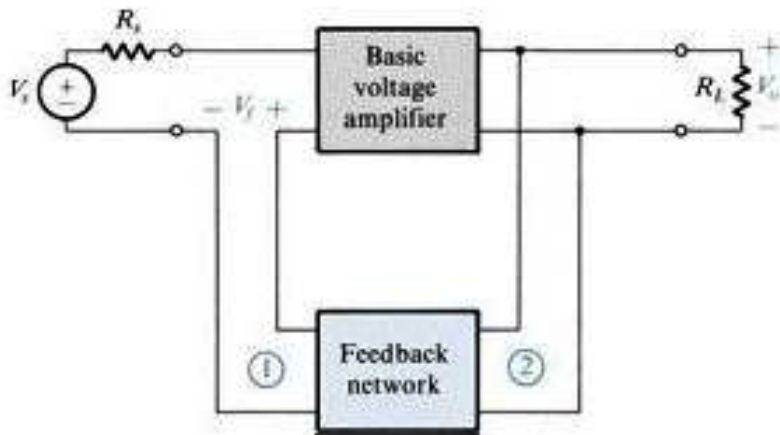


$$A_1 = \frac{a_1}{a_1\beta + 1} \approx \frac{1}{\beta}$$

$$A_2 = \frac{a_2}{a_2\beta + 1} \approx \frac{1}{\beta}$$

3.3 AS QUATRO TOPOLOGIAS BÁSICAS DA REALIMENTAÇÃO

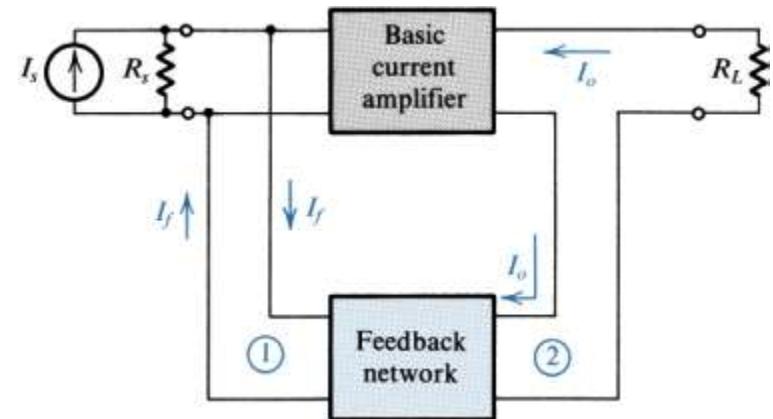
a) Realimentação série-paralelo



Amplificador de tensão:

- realimentação em série com a entrada:
aumenta impedância de entrada
- amostra de tensão paralela à saída:
reduz impedância de saída

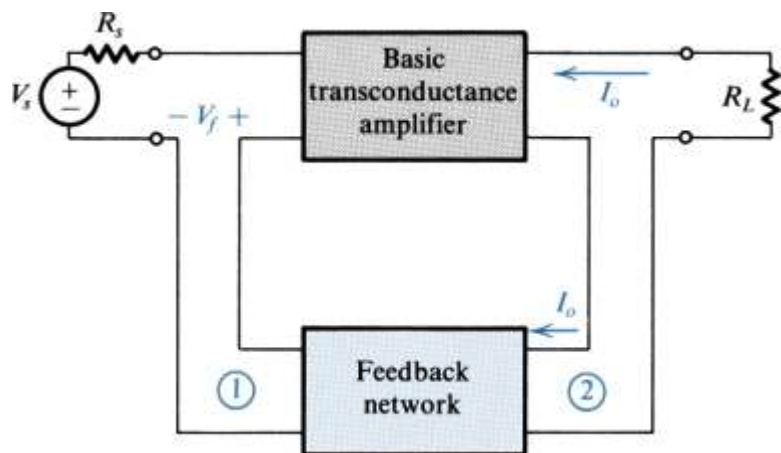
b) Realimentação paralelo-série



Amplificador de corrente:

- realimentação em paralelo com a entrada:
reduz impedância de entrada
- amostra de corrente em série com a saída:
aumenta impedância de saída

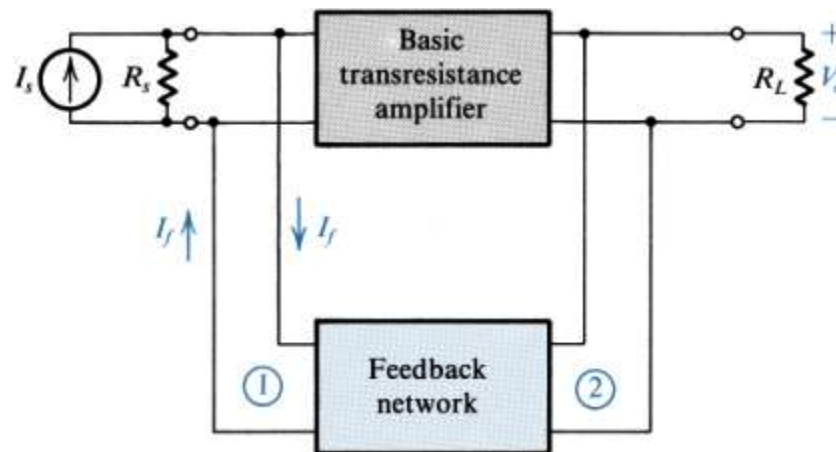
c) Realimentação série-série



Amplificador tensão-corrente:

- realimentação em série com a entrada: aumenta impedância de entrada
- amostra de corrente em série com a saída: aumenta impedância de saída

d) Realimentação paralelo-paralelo

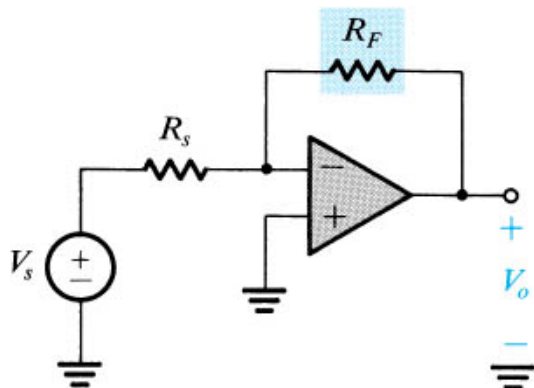


Amplificador corrente-tensão:

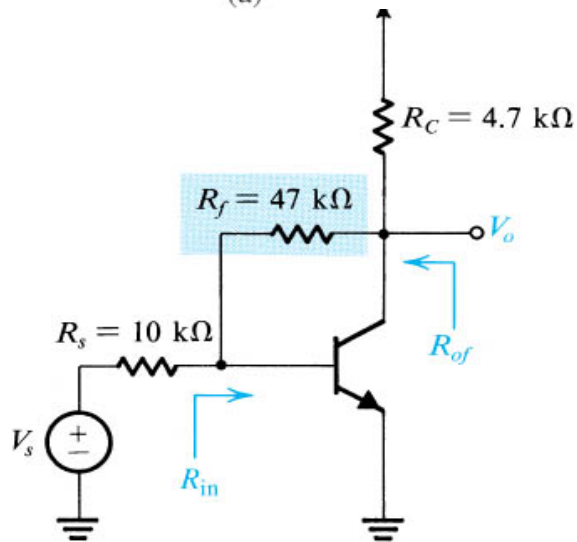
- realimentação em paralelo com a entrada: reduz impedância de entrada
- amostra de tensão paralela à saída: reduz impedância de saída

Identificação da topologia de realimentação:

Paralelo-paralelo:

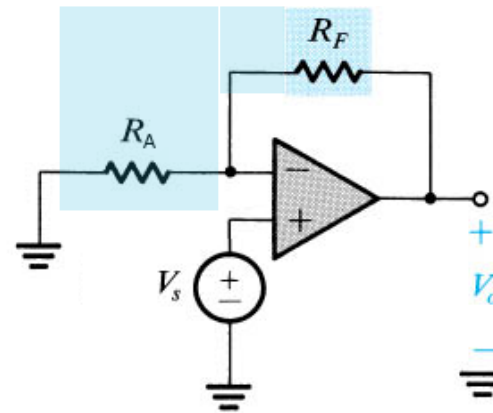


(a)

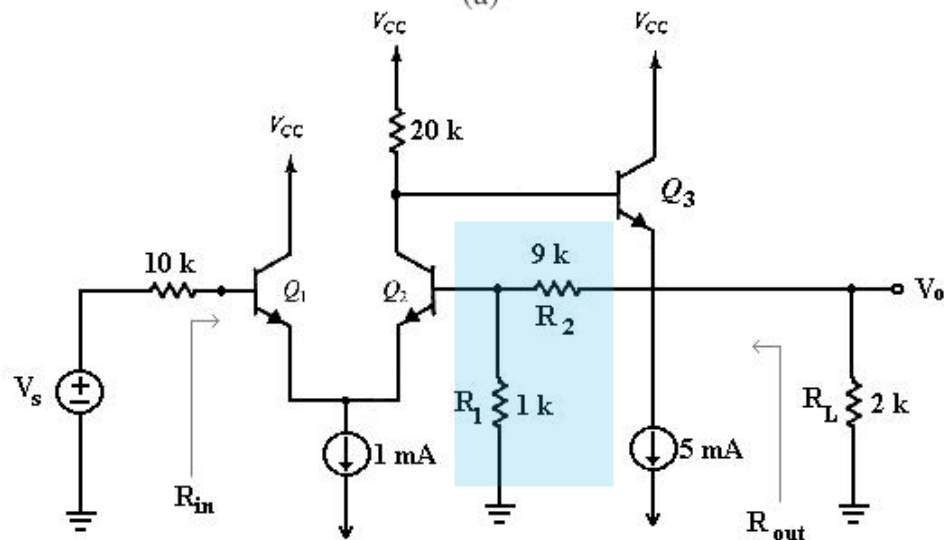


(a)

Série-paralelo:

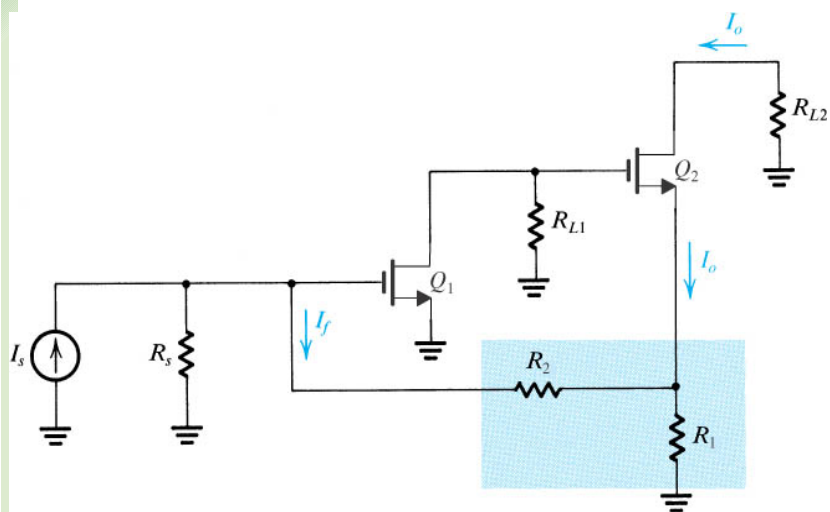
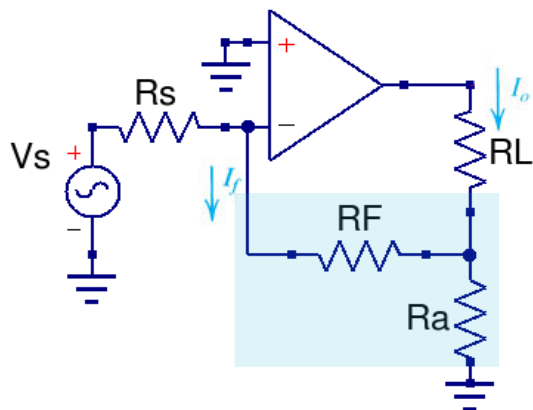


(a)

