

# CAP. 3

# REALIMENTAÇÃO

# INTRODUÇÃO

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

**Realimentação:** {  
    **Positiva (regenerativa)**  
    **Negativa (degenerativa)**

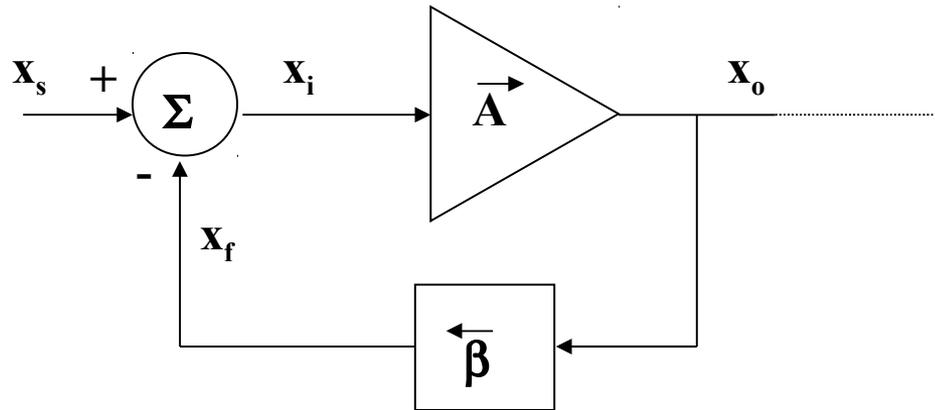
## Vantagens da realimentação negativa

- **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



$\beta$ : 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

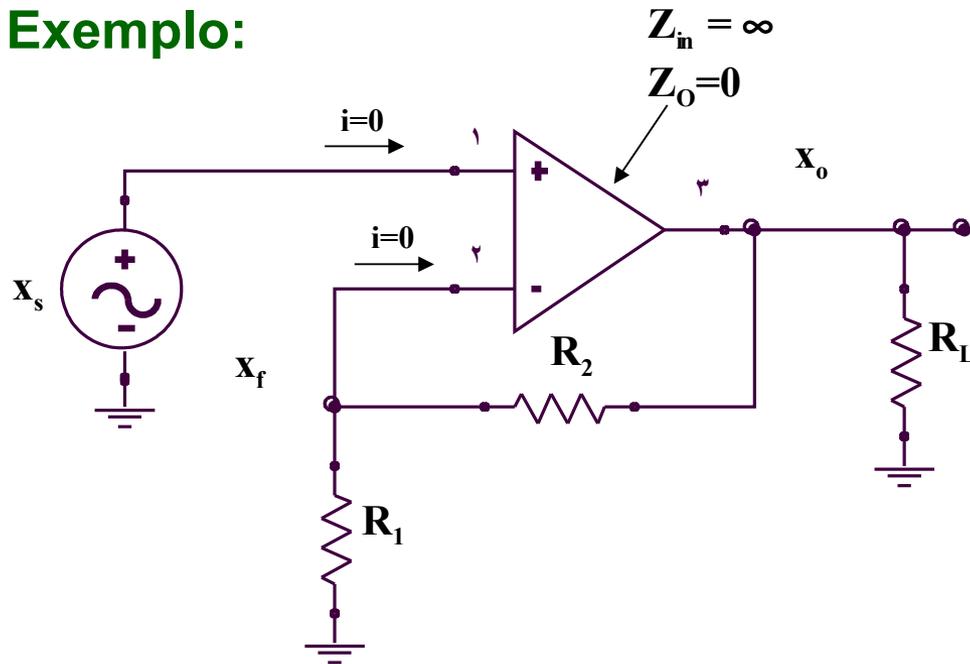
**Se  $A\beta \gg 1 \rightarrow A_f \approx 1/\beta$**

**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:

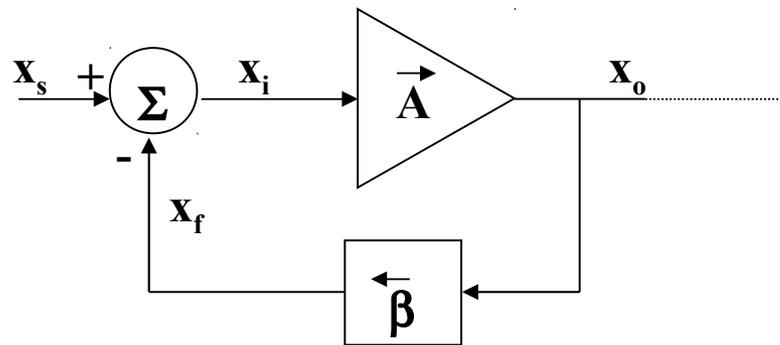


$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

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

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

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

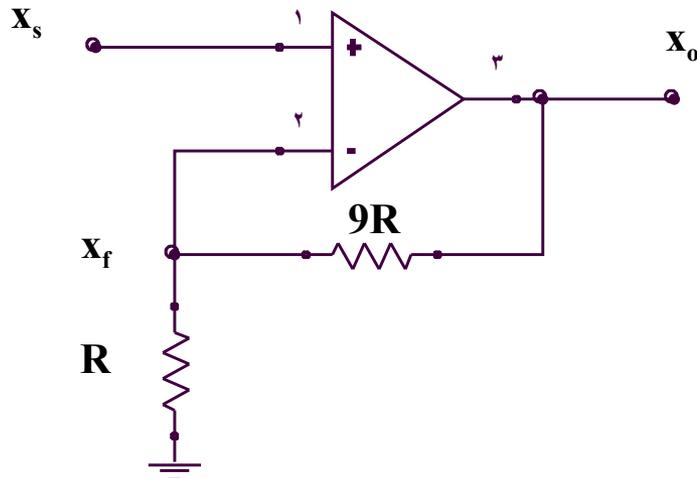


## 3.2 ALGUMAS PROPRIEDADES DA REALIMENTAÇÃO NEGATIVA

### 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

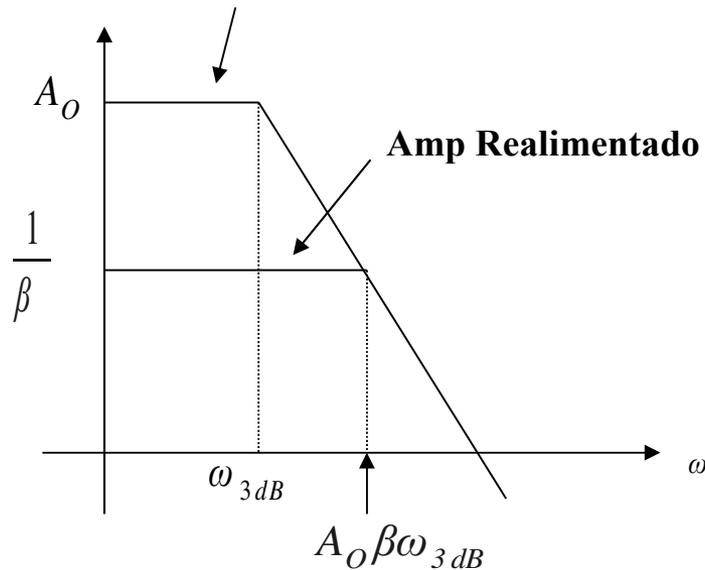
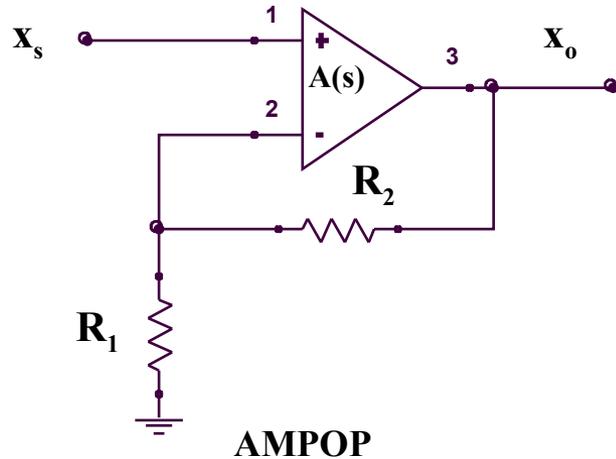


$$A=10000$$

$$\beta=0.1$$

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

## b) Extensão da largura de banda



$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_{r_{dB}}}}$$

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

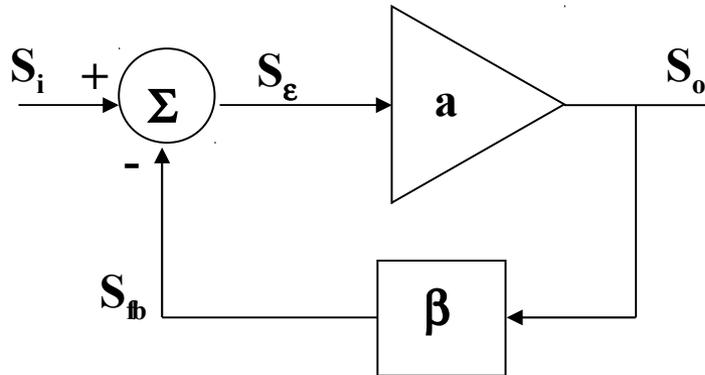
$$A_f = \frac{\frac{A_0}{(1 + A_0\beta)}}{1 + \frac{s}{\omega_{r_{dBf}}}}$$

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

$\omega_{3dBf}$  **Frequência de corte do amplificador realimentado**

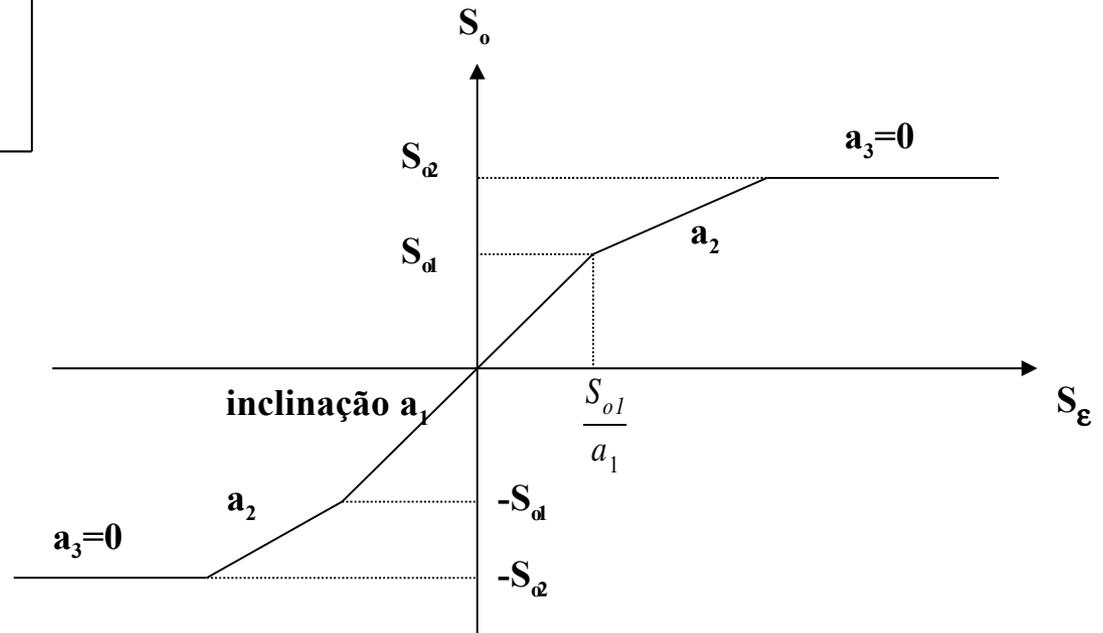
$\omega_{3dB}$  **Frequência de corte do AMPOP**