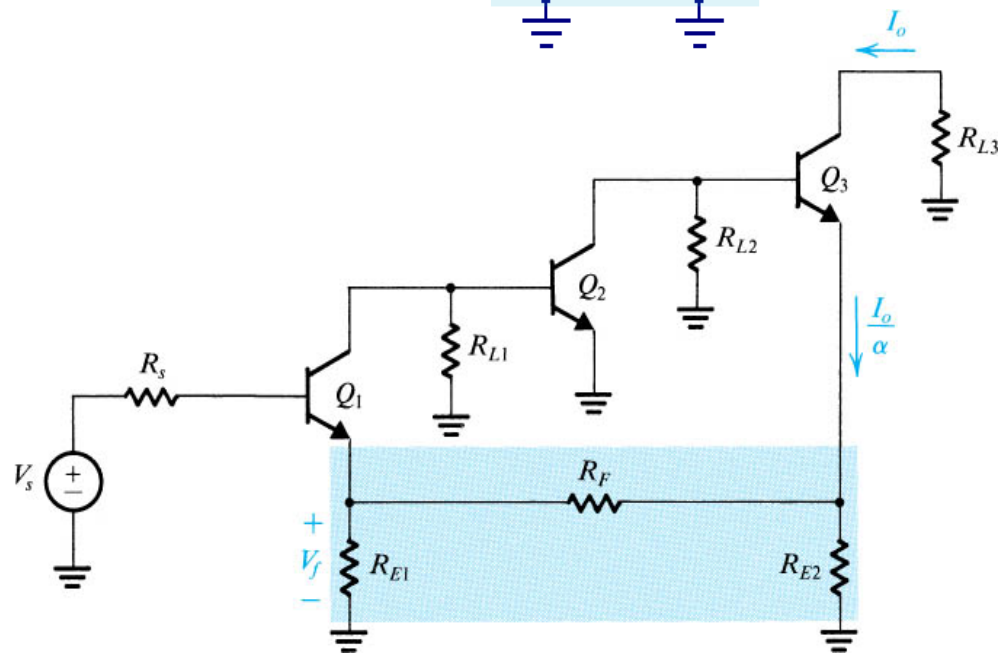
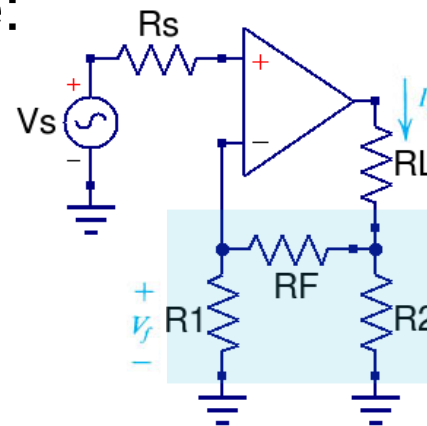


Identificação da topologia de realimentação:

Paralelo-série:



Série-série:



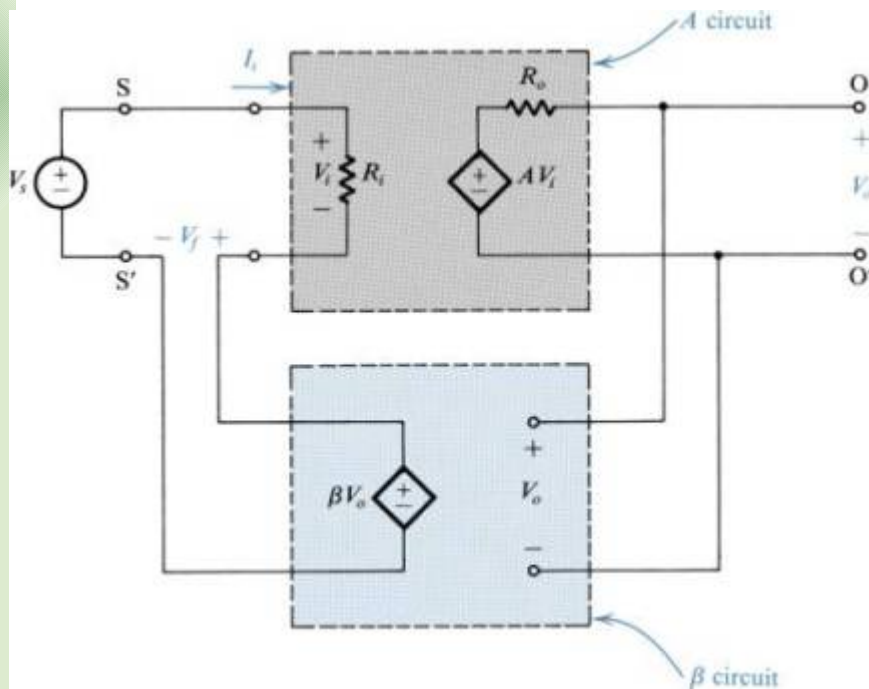
3.4 AMPLIFICADOR COM REALIMENTAÇÃO SÉRIE-PARALELO

Situação ideal:

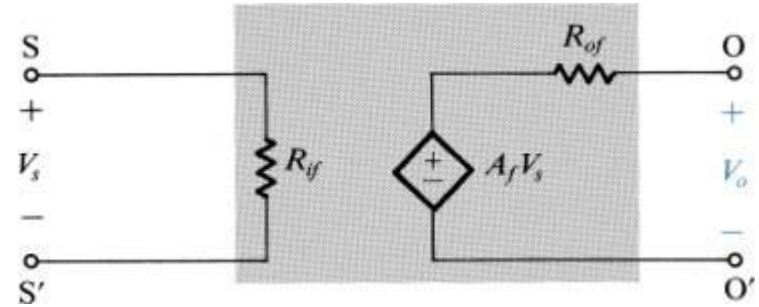
Malha de realimentação não "carrega" o circuito principal:

- Resistência de entrada infinita
- Resistência de saída zero

Amplificador base: Tensão-tensão



Circuito equivalente:



Obs: as resistências de entrada e saída do amplificador original são alteradas pelo processo de realimentação, mas não pelas resistências de entrada e saída da malha de realimentação

Impedâncias de Entrada e Saída do Amplificador Realimentado (sem o efeito de carga da malha de realimentação)

Resistência de entrada:

$$R_{if} = \frac{V_s}{I_i} = \frac{V_s}{V_i/R_i} = R_i \frac{V_s}{V_i}$$

$$V_s = V_i + V_f = V_i + \beta V_o$$

$$R_{if} = R_i \frac{V_i + \beta V_o}{V_i} = R_i \frac{V_i + \beta A V_i}{V_i}$$

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

Generalizando no domínio s:

$$Z_{if}(s) = Z_i(s) [1 + A(s)\beta(s)]$$

Resistência de saída:

Fazendo-se $V_s = 0$ e aplicando-se uma fonte de teste V_t à saída:

$$R_{of} = \frac{V_t}{I} \quad I = \frac{V_t - A V_i}{R_o}$$

$$V_i = -V_f = -\beta V_o = -\beta V_t$$

$$I = \frac{V_t + A\beta V_t}{R_o} \quad R_{of} = \frac{R_o}{(1 + A\beta)}$$

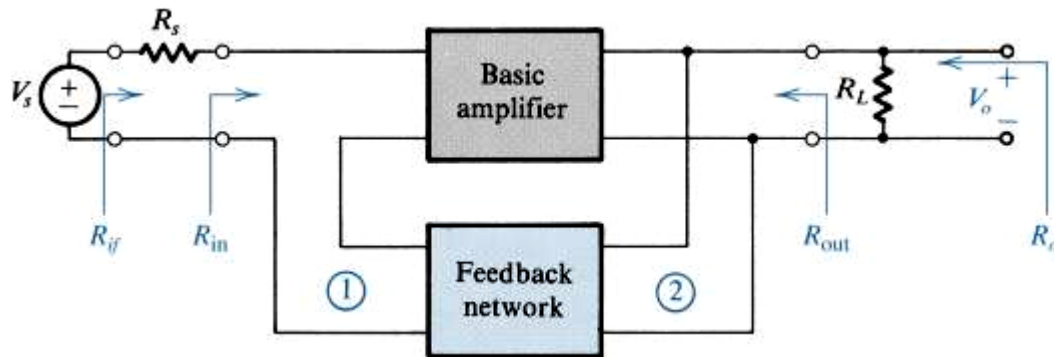
Generalizando no domínio s:

$$Z_{of}(s) = Z_o(s) / [1 + A(s)\beta(s)]$$

Situação real:

Malha de realimentação:

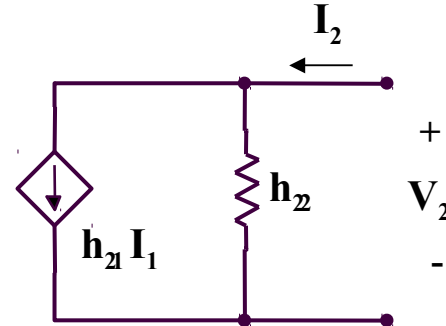
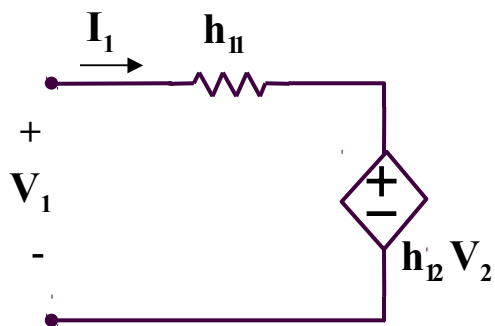
- Representa uma carga para o amplificador básico
- afeta os valores de A , R_i , e R_o



Para determinar os parâmetros A e β analisar o circuito utilizando os parâmetros híbridos:

- variáveis independentes: corrente de entrada e tensão de saída
- variáveis dependentes: tensão de entrada e corrente de saída

Parâmetros h



Equações do quadripolo:

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

$$V_1 = h_{11} I_1 + h_{12} V_2$$

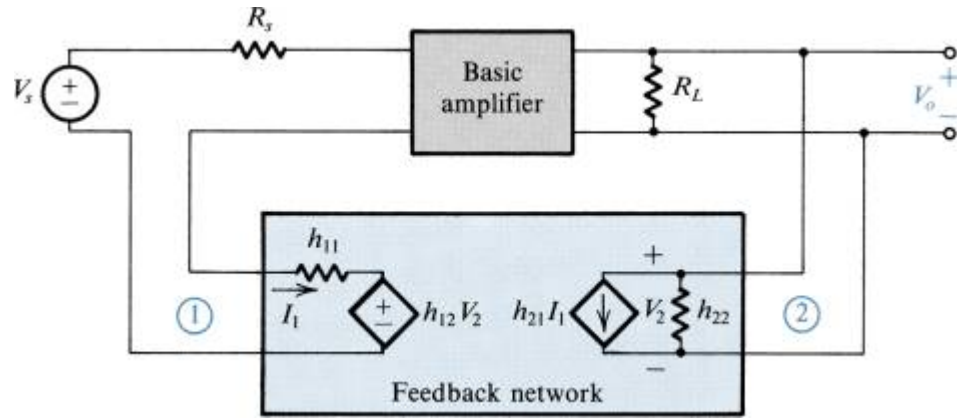
$$I_2 = h_{21} I_1 + h_{22} V_2$$

$$h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0} \quad h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{V_2=0}$$

$$h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0} \quad h_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{I_1=0}$$

- h_{11} : impedância de entrada com a saída em curto
- h_{22} : admitância de saída com entrada em aberto
- h_{12} : ganho de tensão reverso com entrada em aberto
- h_{21} : ganho de corrente direto com saída em curto

Representação da malha de realimentação pelo quadripolo parâmetros h :



Condições de simplificação:

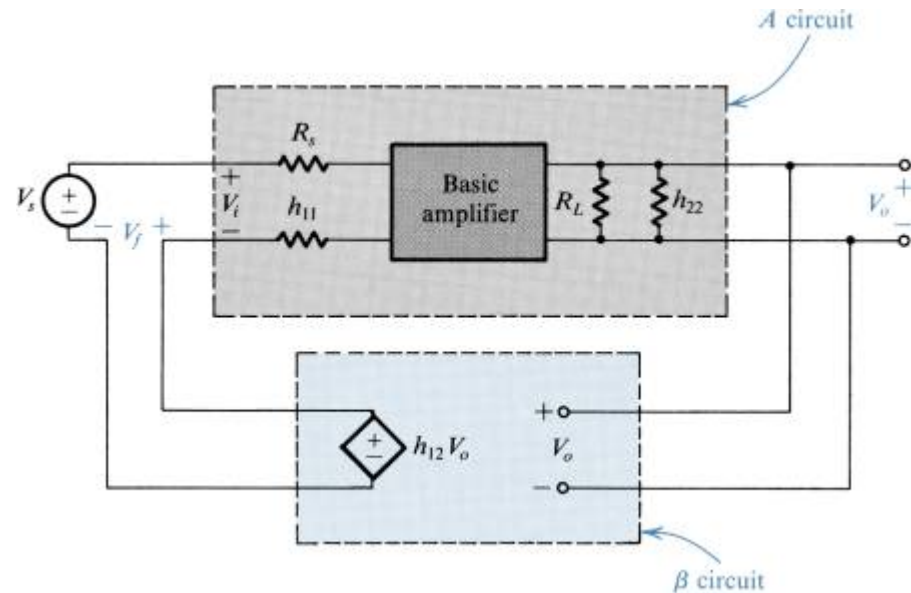
- ganho de corrente direto:
- ganho de tensão reverso:

$$|h_{21}|_{\text{malha de realim.}} \ll |h_{21}|_{\text{amplif. básico}}$$

$$|h_{12}|_{\text{malha de realim.}} \gg |h_{12}|_{\text{amplif. básico}}$$

Circuito equivalente simplificado:

- transposição de h_{11} e h_{22} para o amplificador básico
- Eliminação do h_{21}



Conclusões:

- O ganho de malha é dado por: $\beta = h_{12} = \frac{V_1}{V_2} \Big|_{I_1=0}$
- A malha de realimentação influencia as resistências de entrada e saída do amplificador básico pelos parâmetros $h_{11} = R_{11}$ e $h_{22} = R_{22}$
- As resistências de entrada e saída do amplificador realimentado são:

$$R_{if} = (R_i + R_s + R_{11})(1 + A'\beta) \quad R_{of} = (R_o \parallel R_L \parallel R_{22}) / (1 + A'\beta)$$

- R_i e R_o são as resistências de entrada e de saída do circuito A
- As resistências da fonte de sinal e da carga (R_s e R_L) influenciam as resistências de entrada e saída do amplificador realimentado
- As resistências de entrada e de saída unicamente do amplificador realimentado são dadas por:

$$R_{in} = R_{if} - R_s$$
$$R_{out} = \left(\frac{1}{R_{of}} - \frac{1}{R_L} \right)^{-1}$$

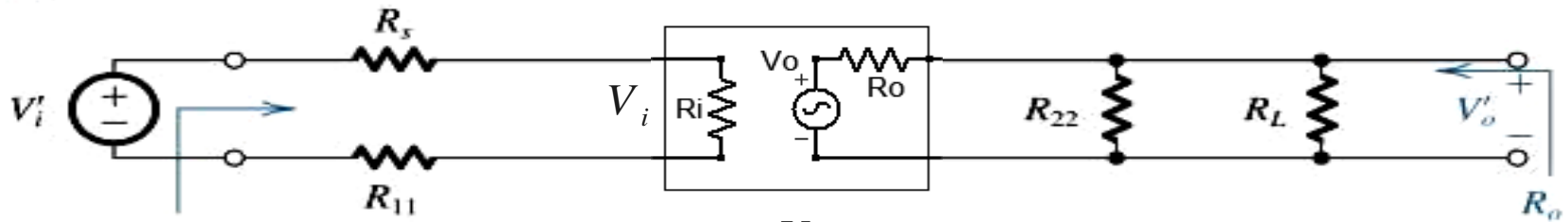
- Obs: Caso não se conheça R_s e R_L faz-se:

$$R_s = 0$$

$$R_L = \infty$$

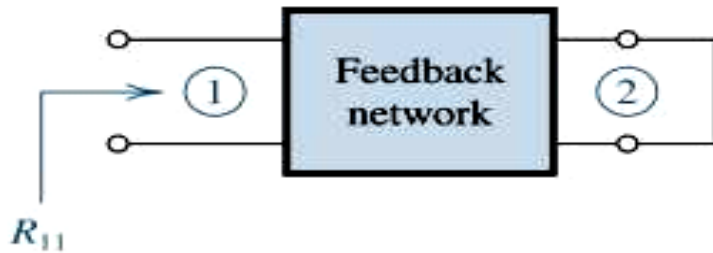
Realimentação Série-Paralelo

(a) The A circuit is

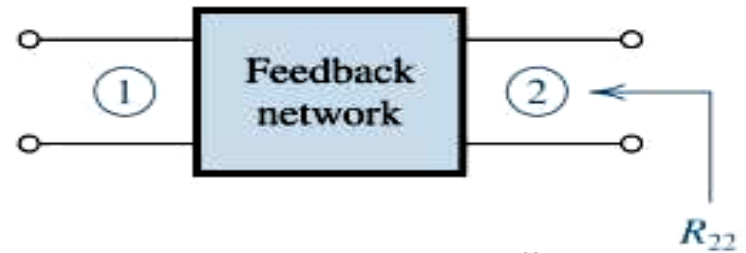


$$A = \frac{V_o}{V_i}$$

where R_{11} is obtained from



and R_{22} is obtained from



A' is defined as:

$$A' = \frac{V_o'}{V_i'}$$

$$A' = A \frac{R_i}{R_i + R_{11} + R_s} \cdot \frac{R_{22} \parallel R_L}{R_o + (R_{22} \parallel R_L)}$$

(b) β is obtained from



$$\beta = \left. \frac{V_f'}{V_o'} \right|_{I_1 = 0}$$

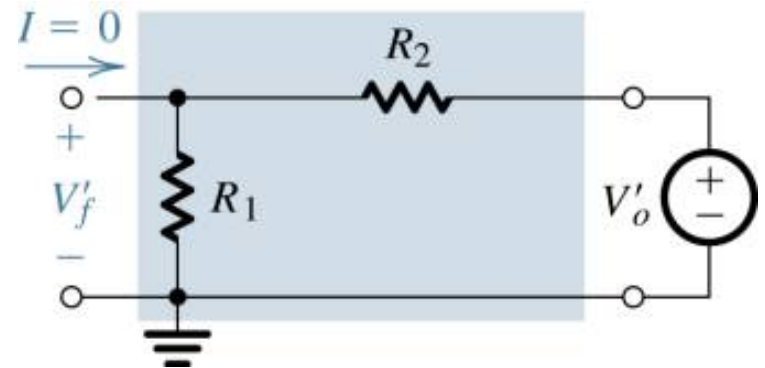
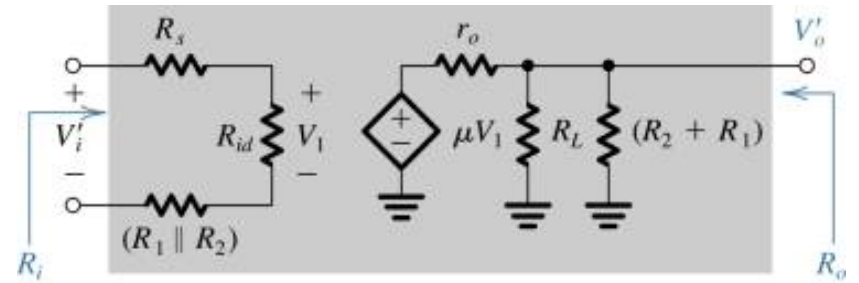
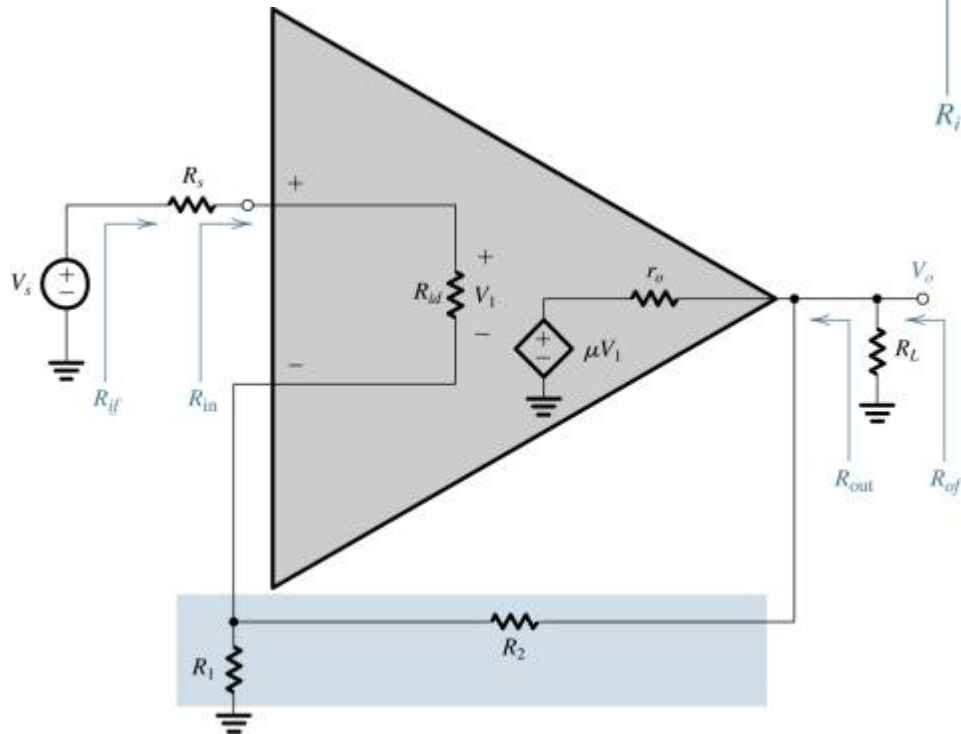
$$R_{if} = (R_i + R_s + R_{11})(1 + A' \beta)$$

$$R_{of} = (R_o \parallel R_L \parallel R_{22}) / (1 + A' \beta)$$

$$R_{in} = R_{if} - R_s$$

$$R_{out} = \left(\frac{1}{R_{of}} - \frac{1}{R_L} \right)^{-1}$$

Exemplo:



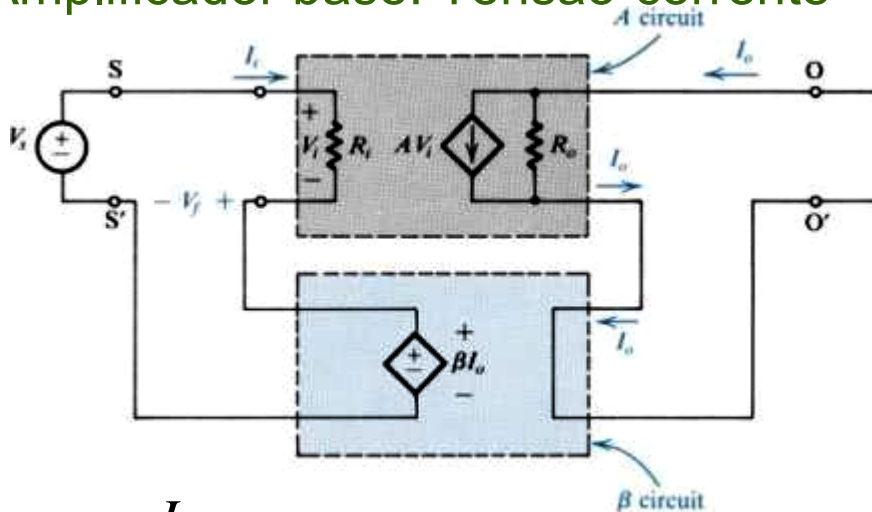
3.5 AMPLIFICADOR COM REALIMENTAÇÃO SÉRIE-SÉRIE

Situação ideal:

Malha de realimentação não "carrega" o circuito principal:

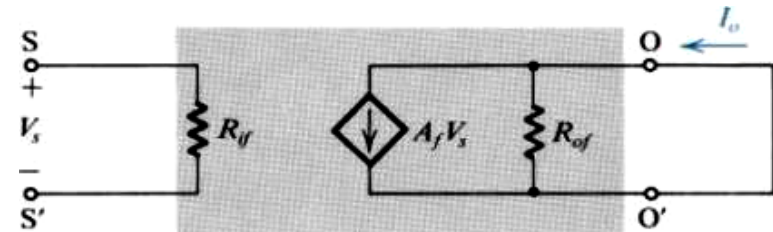
- Resistência de entrada zero
- Resistência de saída infinita

Amplificador base: Tensão-corrente



$A \equiv \frac{I_o}{V_i}$, A é uma transcondutância
 β é uma transresistência

Circuito equivalente:

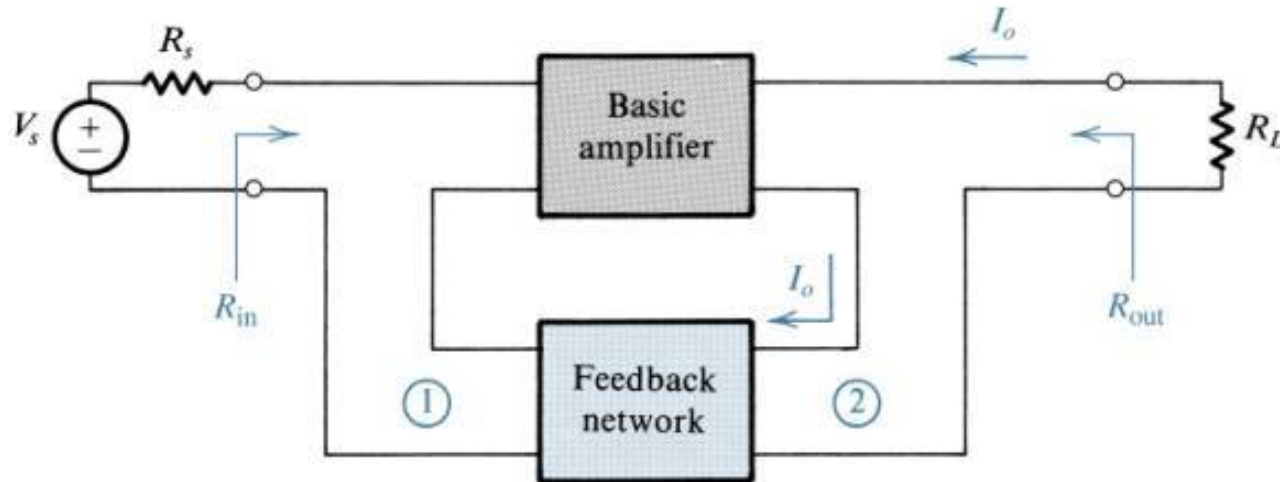


$$A_f \equiv \frac{I_o}{V_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

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

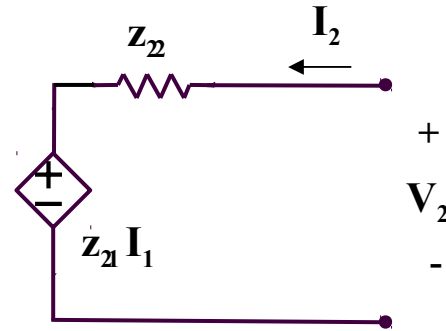
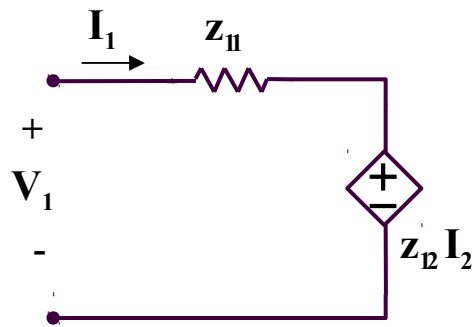
$$R_{of} = R_o (1 + A\beta)$$

Situação real



Parâmetros z são adequados para representar a rede de realimentação pois as variáveis independentes são a corrente de entrada e a corrente de saída

Parâmetros z



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

$$V_1 = z_{11} I_1 + z_{12} I_2$$

$$V_2 = z_{21} I_1 + z_{22} I_2$$

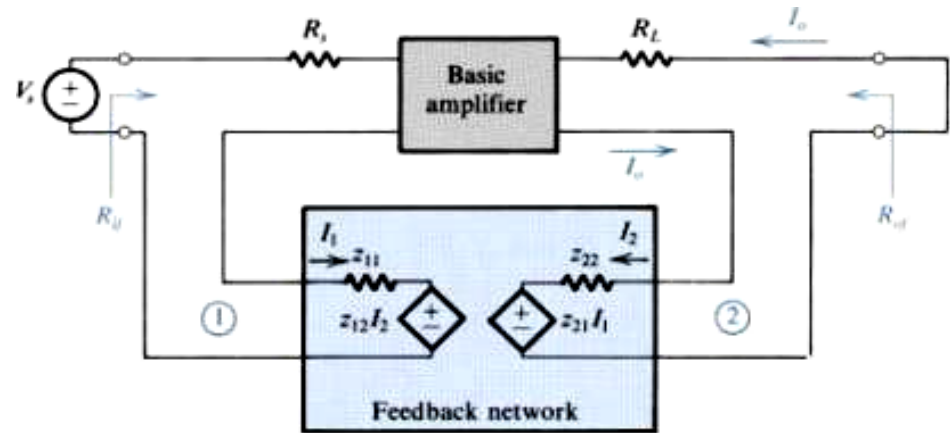
onde:

$$z_{11} = \frac{V_1}{I_1} \Big|_{I_2=0} \quad z_{21} = \frac{V_2}{I_1} \Big|_{I_2=0}$$

$$z_{12} = \frac{V_1}{I_2} \Big|_{I_1=0} \quad z_{22} = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{I_1=0}$$

- z_{11} : impedância de entrada com a saída em aberto
- z_{22} : impedância de saída com entrada em aberto
- z_{12} : transimpedância de entrada com entrada em aberto
- z_{21} : transimpedância de saída com saída em aberto

Representação da malha de realimentação pelo quadripolo parâmetros z:



Condições de simplificação:

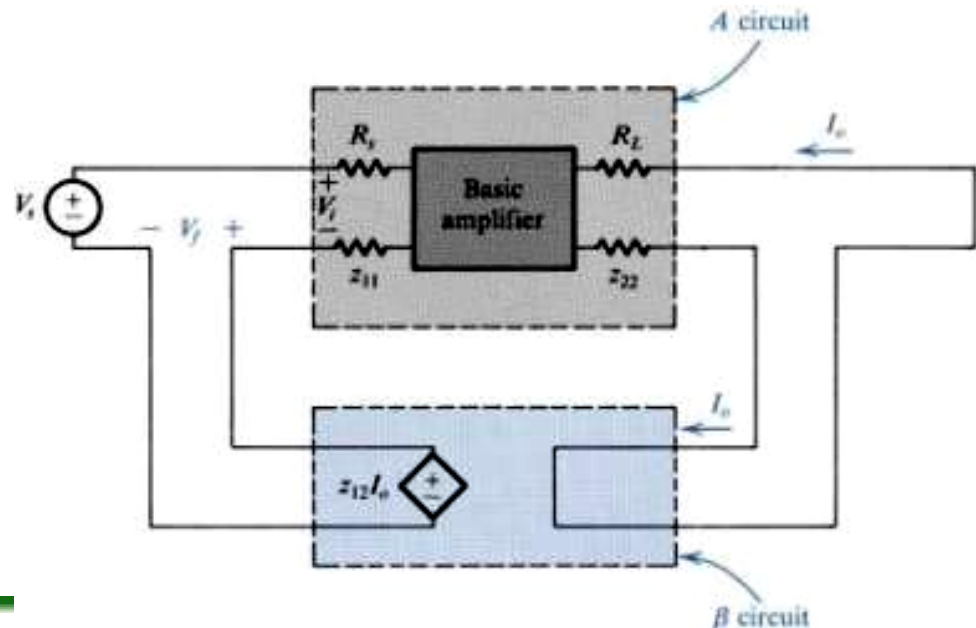
- Transimpedância de saída:
- Transimpedância de entrada:

$$|z_{21}|_{\text{malha de realim.}} \ll |z_{21}|_{\text{amplif. básico}}$$

$$|z_{12}|_{\text{malha de realim.}} \gg |z_{12}|_{\text{amplif. básico}}$$

Circuito equivalente simplificado:

- transposição de z_{11} e z_{22} para o amplificador básico
- Eliminação do z_{21}



Conclusões:

- O ganho de malha é dado por: $\beta = z_{12} = \frac{V_1}{I_2} \Big|_{I_1=0}$
- A malha de realimentação influencia as resistências de entrada e saída do amplificador básico pelos parâmetros $z_{11} = R_{11}$ e $z_{22} = R_{22}$
- As resistências de entrada e saída do amplificador realimentado são:

$$R_{if} = (R_i + R_s + R_{11})(1 + A' \beta) \quad R_{of} = (R_o + R_L + R_{22})(1 + A' \beta)$$

- R_i e R_o são as resistências de entrada e de saída do circuito A
- As resistências da fonte de sinal e da carga (R_s e R_L) influenciam as resistências de entrada e saída do amplificador realimentado
- As resistências de entrada e de saída unicamente do amplificador realimentado são dadas por:

$$R_{in} = R_{if} - R_s$$
$$R_{out} = R_{of} - R_L$$

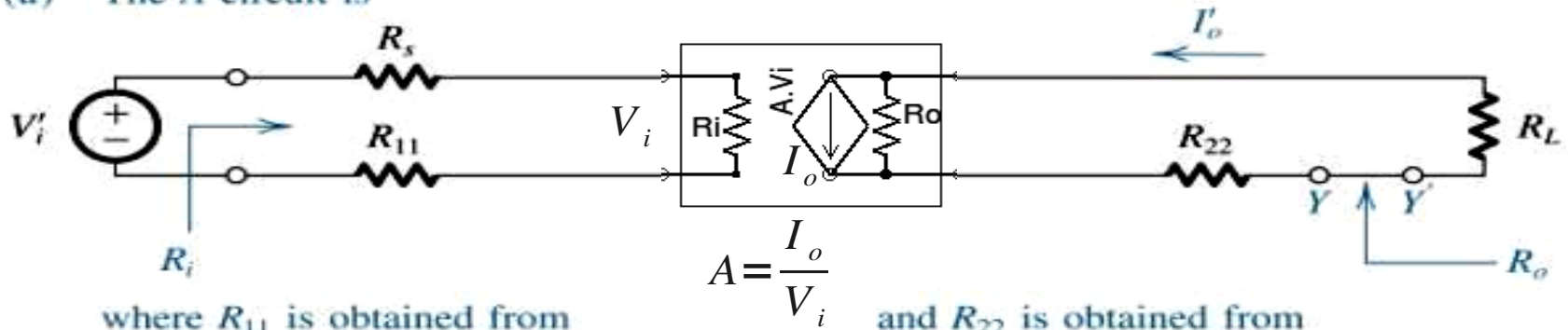
- Obs: Caso não se conheça R_s e R_L faz-se:

$$R_s = 0$$

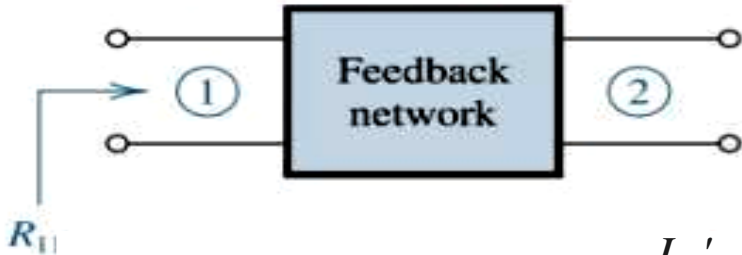
$$R_L = 0$$

Realimentação Série-Série

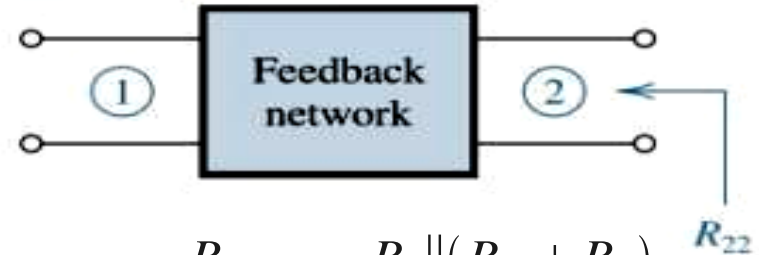
(a) The A circuit is



where R_{11} is obtained from



and R_{22} is obtained from

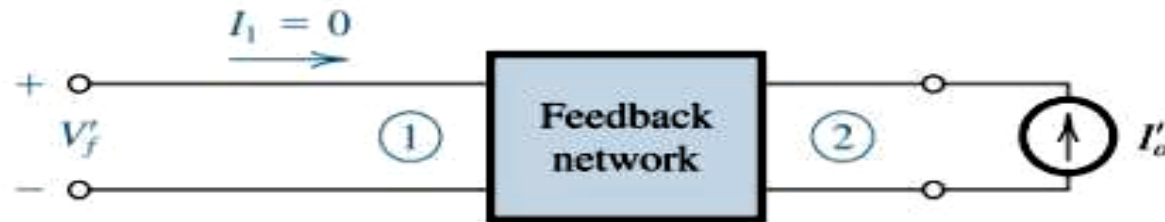


A' is defined as:

$$A' = \frac{I_o'}{V_i'}$$

$$A' = A \frac{R_i}{R_i + R_{11} + R_s} \cdot \frac{R_o \parallel (R_{22} + R_L)}{R_{22} + R_L}$$

(b) β is obtained from



$$\beta = \left. \frac{V_f'}{I_o'} \right|_{I_1 = 0}$$

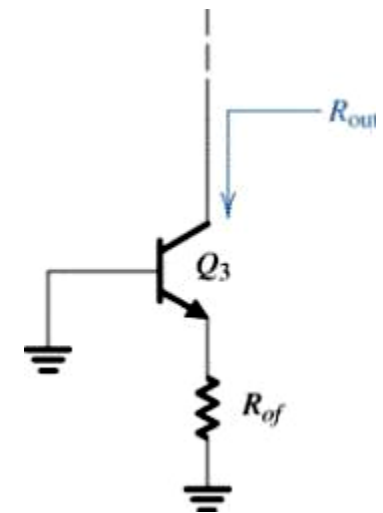
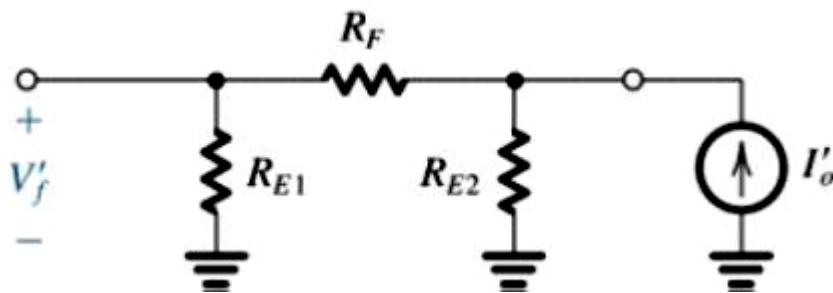
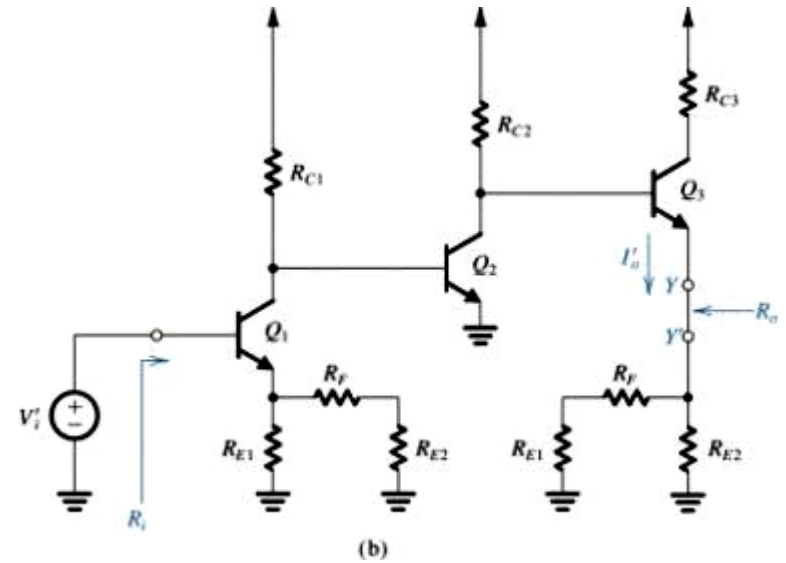
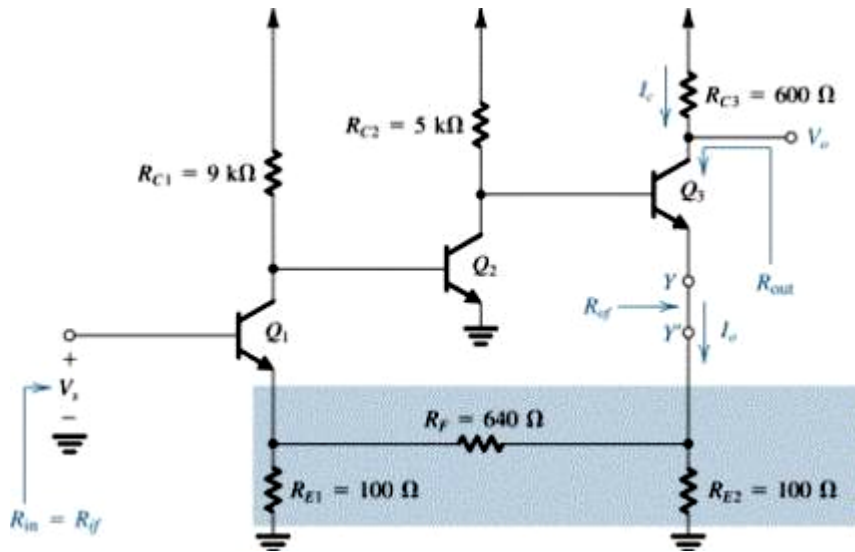
$$R_{if} = (R_i + R_s + R_{11})(1 + A' \beta)$$

$$R_{of} = (R_o + R_L + R_{22})(1 + A' \beta)$$

$$R_{in} = R_{if} - R_s$$

$$R_{out} = R_{of} - R_L$$

Exemplo 8.2 (Sedra)



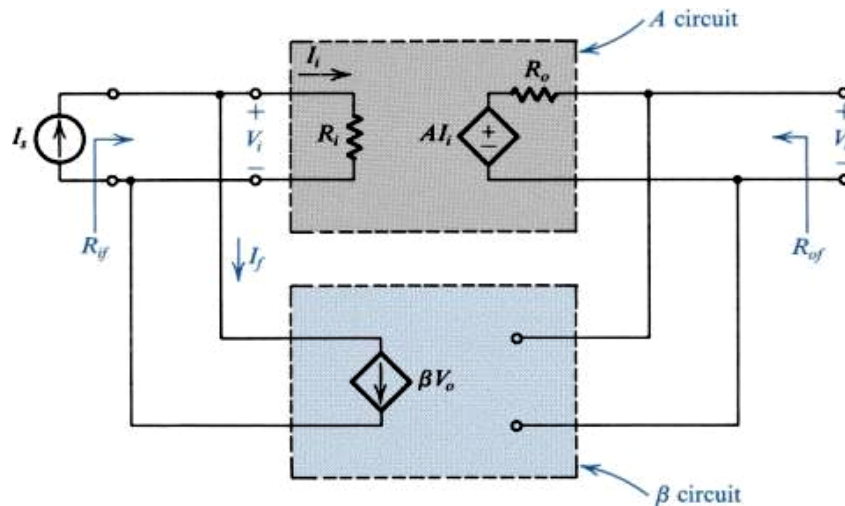
3.6 AMPLIFICADOR COM REALIMENTAÇÃO PARALELO-PARALELO

Situação ideal:

Malha de realimentação não "carrega" o circuito principal:

- Resistência de entrada infinita
- Resistência de saída infinita

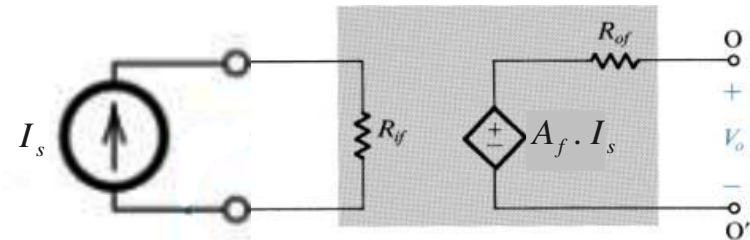
Amplificador base: Corrente-tensão



$A \equiv \frac{V_o}{I_i}$, A é uma transresistância

β é uma transcondutância

Circuito equivalente:

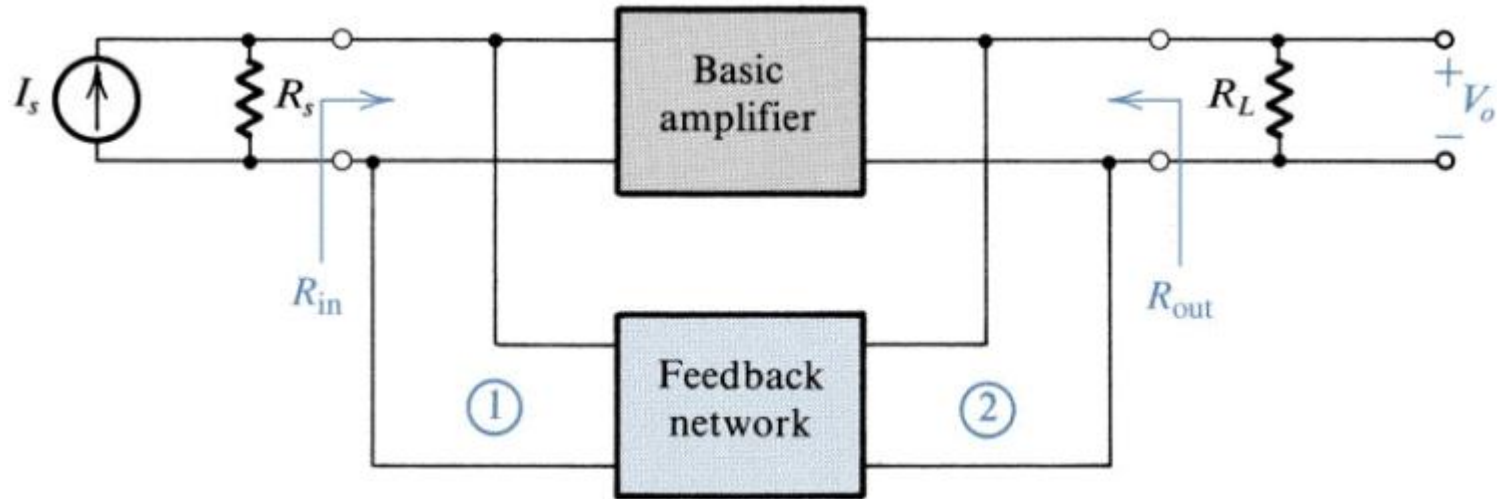


$$A_f \equiv \frac{V_o}{I_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

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

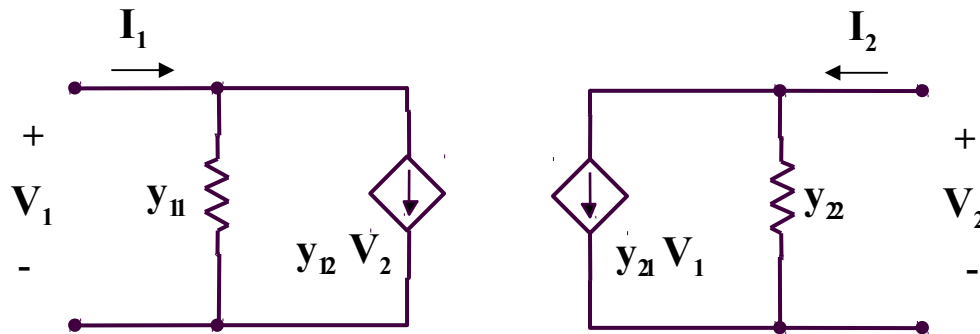
$$R_{of} = R_o / (1 + A\beta)$$

Situação real



Parâmetros y são adequados para representar a rede de realimentação pois as variáveis independentes são a tensão de entrada e a tensão de saída

Parâmetros y



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

$$I_1 = y_{11} V_1 + y_{12} V_2$$

$$I_2 = y_{21} V_1 + y_{22} V_2$$

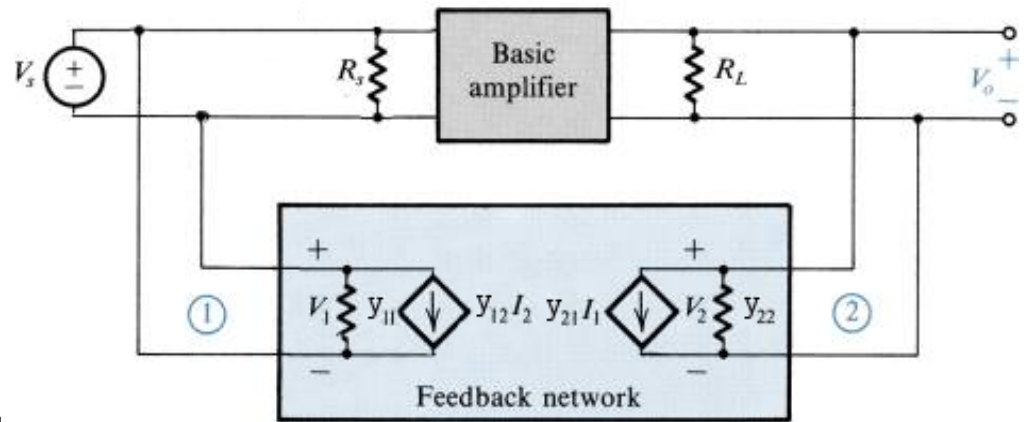
onde:

$$y_{11} = \frac{I_1}{V_1} \Big|_{V_2=0} \quad y_{21} = \frac{I_2}{V_1} \Big|_{V_2=0}$$

$$y_{12} = \frac{I_1}{V_2} \Big|_{V_1=0} \quad y_{22} = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{V_1=0}$$

- y_{11} : admitância de entrada com a saída em curto
- y_{22} : admitância de saída com entrada em curto
- y_{12} : transcondutância de entrada com entrada em curto
- y_{21} : transcondutância de saída com saída em curto

Representação da malha de realimentação pelo quadripolo parâmetros y :