## c) Redução na distorção



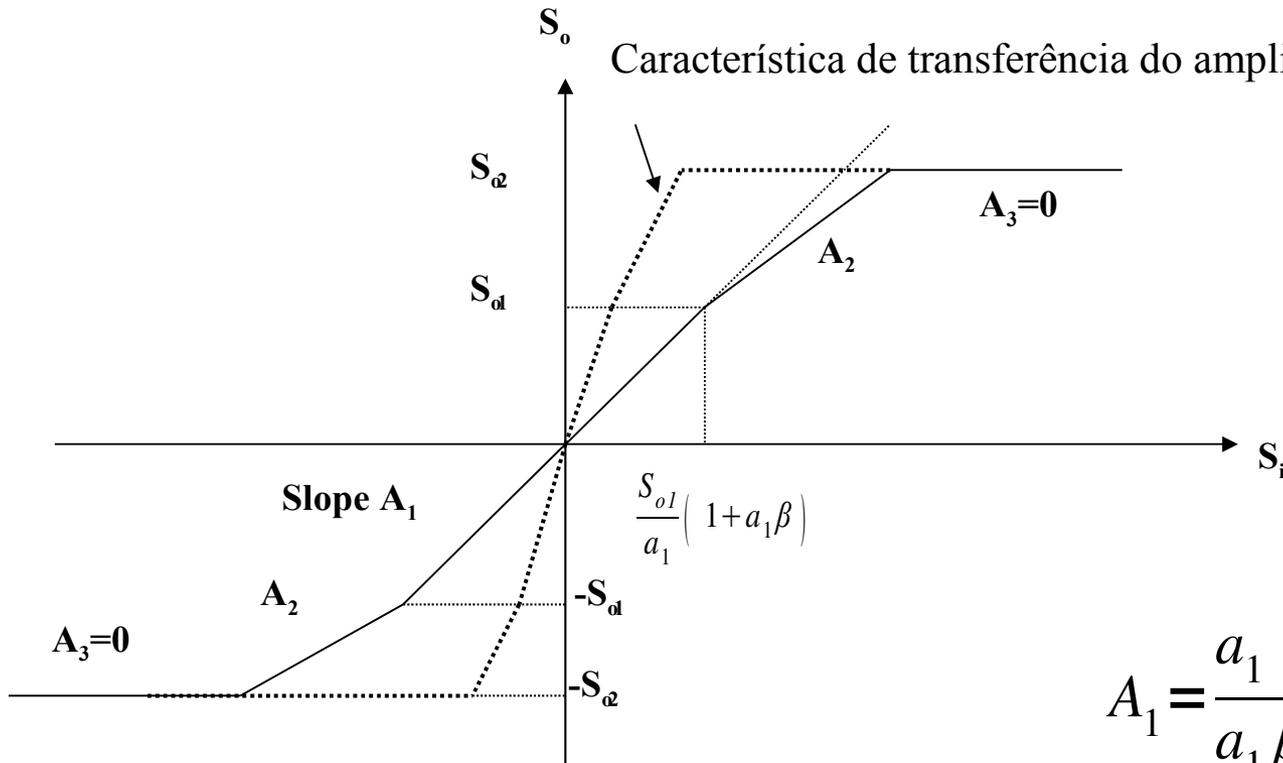
$$A_f = \frac{a}{1 + a\beta}$$

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



**Característica de transferência do amplificador básico**

Característica de transferência do amplificador básico

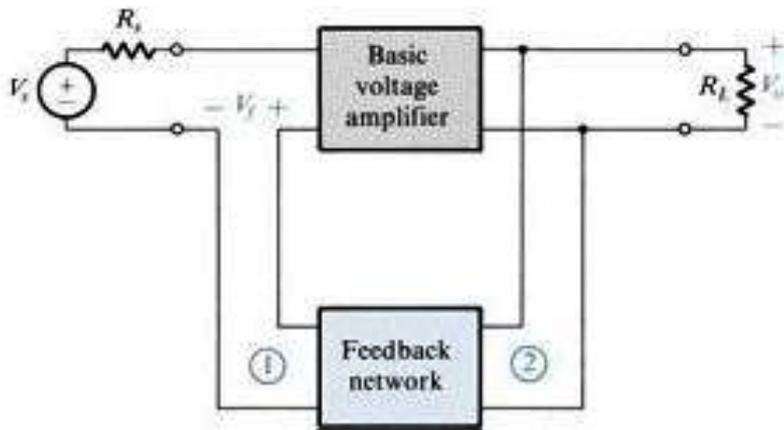


$$A_1 = \frac{a_1}{a_1\beta + 1} \approx \frac{1}{\beta}$$

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

## 3.3 AS QUATRO TOPOLOGIAS BÁSICAS DA REALIMENTAÇÃO

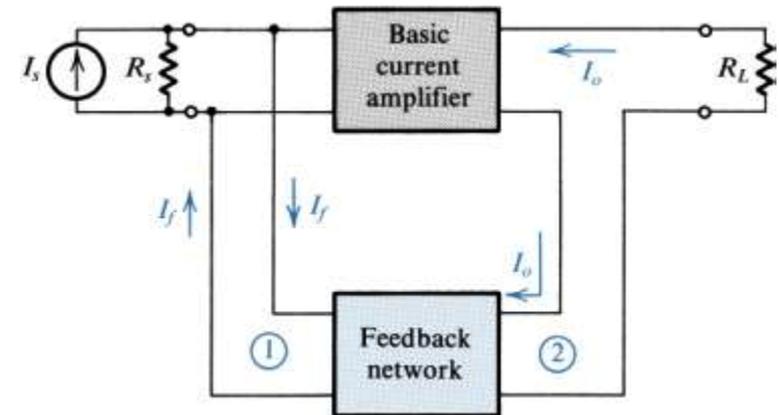
### a) Realimentação série-paralelo



#### Amplificador de tensão:

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

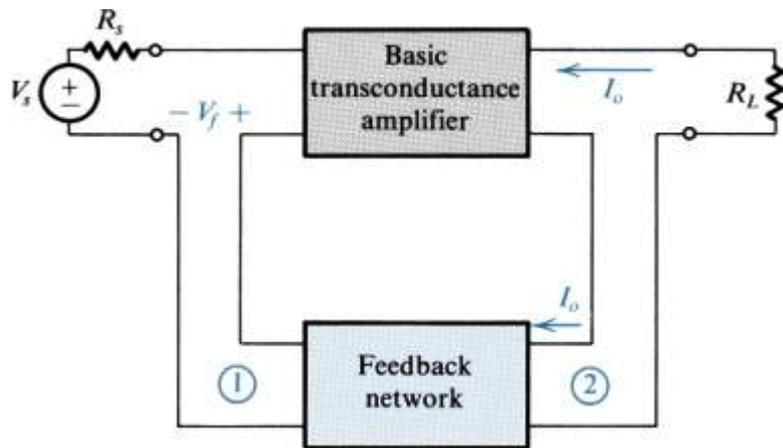
### b) Realimentação paralelo-série



#### 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

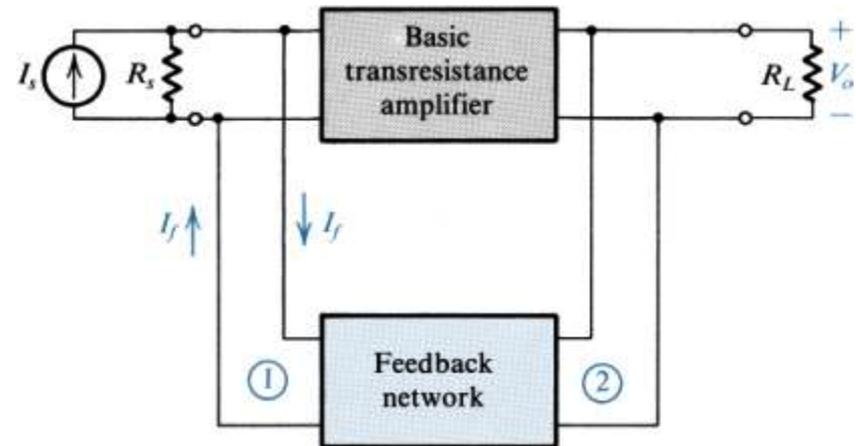
### c) Realimentação série-série



#### 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

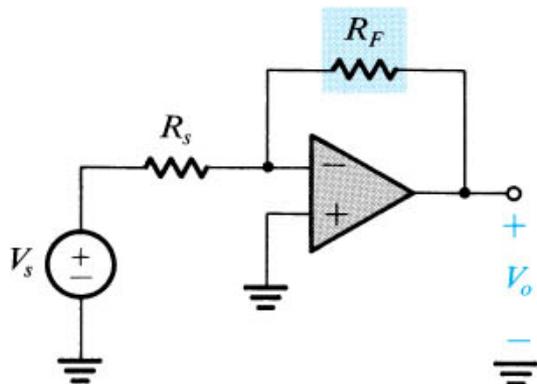


#### Amplificador corrente-tensão:

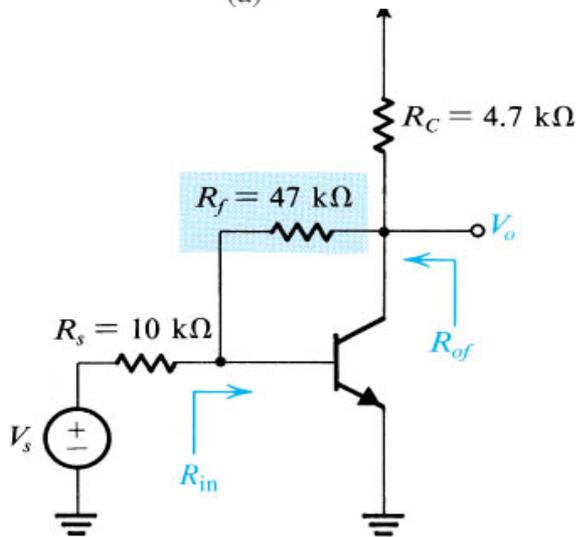
- realimentação em paralelo com a entrada: reduz impedância de entrada
- amostra de tensão paralela à saída: reduz impedância de saída

## Identificação da topologia de realimentação:

Paralelo-paralelo:

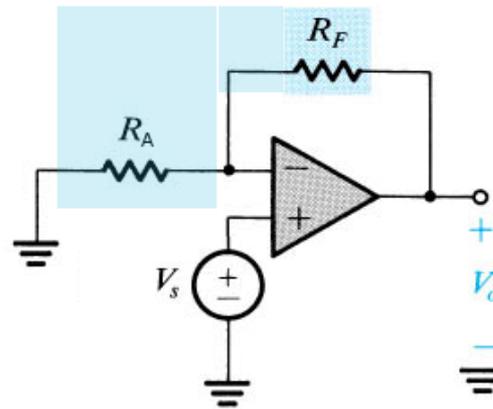


(a)

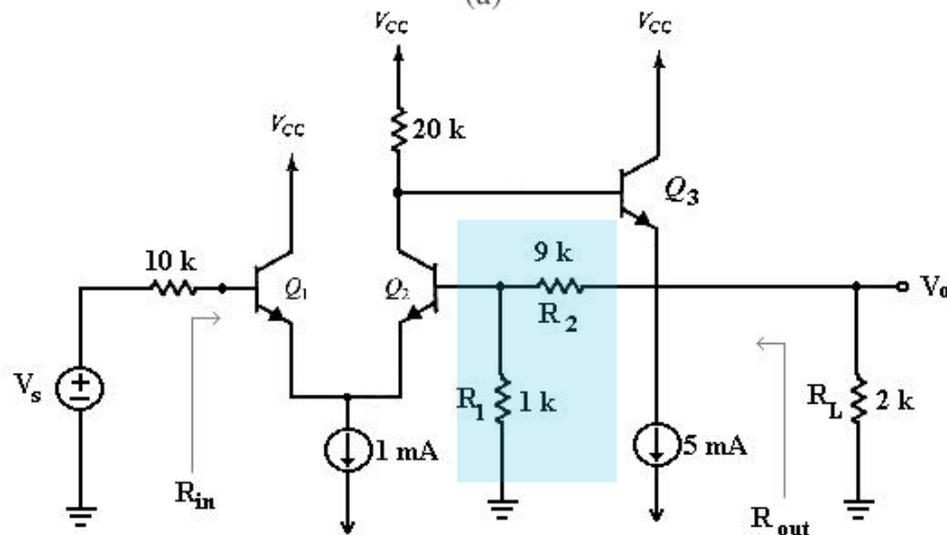


(a)

Série-paralelo:

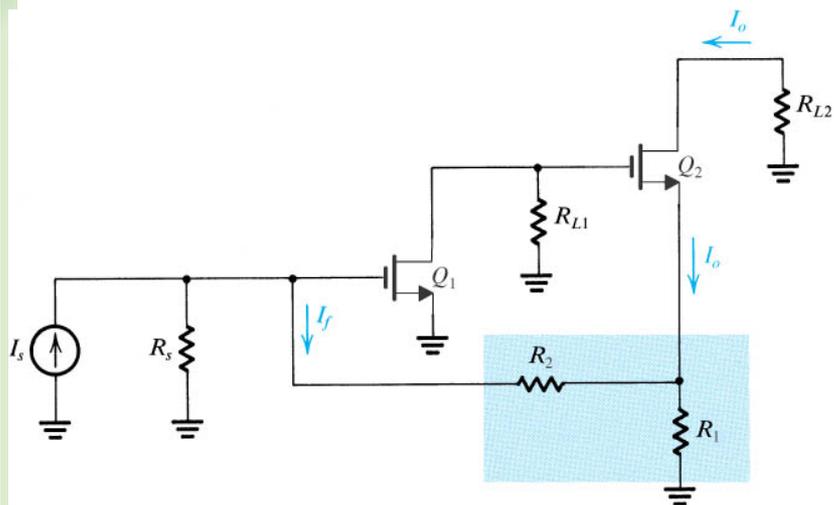
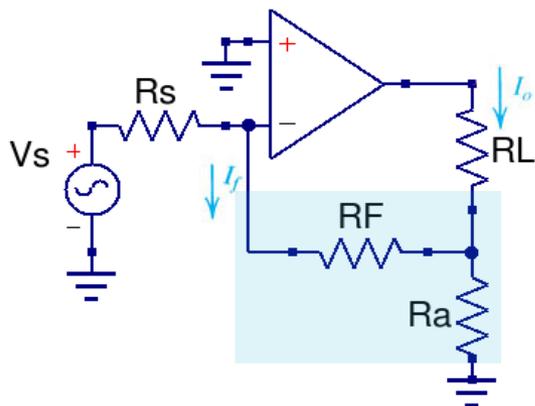


(a)

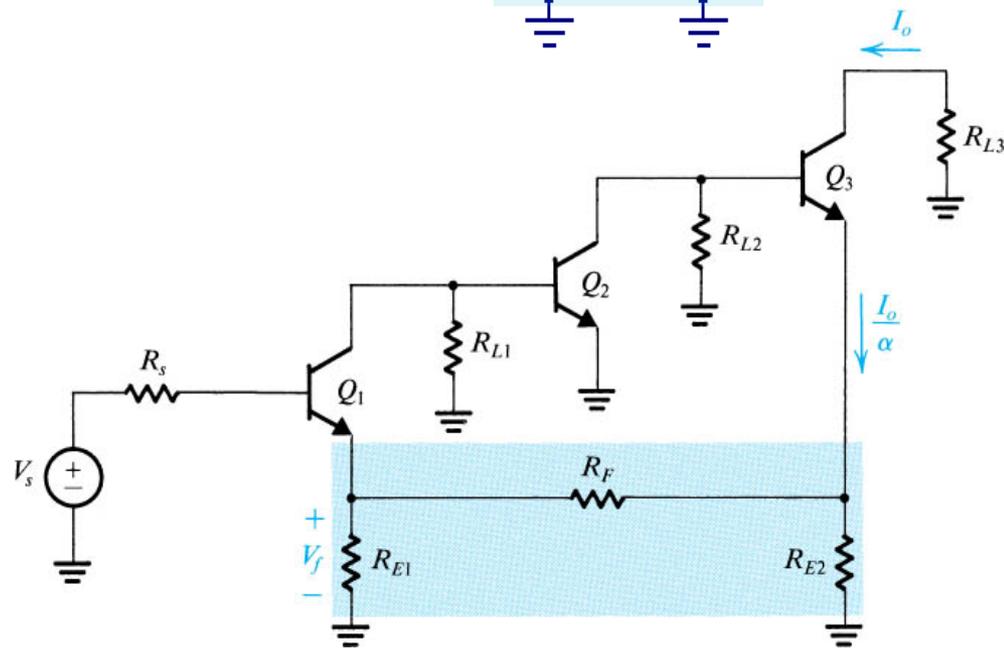
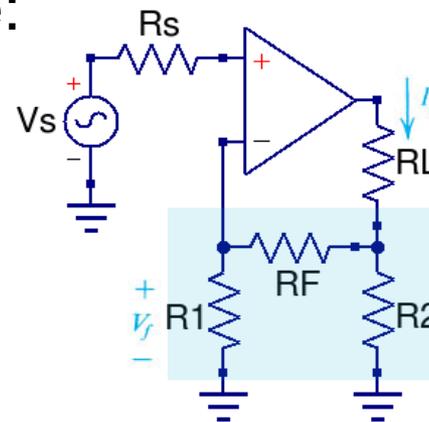


## Identificação da topologia de realimentação:

Paralelo-série:



Série-série:



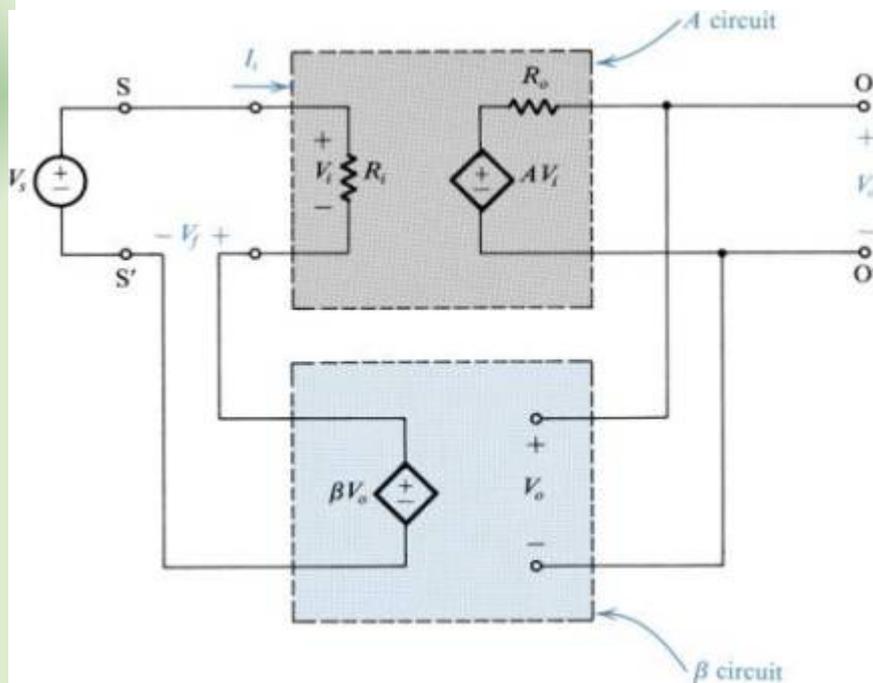
## 3.4 AMPLIFICADOR COM REALIMENTAÇÃO SÉRIE-PARALELO

### Situação ideal:

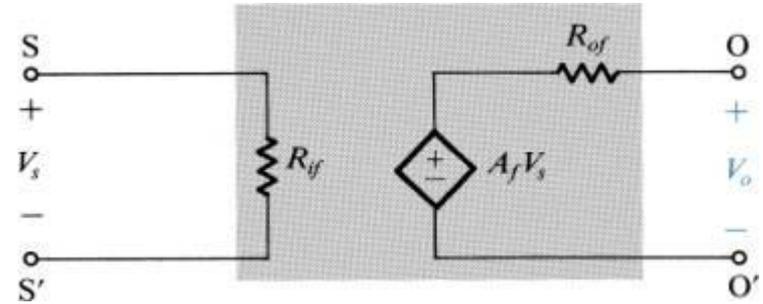
Malha de realimentação não "carrega" o circuito principal:

- 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:

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

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

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

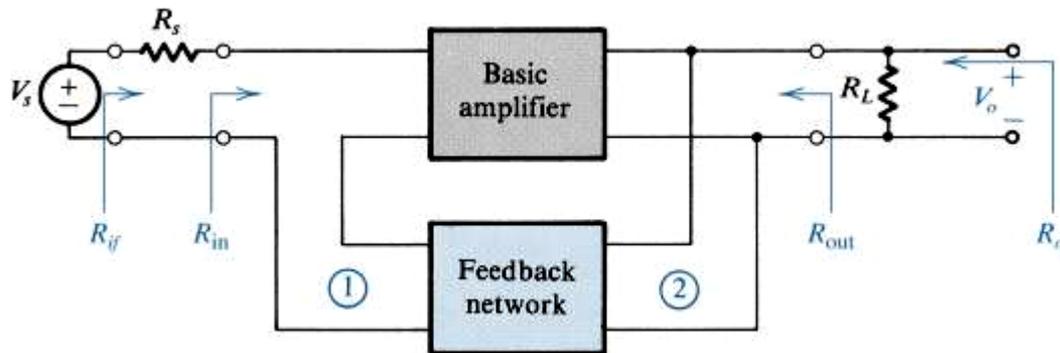
Generalizando no domínio s:

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

## Situação real:

Malha de realimentação:

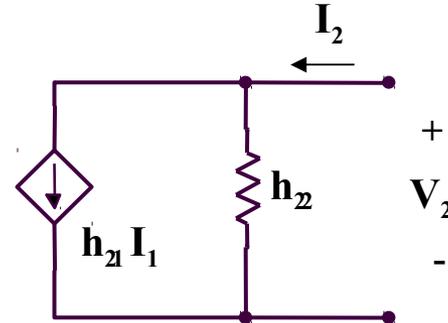
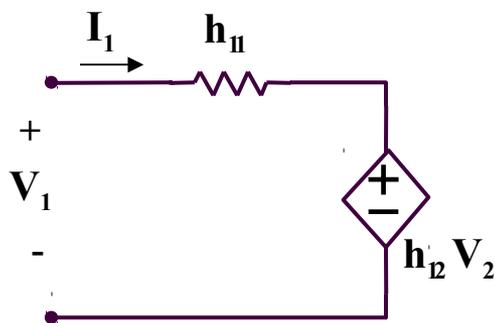
- Representa uma carga para o amplificador básico
- afeta os valores de  $A$ ,  $R_i$ , e  $R_o$



Para determinar os parâmetros  $A$  e  $\beta$  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:

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

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

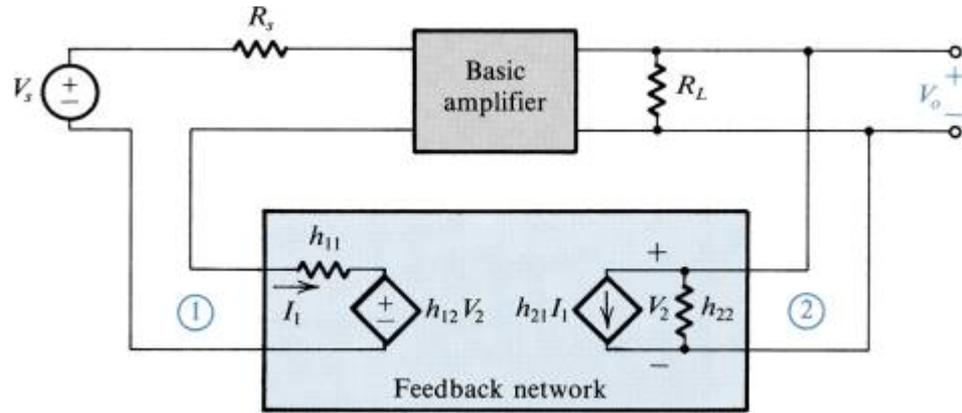
$$I_2 = h_{21} I_1 + h_{22} V_2$$

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

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

- $h_{11}$ : 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:

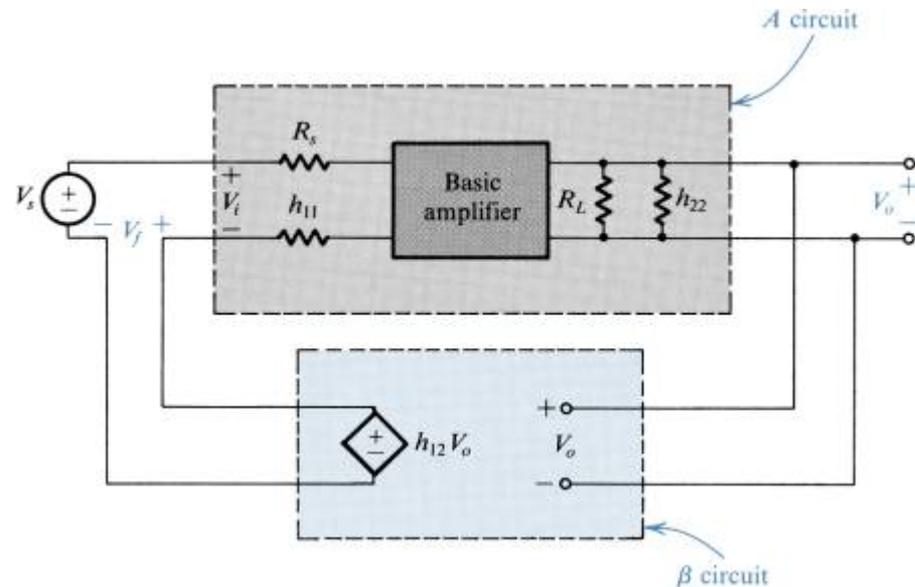
- ganho de corrente direto:
- ganho de tensão reverso:

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

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

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:

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

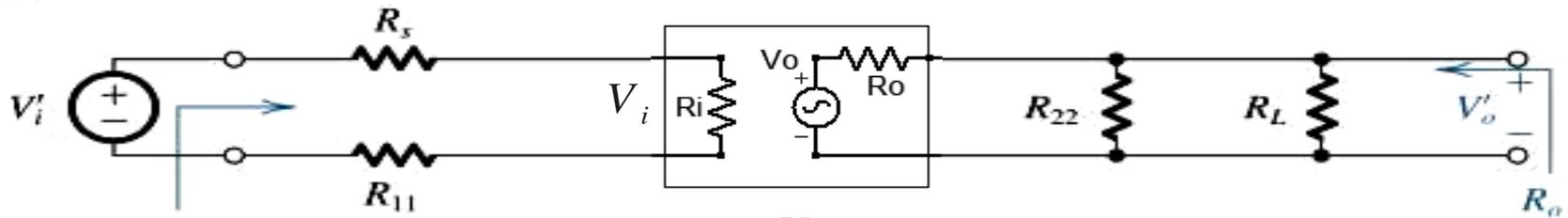
- Obs: Caso não se conheça  $R_s$  e  $R_L$  faz-se:

$$R_s = 0$$

$$R_L = \infty$$

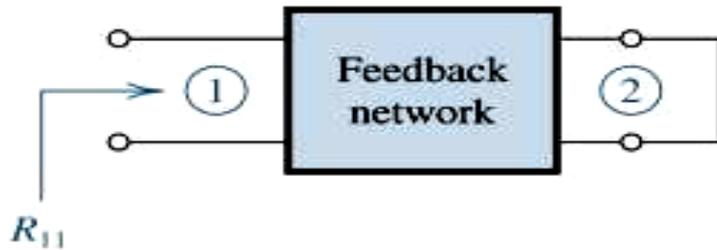
# Realimentação Série-Paralelo

(a) The A circuit is

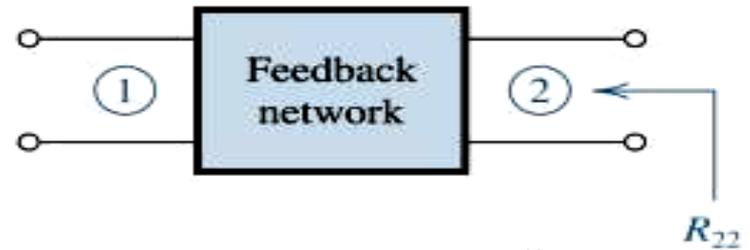


$$A = \frac{V_o}{V_i}$$

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)  $\beta$  is obtained from



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

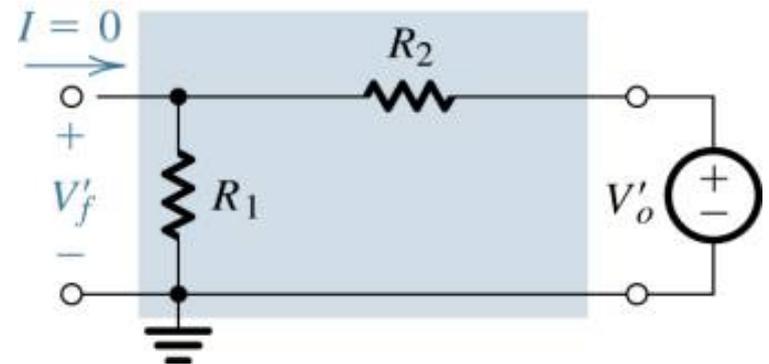
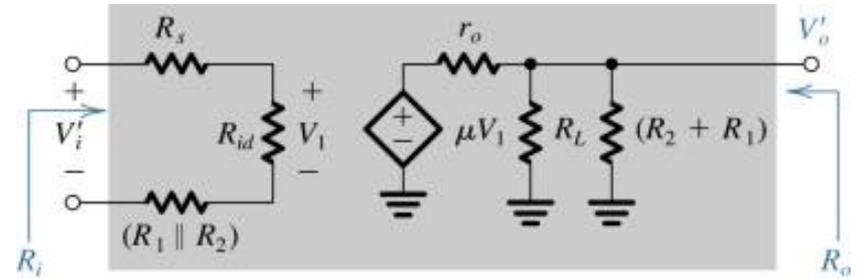
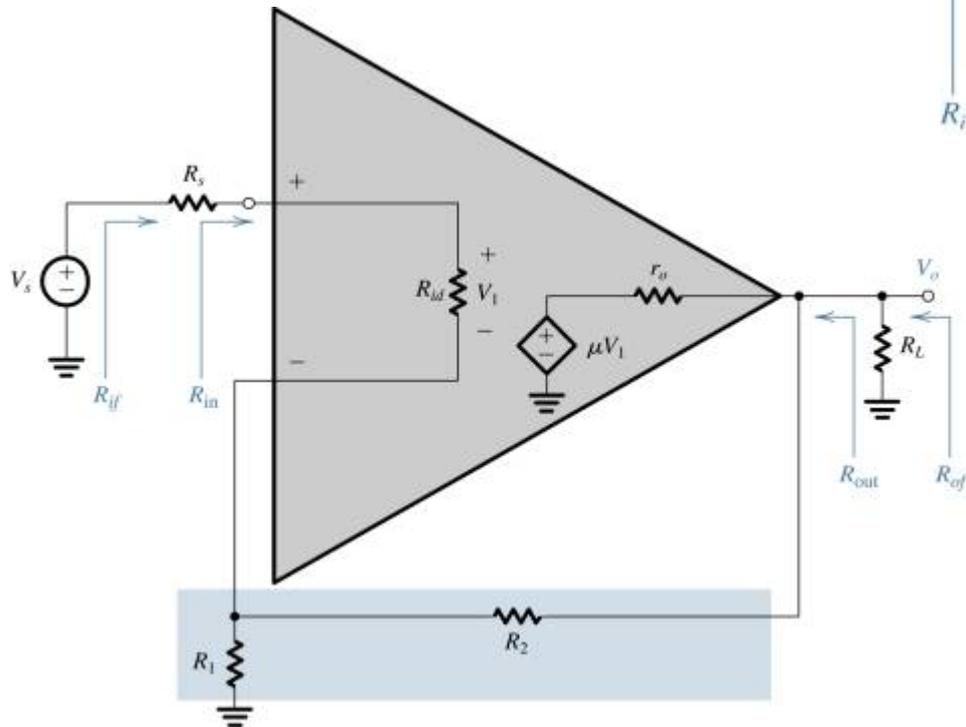
$$R_{if} = (R_i + R_s + R_{11})(1 + A' \beta)$$

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

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

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

# Exemplo:



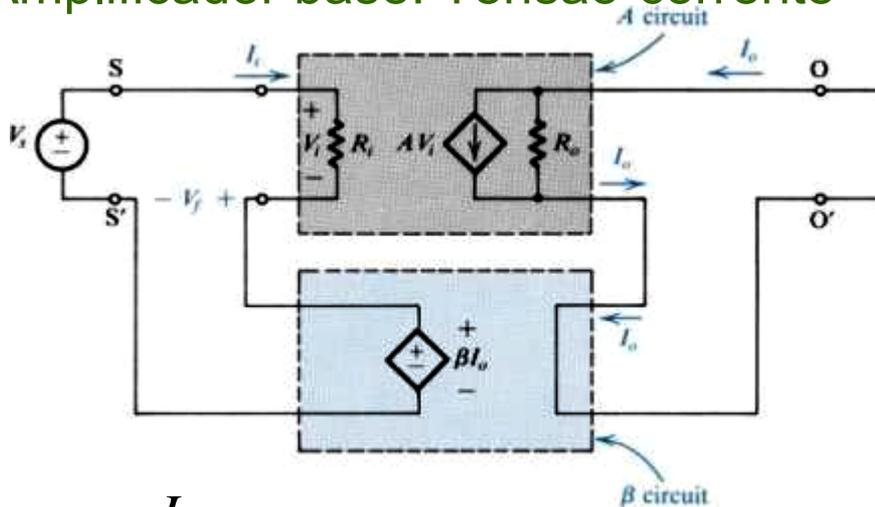
## 3.5 AMPLIFICADOR COM REALIMENTAÇÃO SÉRIE-SÉRIE

### Situação ideal:

Malha de realimentação não "carrega" o circuito principal:

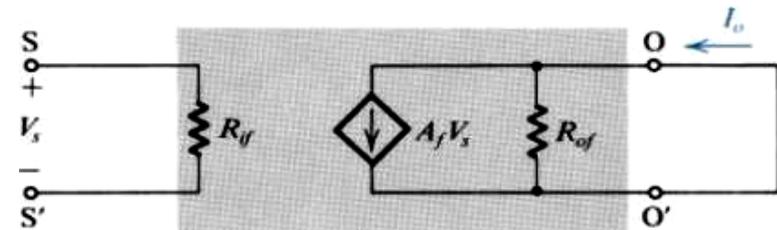
- Resistência de entrada zero
- Resistência de saída infinita

Amplificador base: Tensão-corrente



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

Circuito equivalente:

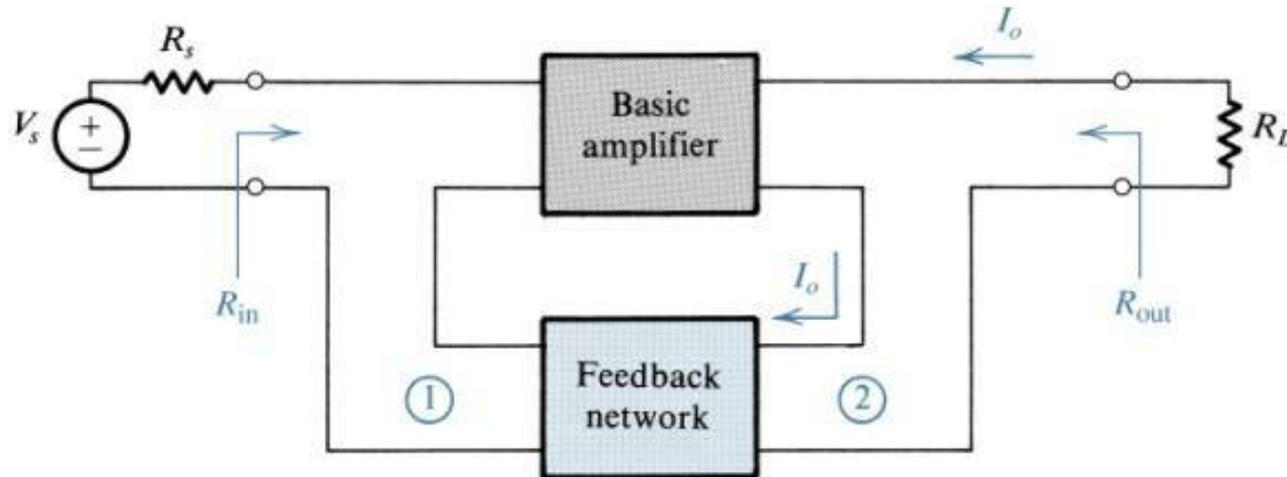


$$A_f \equiv \frac{I_o}{V_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

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

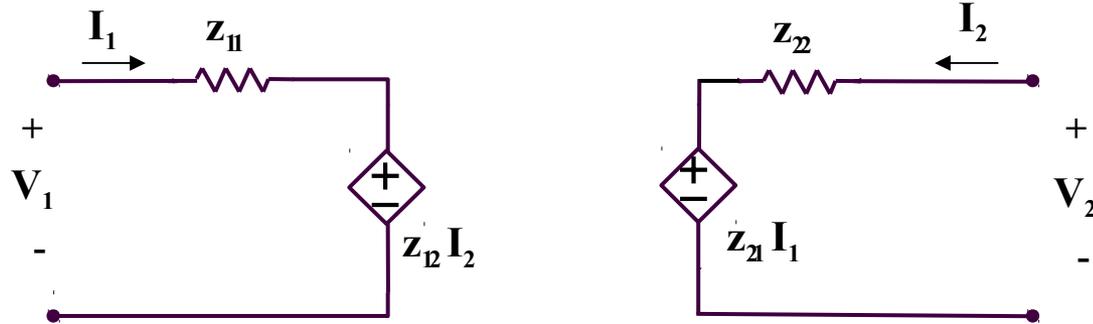
$$R_{of} = R_o (1 + A\beta)$$

## 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



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

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

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

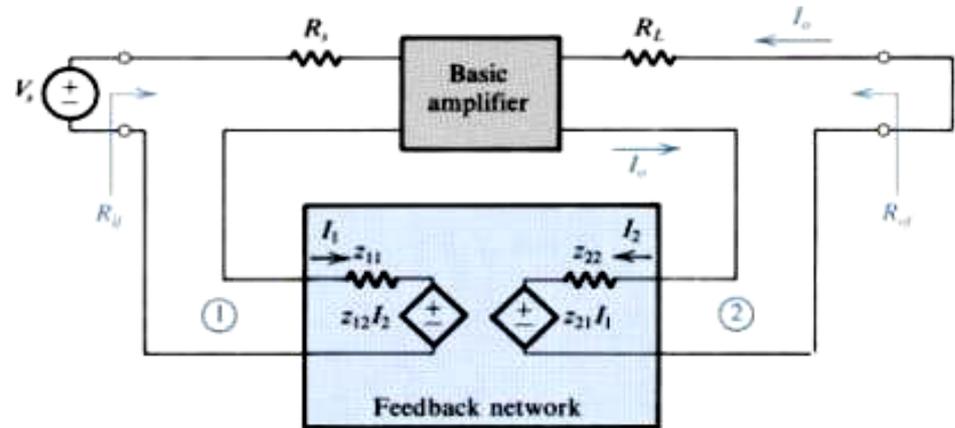
onde:

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

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

- $z_{11}$  : 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:

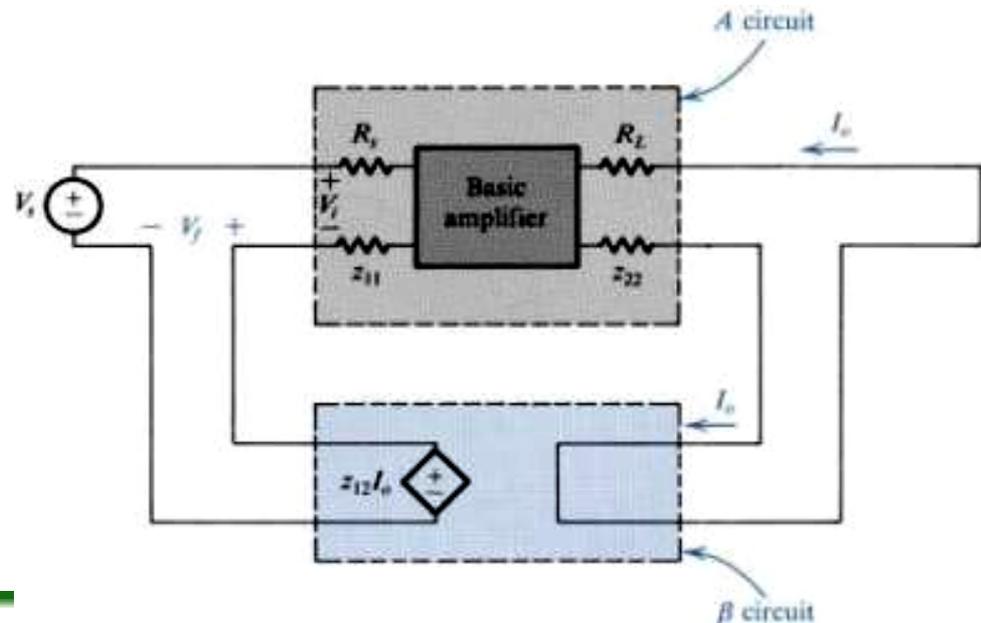
- Transimpedância de saída:
- Transimpedância de entrada:

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

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

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:

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

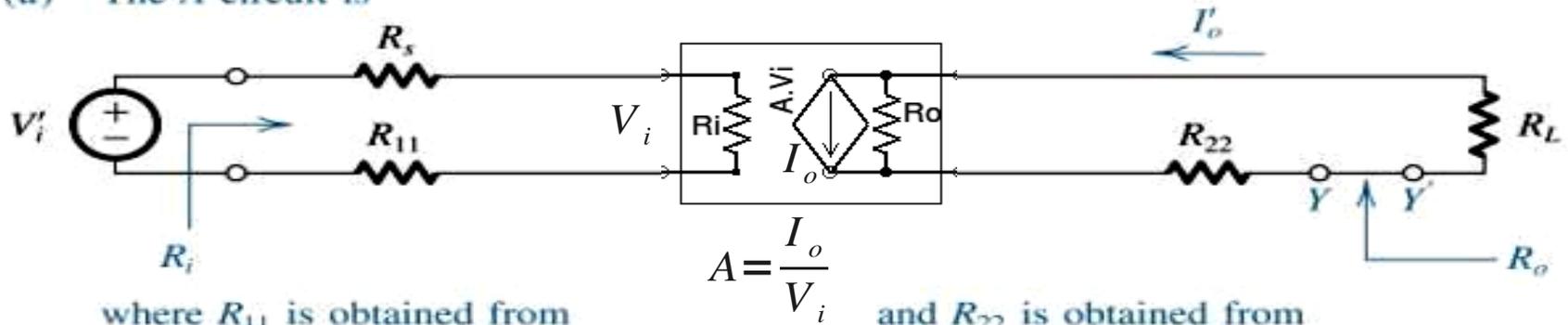
- Obs: Caso não se conheça  $R_s$  e  $R_L$  faz-se:

$$R_s = 0$$

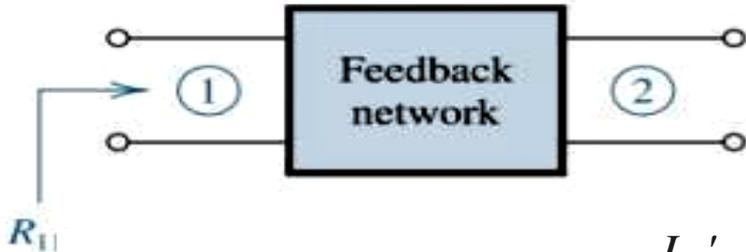
$$R_L = 0$$

# Realimentação Série-Série

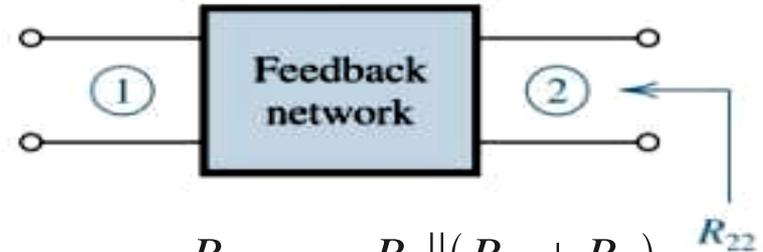
(a) The A circuit is



where  $R_{11}$  is obtained from



and  $R_{22}$  is obtained from

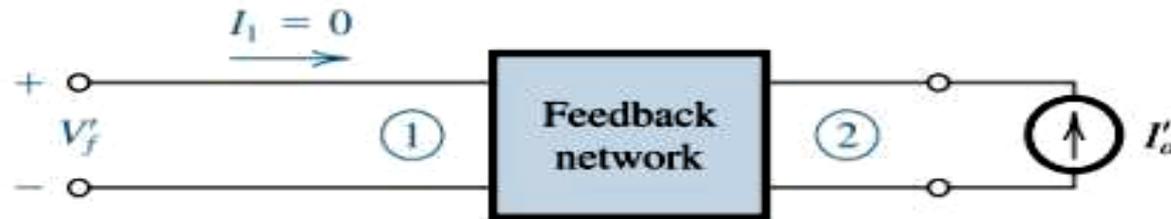


$A'$  is defined as:

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

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

(b)  $\beta$  is obtained from



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

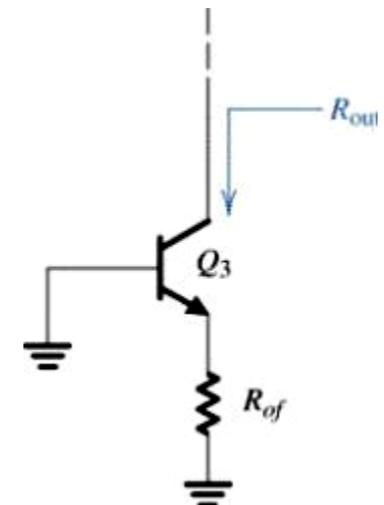
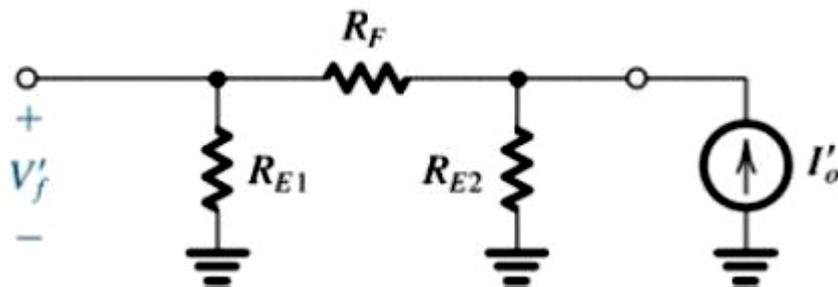
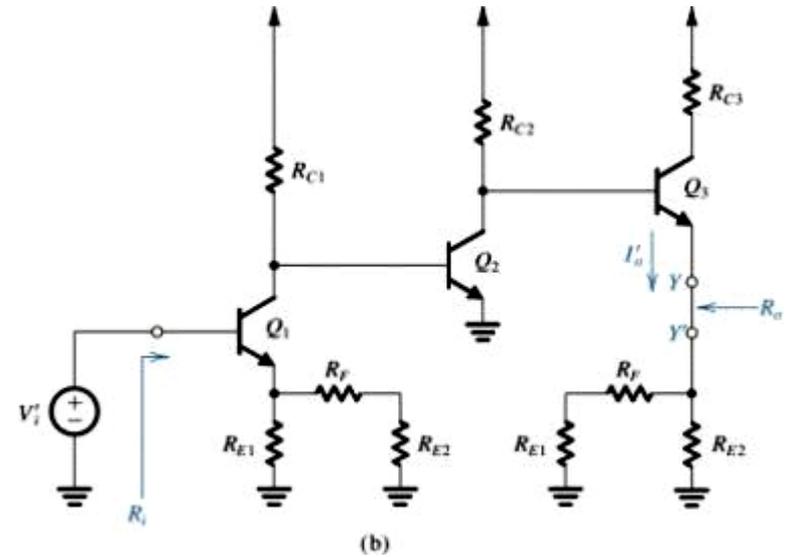
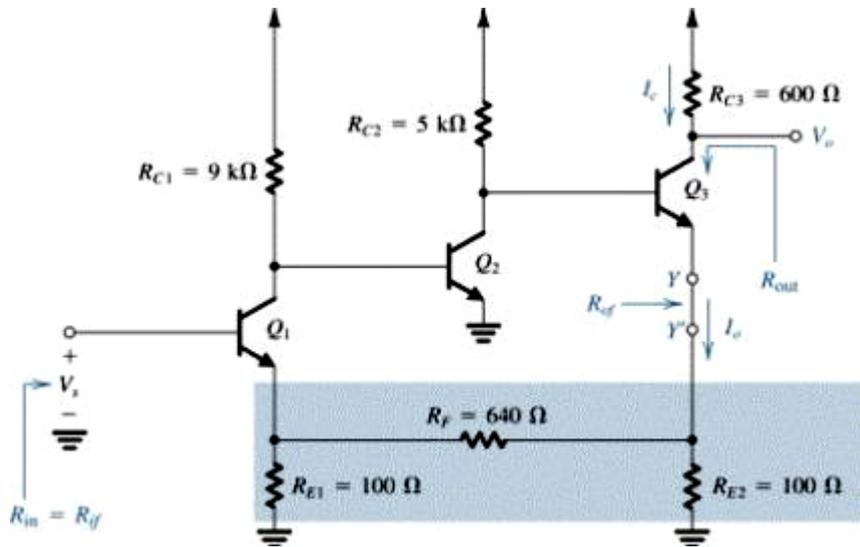
$$R_{if} = (R_i + R_s + R_{11})(1 + A' \beta)$$