Condições de simplificação:

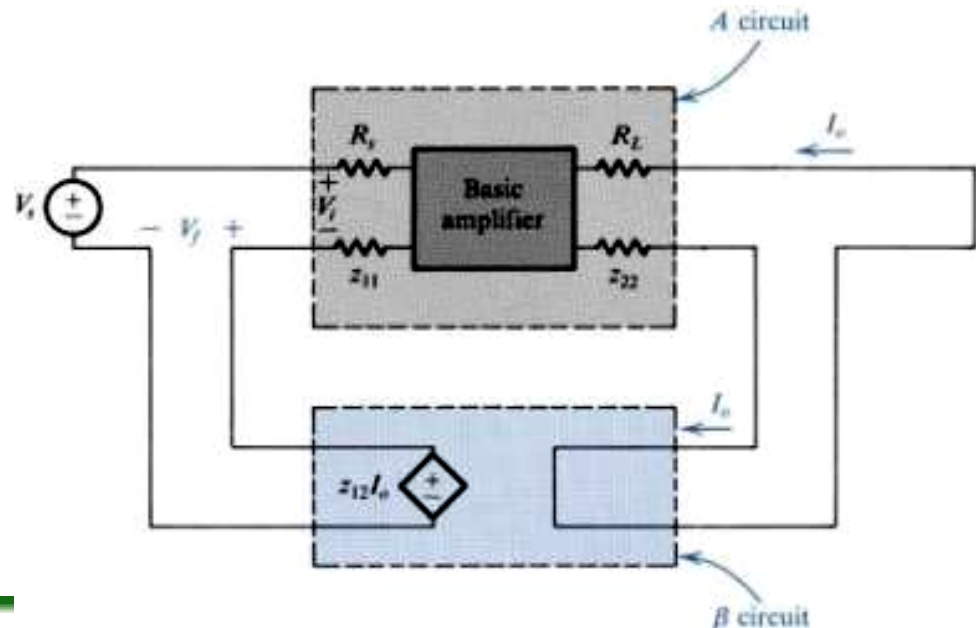
- Transimpedância de saída:
- Transimpedância de entrada:

$$|y_{21}|_{\text{malha de realim.}} \ll |y_{21}|_{\text{amplif. básico}}$$

$$|y_{12}|_{\text{malha de realim.}} \gg |y_{12}|_{\text{amplif. básico}}$$

Circuito equivalente simplificado:

- transposição de y_{11} e y_{22} para o amplificador básico
- Eliminação do y_{21}



Conclusões:

- O ganho de malha é dado por:

$$\beta = y_{12} = \frac{I_1}{V_2} \Big|_{V_1=0}$$

- A malha de realimentação influencia as condutâncias de entrada e saída do amplificador básico pelos parâmetros $y_{11}=1/R_{11}$ e $y_{22}=1/R_{22}$
- As resistências de entrada e saída do amplificador realimentado são:

$$R_{if} = (R_i \parallel R_s \parallel R_{11}) / (1 + A' \beta) \quad R_{of} = (R_o \parallel R_L \parallel R_{22}) / (1 + A' \beta)$$

- R_i e R_o são as resistências de entrada e de saída do circuito A
- As resistências da fonte de sinal e da carga (R_s e R_L) influenciam as resistências de entrada e saída do amplificador realimentado
- As resistências de entrada e de saída unicamente do amplificador realimentado são dadas por:

$$R_{in} = \left(\frac{1}{R_{if}} - \frac{1}{R_s} \right)^{-1} \quad R_{out} = \left(\frac{1}{R_{of}} - \frac{1}{R_L} \right)^{-1}$$

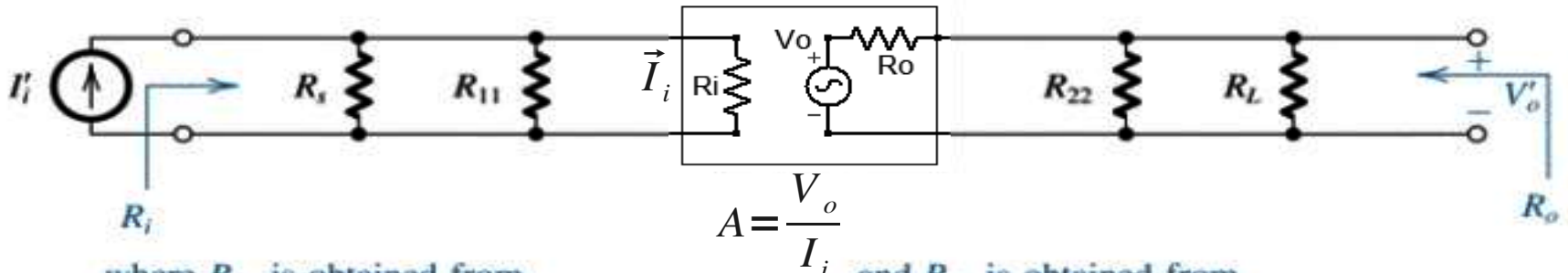
- Obs: Caso não se conheça R_s e R_L faz-se:

$$R_s = \infty$$

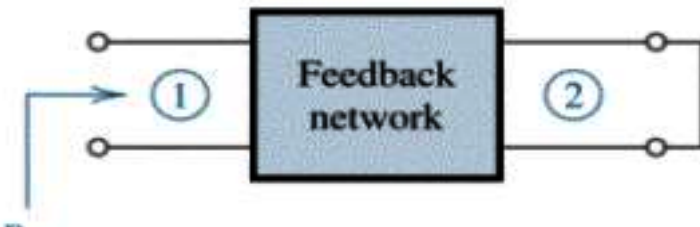
$$R_L = \infty$$

Realimentação Paralelo-Paralelo

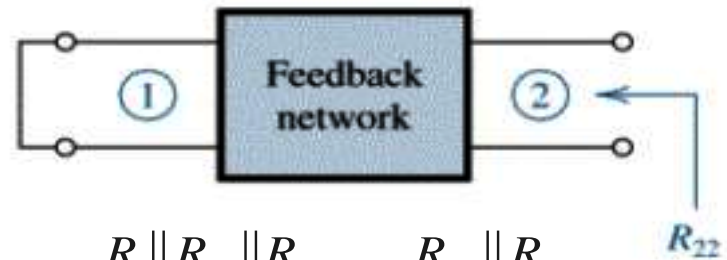
(a) The A circuit is



where R_{11} is obtained from



and R_{22} is obtained from



A' is defined as:

$$A' = \frac{V_o'}{I_i'}$$

$$A' = A \frac{R_i \parallel R_{11} \parallel R_s}{R_i} \cdot \frac{R_{22} \parallel R_L}{R_o + (R_{22} \parallel R_L)}$$

(b) β is obtained from



$$\beta \equiv \frac{I_f'}{V_o'} \Big|_{v_1 = 0}$$

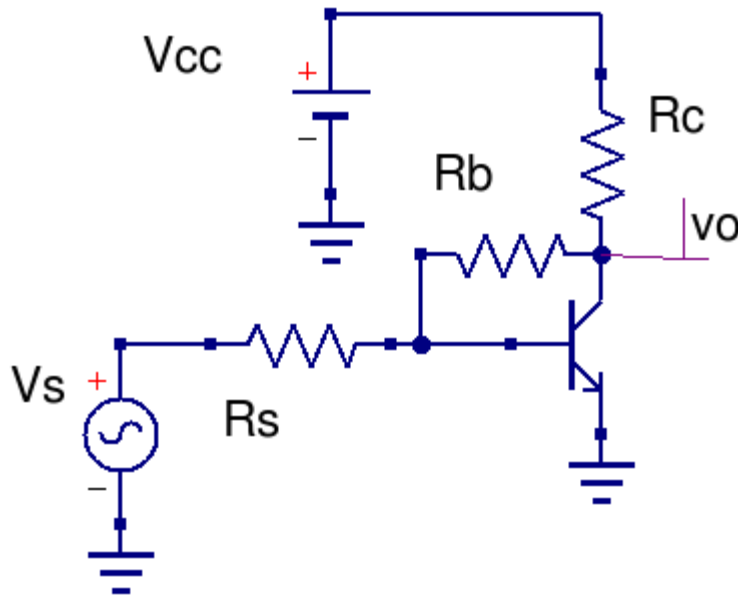
$$R_{if} = (R_i \parallel R_s \parallel R_{11}) / (1 + A' \beta)$$

$$R_{of} = (R_o \parallel R_L \parallel R_{22}) / (1 + A' \beta)$$

$$R_{in} = \left(\frac{1}{R_{if}} - \frac{1}{R_s} \right)^{-1}$$

$$R_{out} = \left(\frac{1}{R_{of}} - \frac{1}{R_L} \right)^{-1}$$

Exemplo 8.3 (Sedra): Determinar o ganho de tensão realimentado A_f e as impedâncias de entrada e saída R_{in} e R_{out}



$$\begin{aligned}V_{cc} &= 12 \text{ V} \\R_c &= 4,7 \text{ k}\Omega \\R_b &= 47 \text{ k}\Omega \\R_s &= 10 \text{ k}\Omega \\\beta &= 100\end{aligned}$$

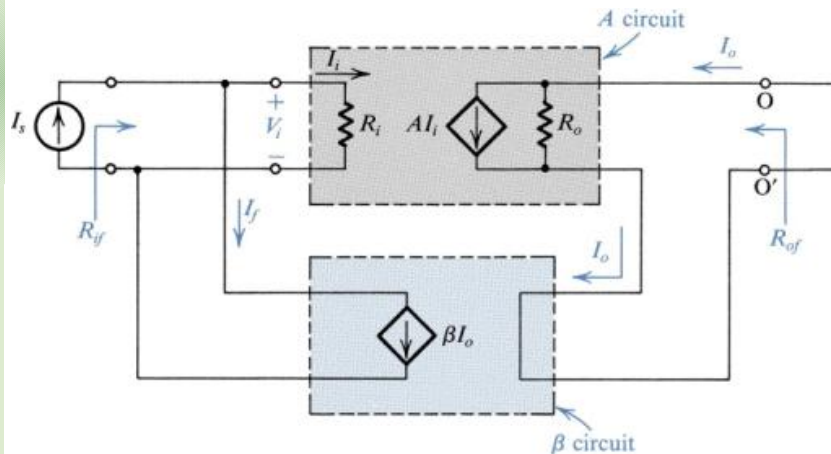
3.7 AMPLIFICADOR COM REALIMENTAÇÃO PARALELO-SÉRIE

Situação ideal:

Malha de realimentação não "carrega" o circuito principal:

- Resistência de entrada zero
- Resistência de saída infinita

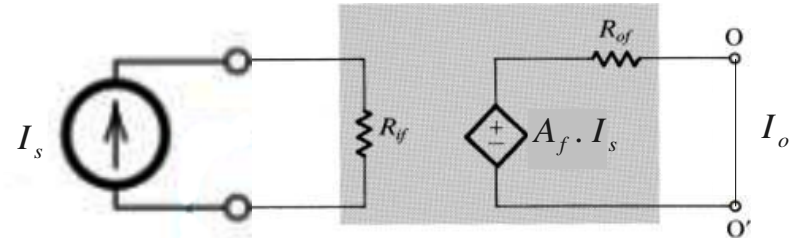
Amplificador base: Corrente-corrente



$A \equiv \frac{I_o}{I_i}$, A é um ganho de corrente

β é um ganho de corren

Circuito equivalente:

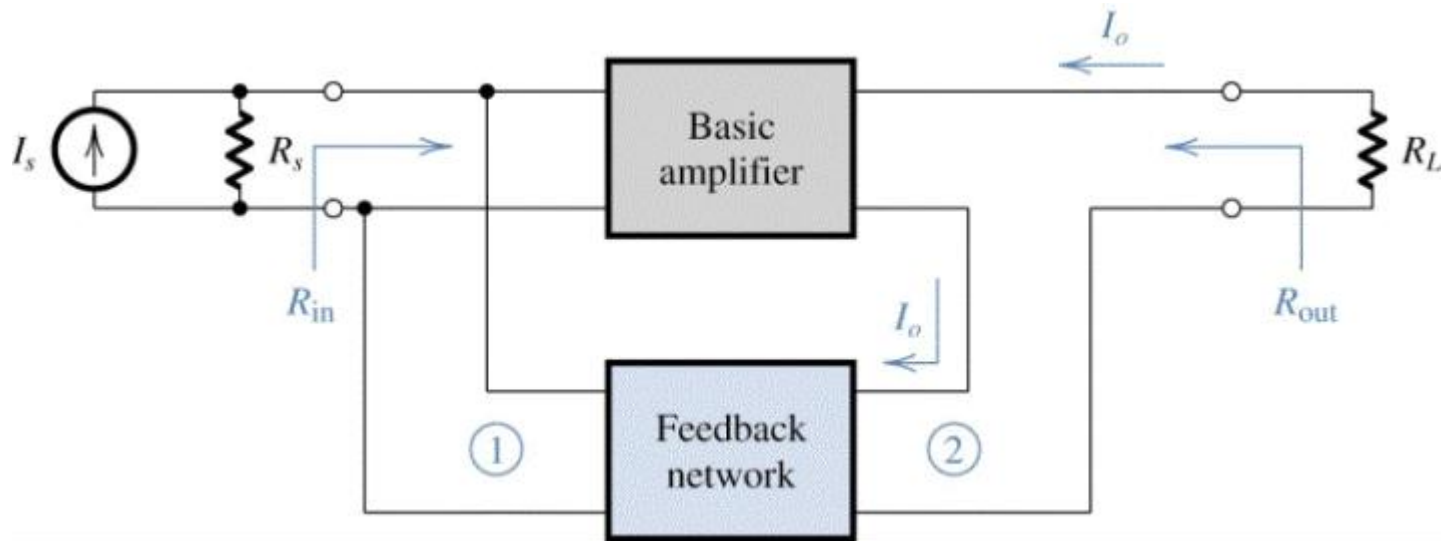


$$A_f \equiv \frac{I_o}{I_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

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

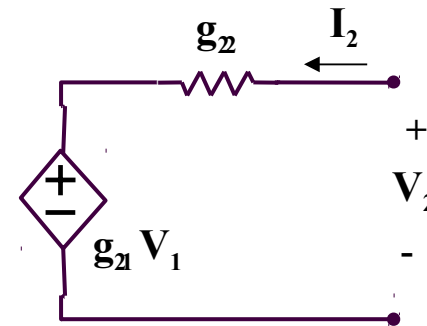
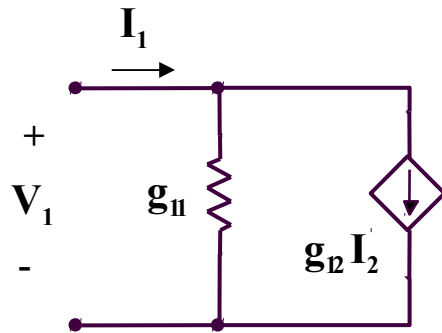
$$R_{of} = R_o (1 + A\beta)$$

Situação real



Parâmetros g são adequados para representar a rede de realimentação pois as variáveis independentes são a tensão de entrada e a corrente de saída

Parâmetros g



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

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

onde:

$$g_{11} = \frac{I_1}{V_1} \Big|_{I_2=0} \quad g_{21} = \frac{V_2}{V_1} \Big|_{I_2=0}$$

$$g_{12} = \frac{I_1}{I_2} \Big|_{V_1=0} \quad g_{22} = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{V_1=0}$$

- g_{11} : admitância de entrada com a saída em aberto
- g_{22} : impedância de saída com entrada em curto
- g_{12} : ganho de corrente de entrada com entrada em curto
- g_{21} : ganho de tensão de saída com saída em aberto

Conclusões:

- O ganho de malha é dado por:

$$\beta = g_{v,r} = \frac{I_{v,r}}{I_{v,r}} \Big|_{V_{v,r}=0}$$

- A malha de realimentação influencia as condutâncias de entrada e saída do amplificador básico pelos parâmetros $g_{11} = 1/R_{11}$ e $g_{22} = R_{22}$
- As resistências de entrada e saída do amplificador realimentado são:

$$R_{if} = (R_i \parallel R_s \parallel R_{v,r}) / (1 + A\beta) \quad R_{of} = (R_o + R_L + R_{v,r}) (1 + A\beta)$$

- R_i e R_o são as resistências de entrada e de saída do circuito A
- As resistências da fonte de sinal e da carga (R_s e R_L) influenciam as resistências de entrada e saída do amplificador realimentado
- As resistências de entrada e de saída unicamente do amplificador realimentado são dadas por:

$$R_{in} = \left(\frac{1}{R_{if}} - \frac{1}{R_s} \right)^{-1} \quad R_{out} = R_{of} - R_L$$

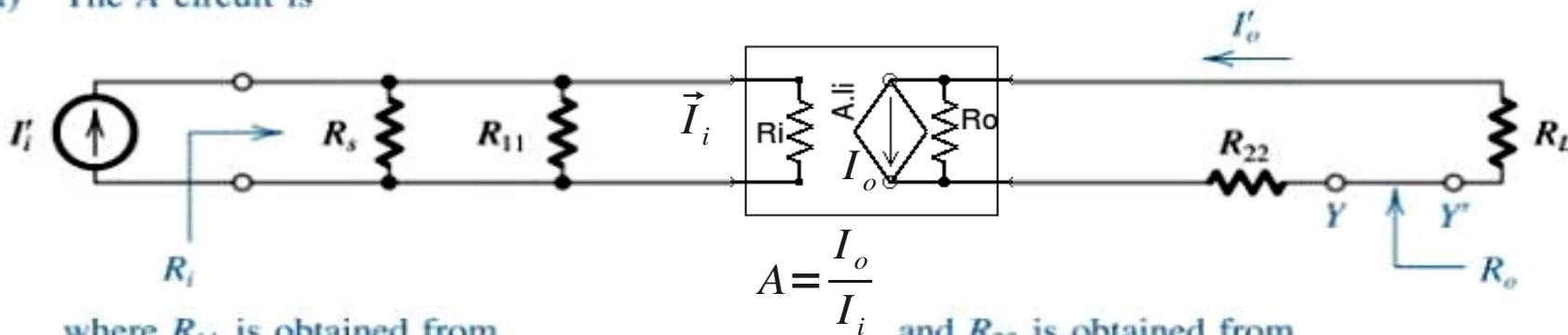
- Obs: Caso não se conheça R_s e R_L faz-se:

$$R_s = \infty$$

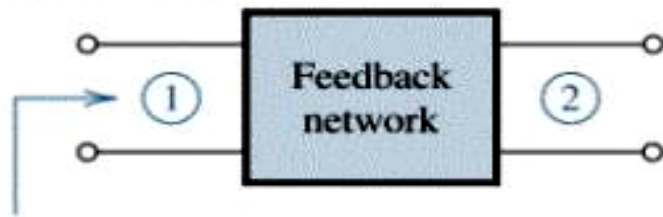
$$R_L = 0$$

Realimentação Paralelo-Série

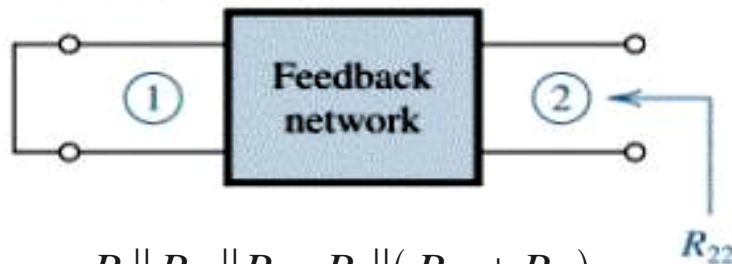
(a) The A circuit is



where R_{11} is obtained from



and R_{22} is obtained from

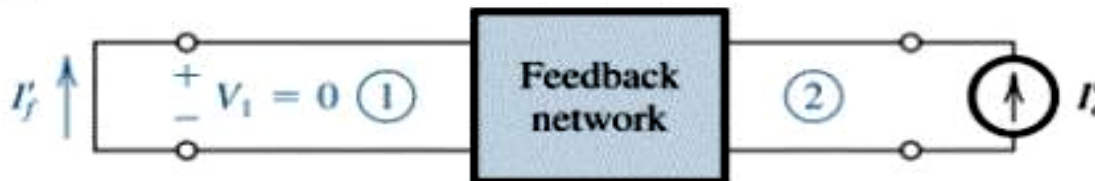


A' is defined as:

$$A' = \frac{I_o'}{I_i'}$$

$$A' = A \frac{R_i \parallel R_{11} \parallel R_s}{R_i} \cdot \frac{R_o \parallel (R_{22} + R_L)}{R_{22} + R_L}$$

(b) β is obtained from



$$\beta \equiv \left. \frac{I_f'}{I_o'} \right|_{V_1 = 0}$$

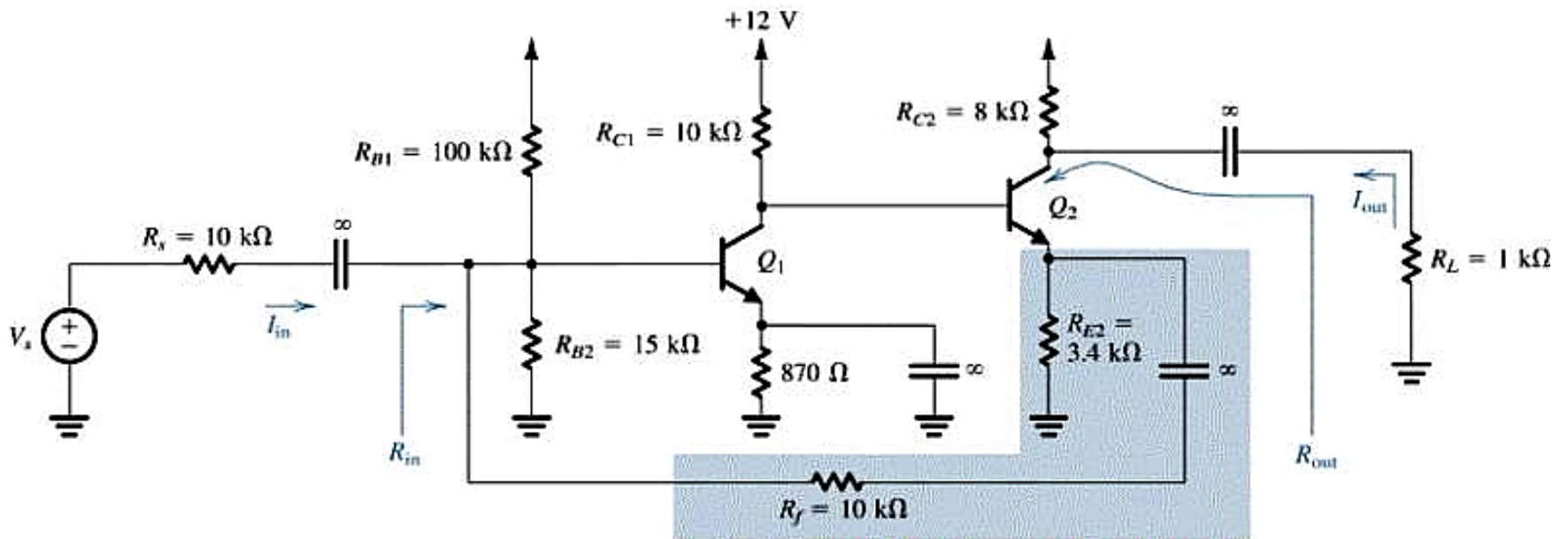
$$R_{if} = (R_i \parallel R_s \parallel R_{11}) / (1 + A\beta)$$

$$R_{of} = (R_o + R_L + R_{22})(1 + A\beta)$$

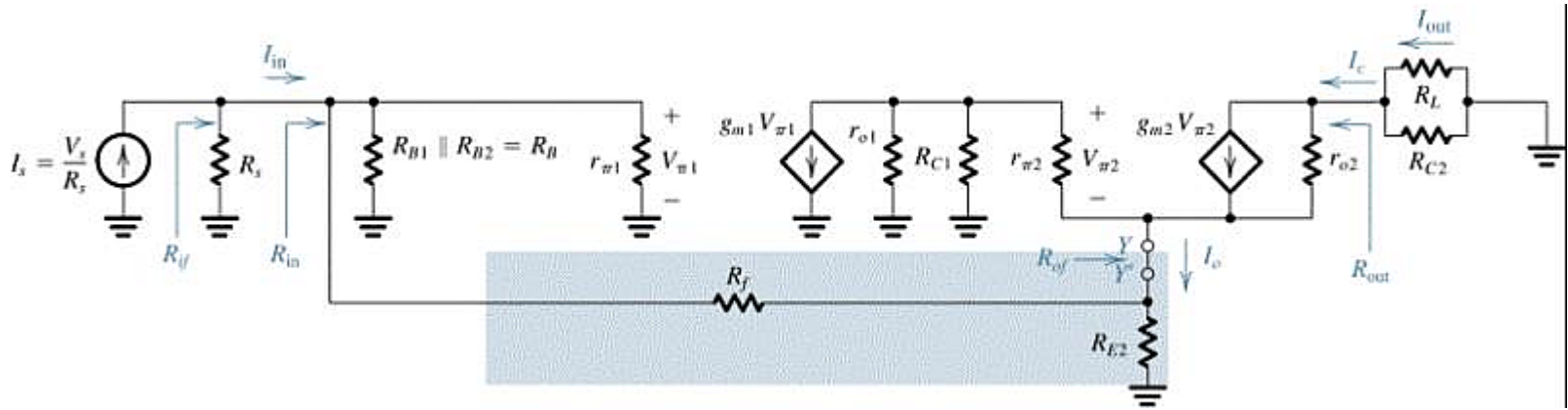
$$R_{in} = \left(\frac{1}{R_{if}} - \frac{1}{R_s} \right)^{-1}$$

$$R_{out} = R_{of} - R_L$$

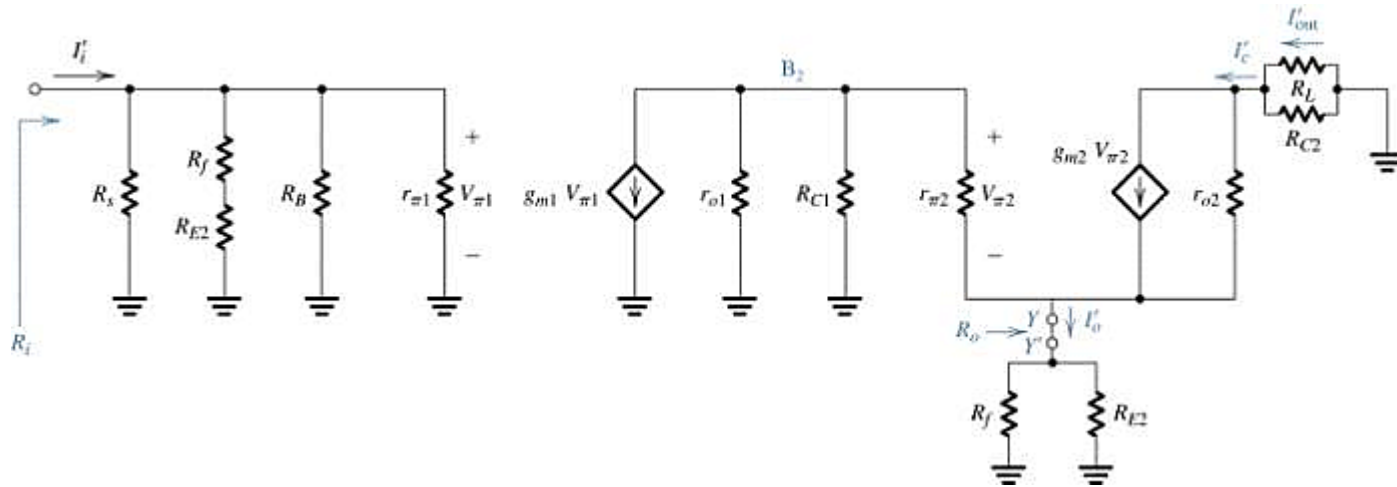
Exemplo 8.4 (Sedra): Determinar o ganho de corrente, R_{in} e R_{out} .



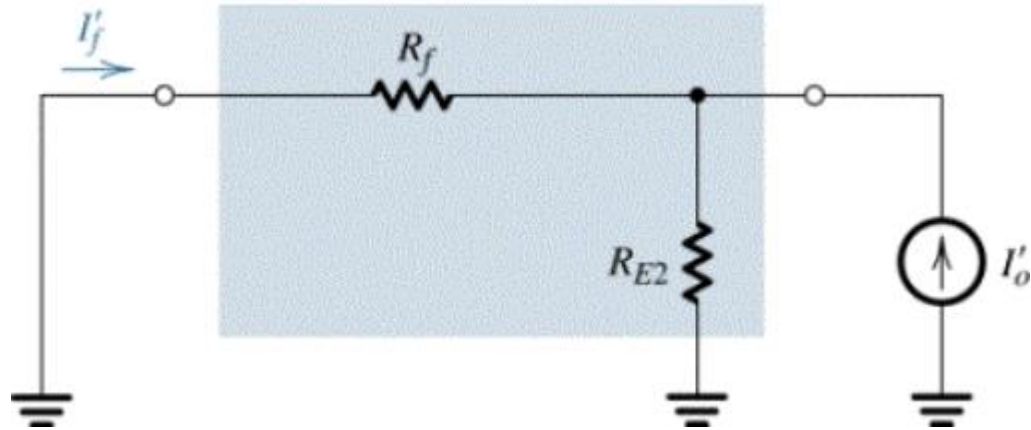
Modelo de pequenos sinais



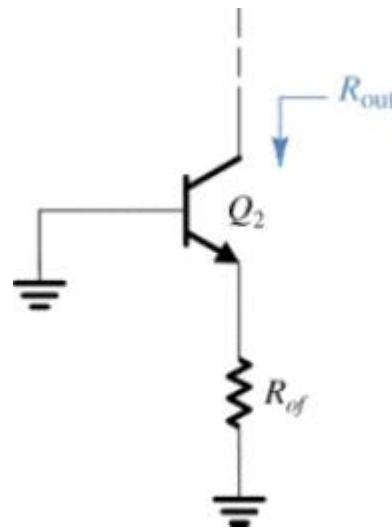
Circuito A



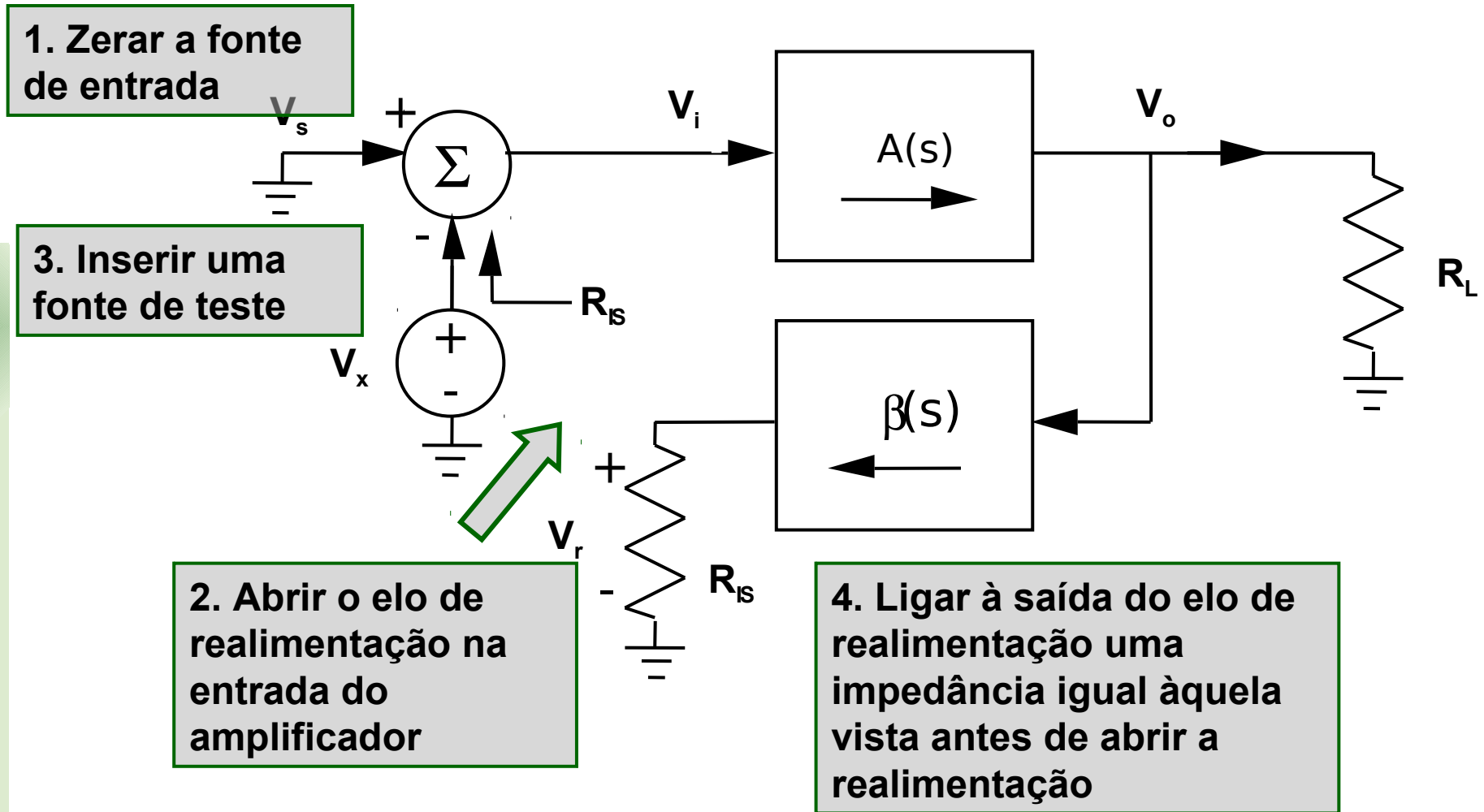
Circuito para determinar β



Circuito para determinar R_{at}



3.8 DETERMINAÇÃO DIRETA DO GANHO DE MALHA



Análise

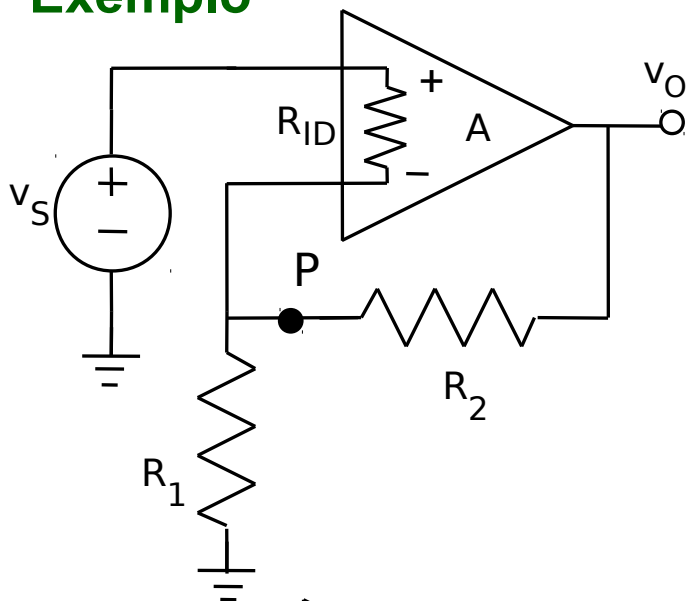
$$V_r = \beta V_o$$

$$V_o = AV_i = -AV_x$$

$$V_r = -A\beta V_x$$

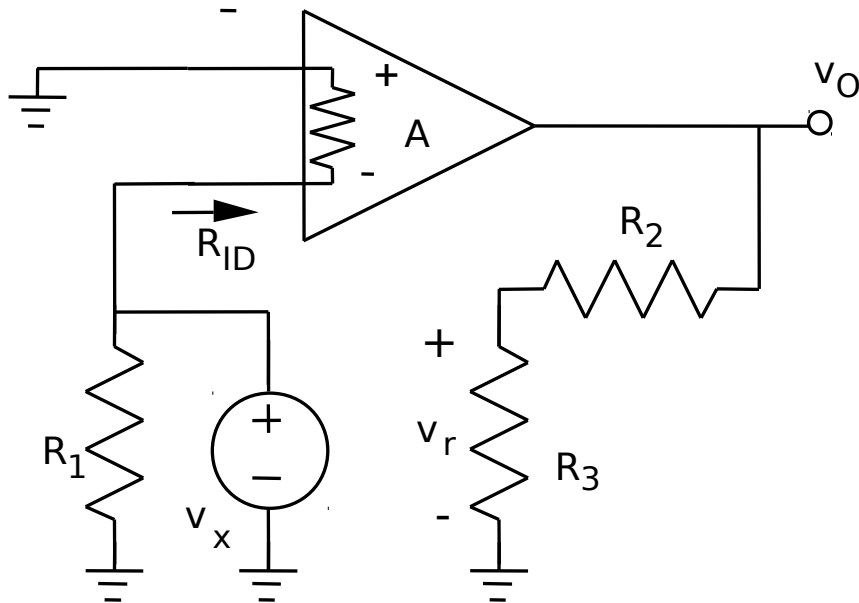
Ganho de malha $L = -\frac{V_r}{V_x} = A\beta$

Exemplo



$$R_3 = R_1 \parallel R_{ID}$$

$$V_r = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_o$$



$$V_r = \frac{R_3}{R_2 + R_3} (-AV_x)$$

$$L = -\frac{V_r}{V_x} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} A$$