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

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

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

## Exemplo 8.2 (Sedra)



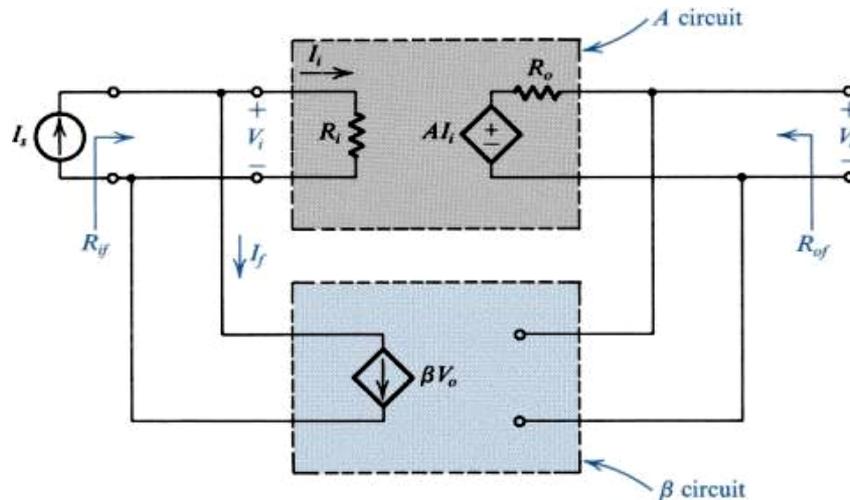
# 3.6 AMPLIFICADOR COM REALIMENTAÇÃO PARALELO-PARALELO

## Situação ideal:

Malha de realimentação não "carrega" o circuito principal:

- Resistência de entrada infinita
- Resistência de saída infinita

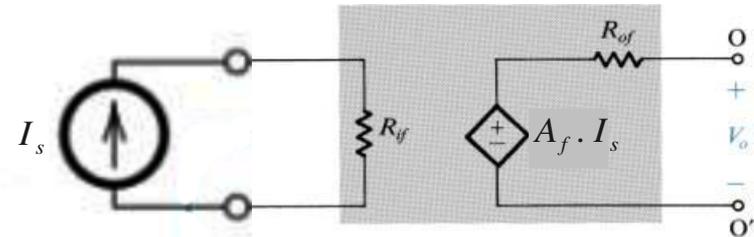
Amplificador base: Corrente-tensão



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

$\beta$  é uma transcondutância

Circuito equivalente:

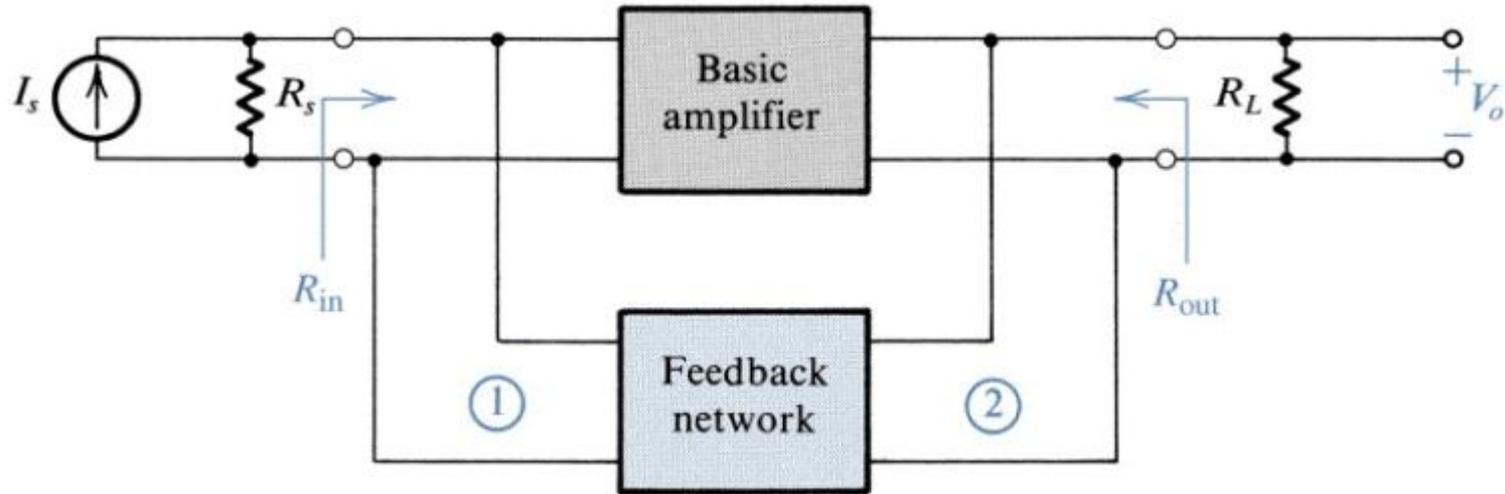


$$A_f \equiv \frac{V_o}{I_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

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

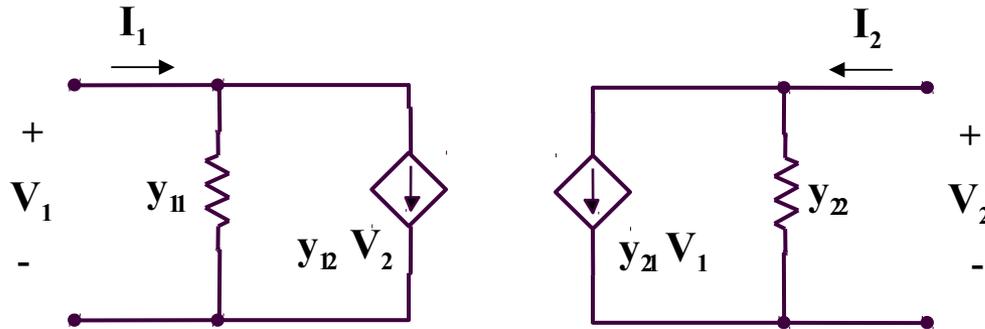
$$R_{of} = R_o / (1 + A\beta)$$

## 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



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

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

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

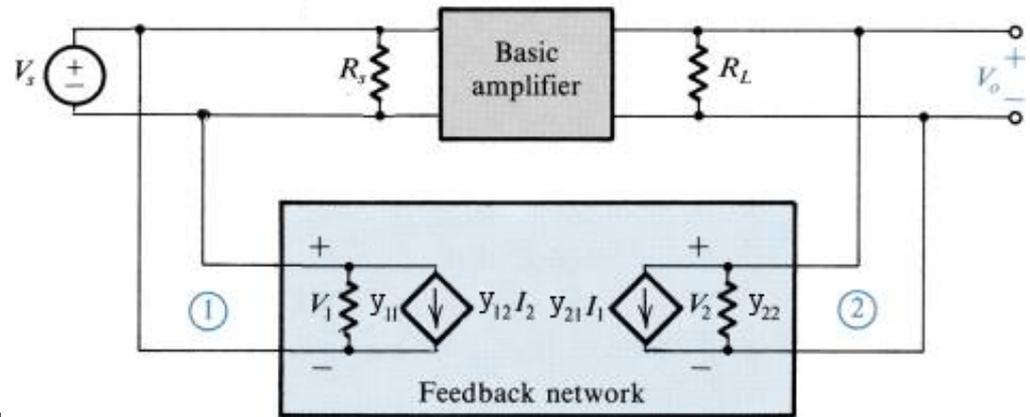
onde:

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

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

- $y_{11}$ : 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:

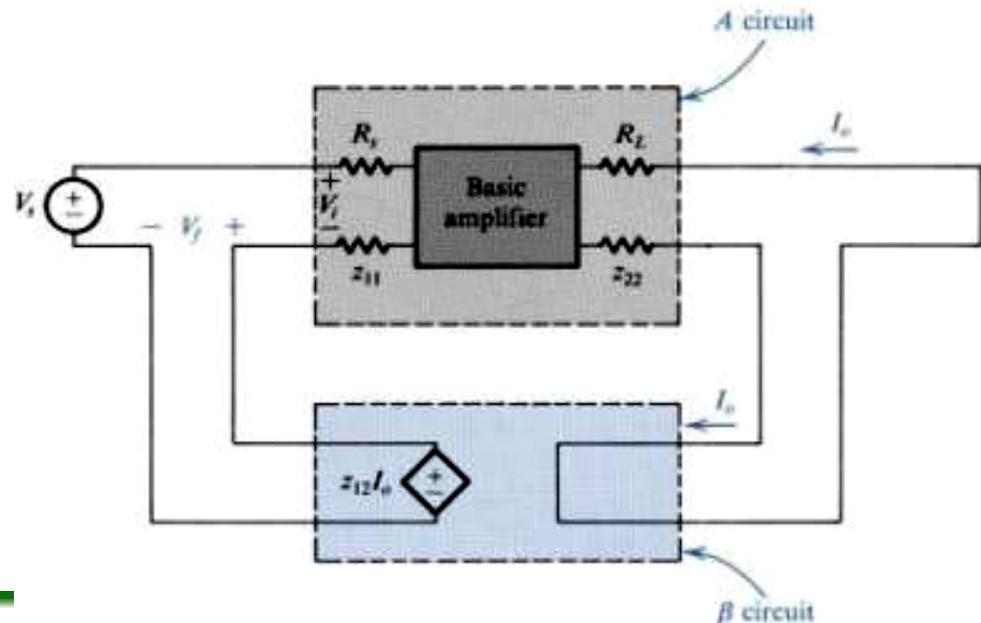
- Transimpedância de saída:
- Transimpedância de entrada:

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

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

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:

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

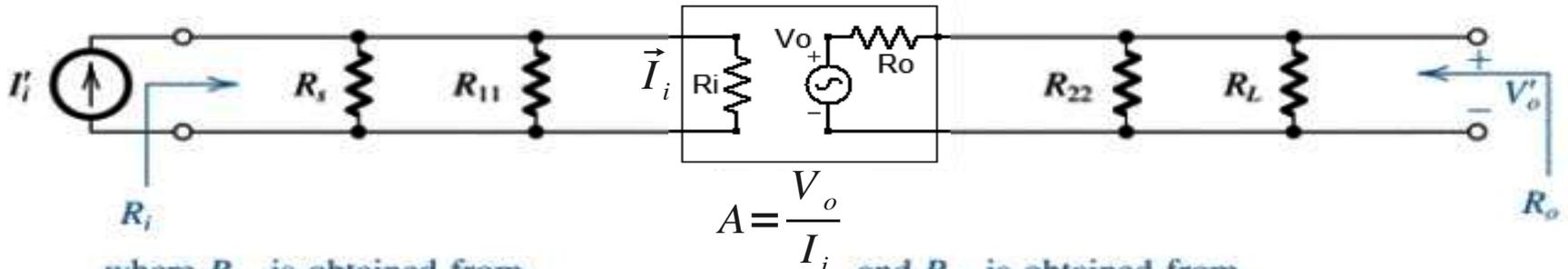
- Obs: Caso não se conheça  $R_s$  e  $R_L$  faz-se:

$$R_s = \infty$$

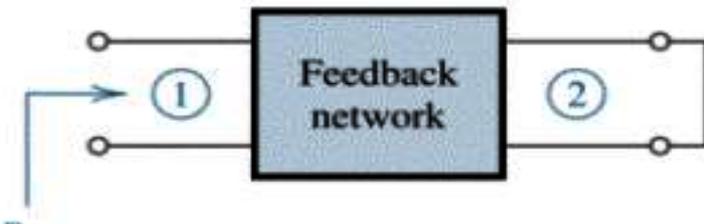
$$R_L = \infty$$

## Realimentação Paralelo-Paralelo

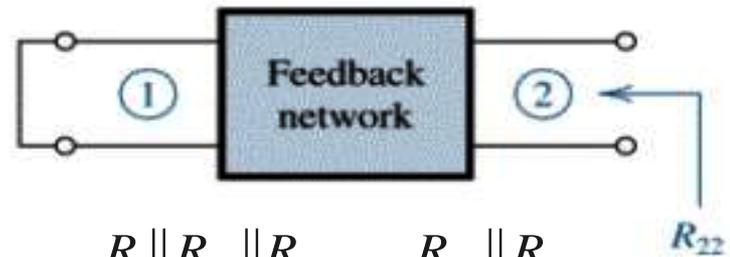
(a) The A circuit is



where  $R_{11}$  is obtained from



and  $R_{22}$  is obtained from

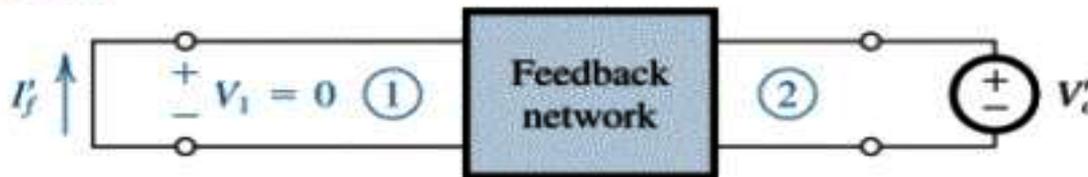


$A'$  is defined as:

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

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

(b)  $\beta$  is obtained from



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

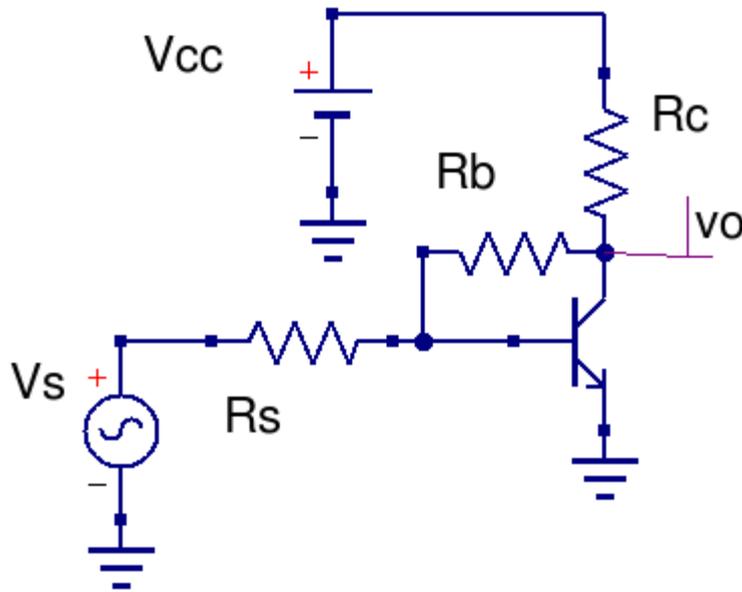
$$R_{if} = (R_i \parallel R_s \parallel R_{11}) / (1 + A' \beta)$$

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

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

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

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



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

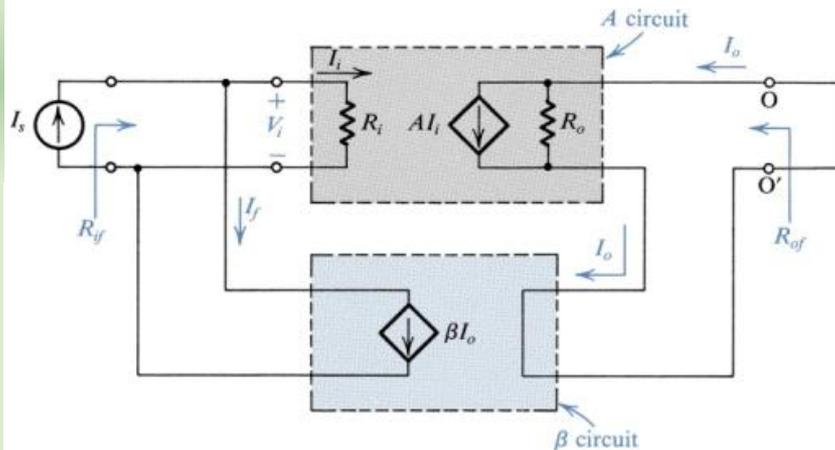
## 3.7 AMPLIFICADOR COM REALIMENTAÇÃO PARALELO-SÉRIE

### Situação ideal:

Malha de realimentação não "carrega" o circuito principal:

- Resistência de entrada zero
- Resistência de saída infinita

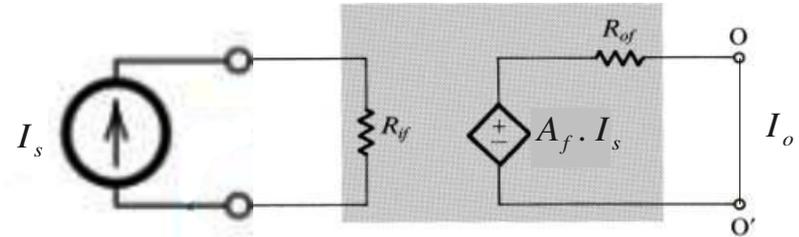
Amplificador base: Corrente-corrente



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

$\beta$  é um ganho de corren

Circuito equivalente:

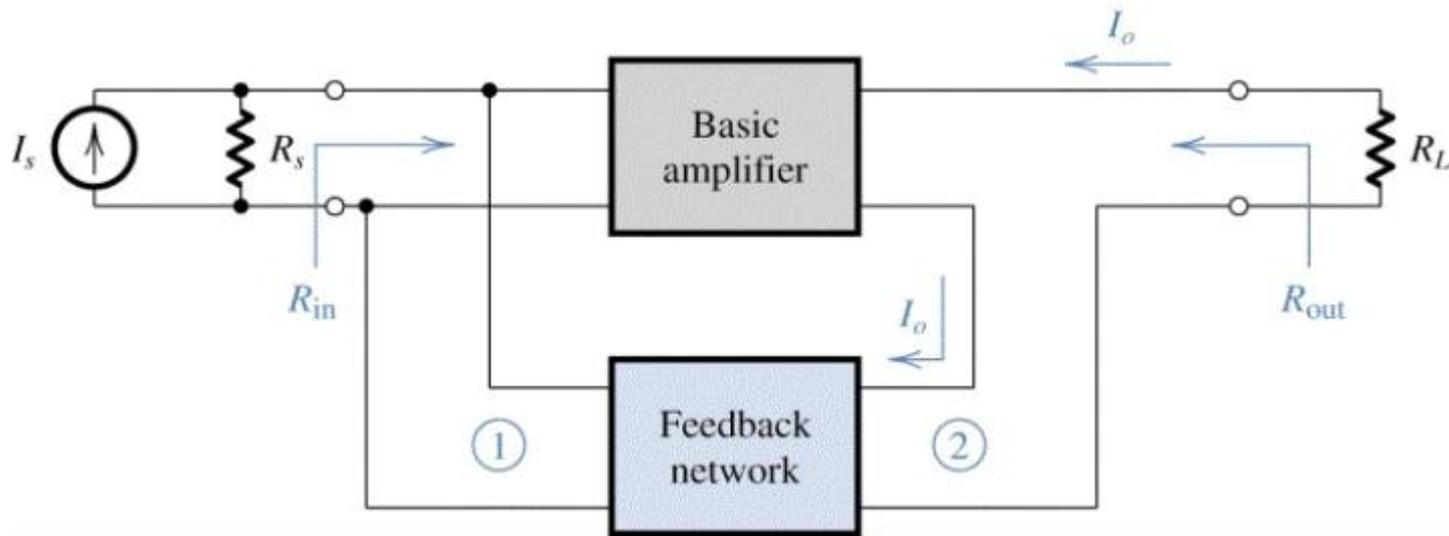


$$A_f \equiv \frac{I_o}{I_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

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

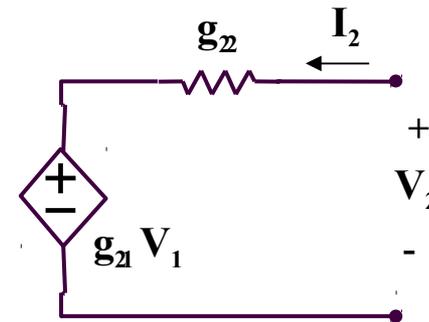
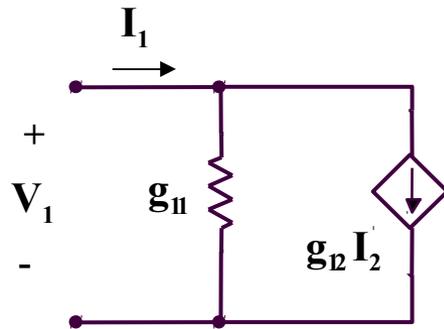
$$R_{of} = R_o (1 + A\beta)$$

## 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:

$$\beta = g_{v,v} = \frac{I_{v_1}}{I_{v_2}} \Big|_{V_{v_1}=0}$$

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

$$R_{if} = (R_i \parallel R_s \parallel R_{v_1}) / (1 + A\beta) \quad R_{of} = (R_o + R_L + R_{v_2}) (1 + A\beta)$$

- $R_i$  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:

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

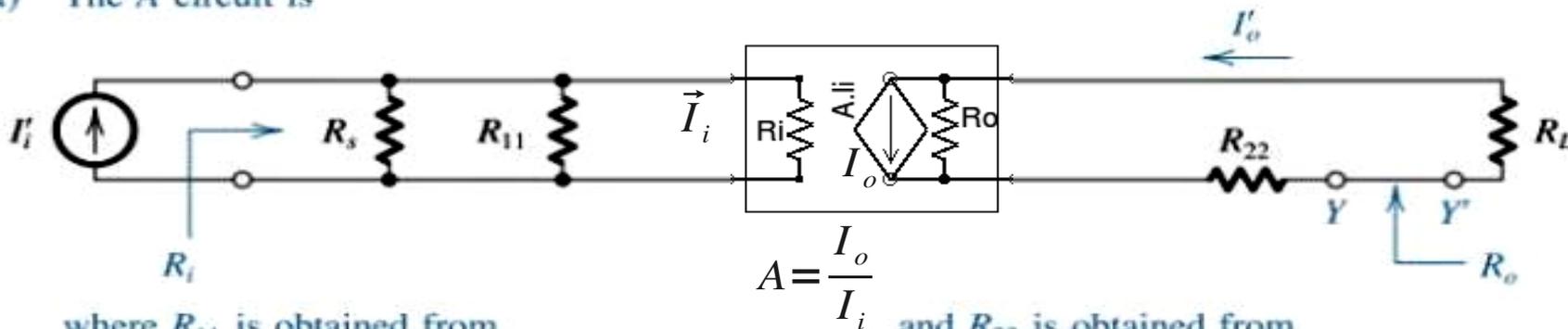
- Obs: Caso não se conheça  $R_s$  e  $R_L$  faz-se:

$$R_s = \infty$$

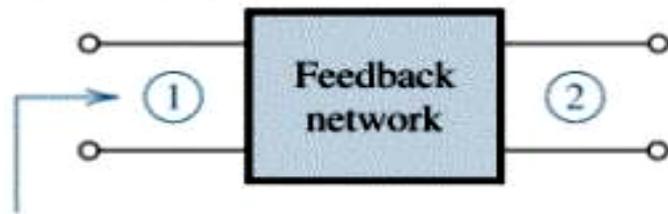
$$R_L = 0$$

## Realimentação Paralelo-Série

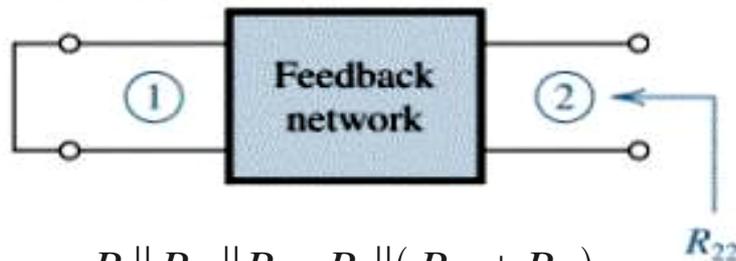
(a) The A circuit is



where  $R_{11}$  is obtained from



and  $R_{22}$  is obtained from

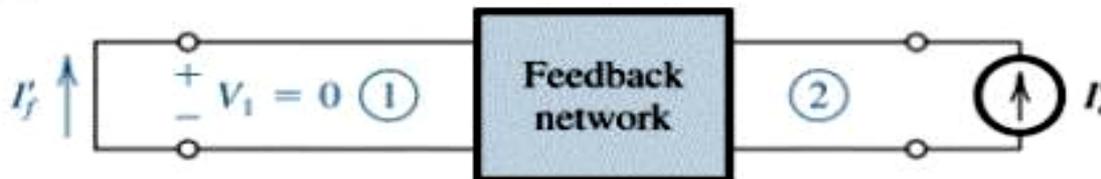


$A'$  is defined as:

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

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

(b)  $\beta$  is obtained from



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

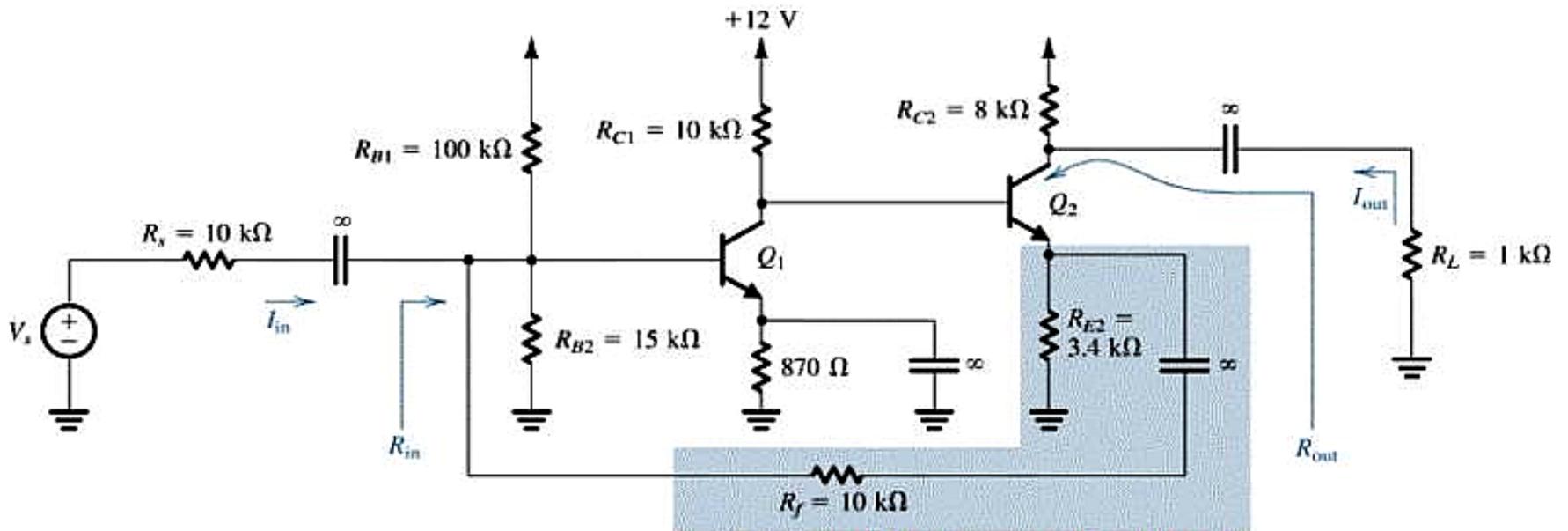
$$R_{if} = (R_i \parallel R_s \parallel R_{11}) / (1 + A\beta)$$

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

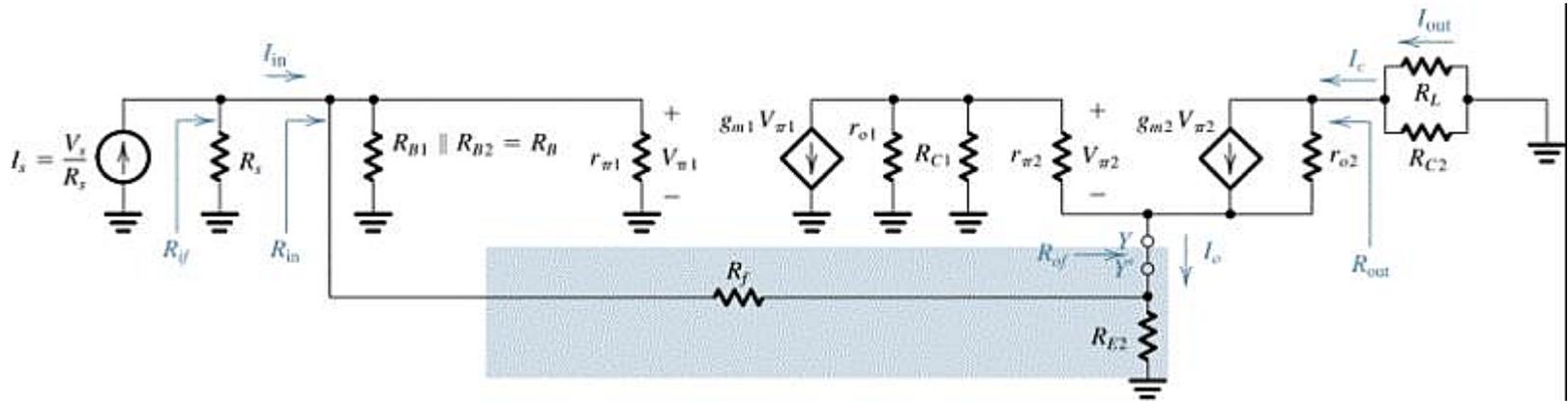
$$R_{in} = \left( \frac{1}{R_{if}} - \frac{1}{R_s} \right)^{-1}$$

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

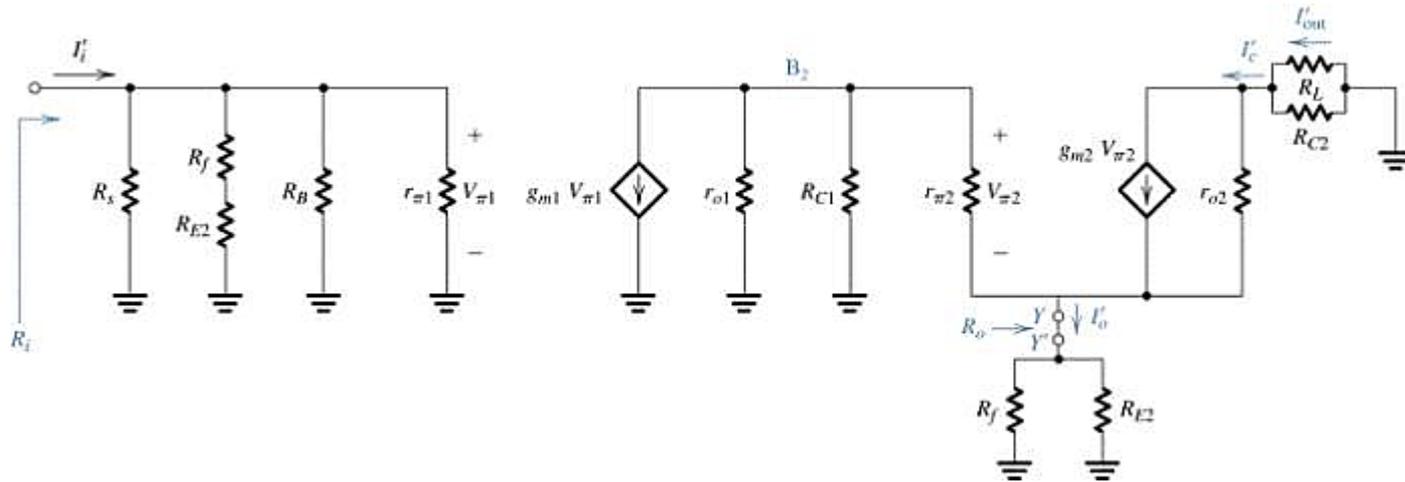
## Exemplo 8.4 (Sedra): Determinar o ganho de corrente, $R_{in}$ e $R_{out}$ .



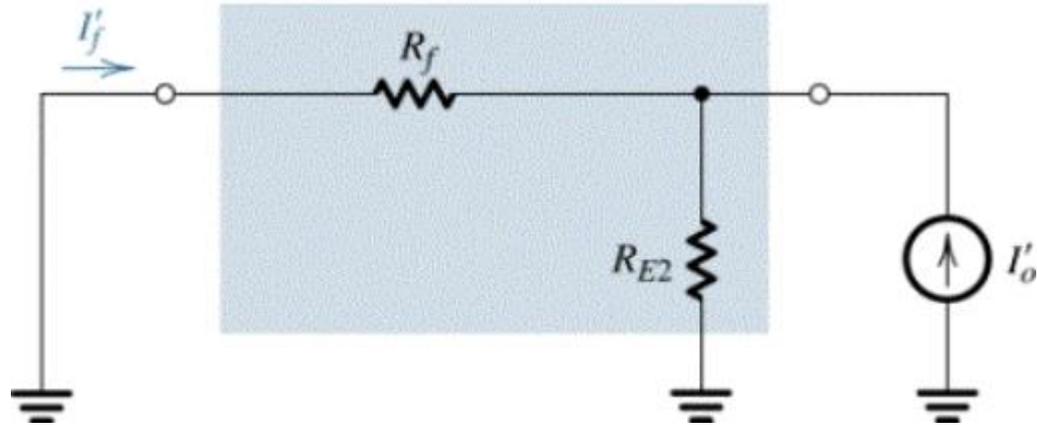
## Modelo de pequenos sinais



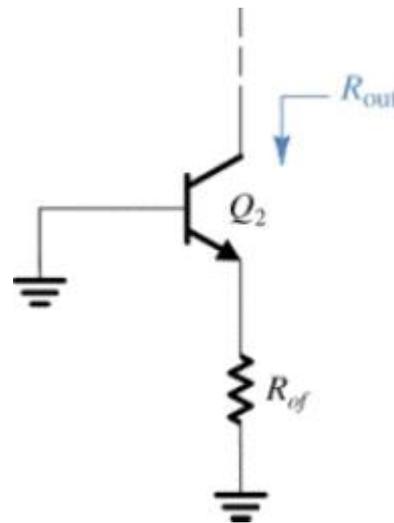
## Circuito A



## Circuito para determinar $\beta$

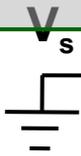


## Circuito para determinar $R_{at}$



### 3.8 DETERMINAÇÃO DIRETA DO GANHO DE MALHA

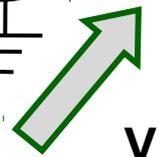
1. Zerar a fonte de entrada



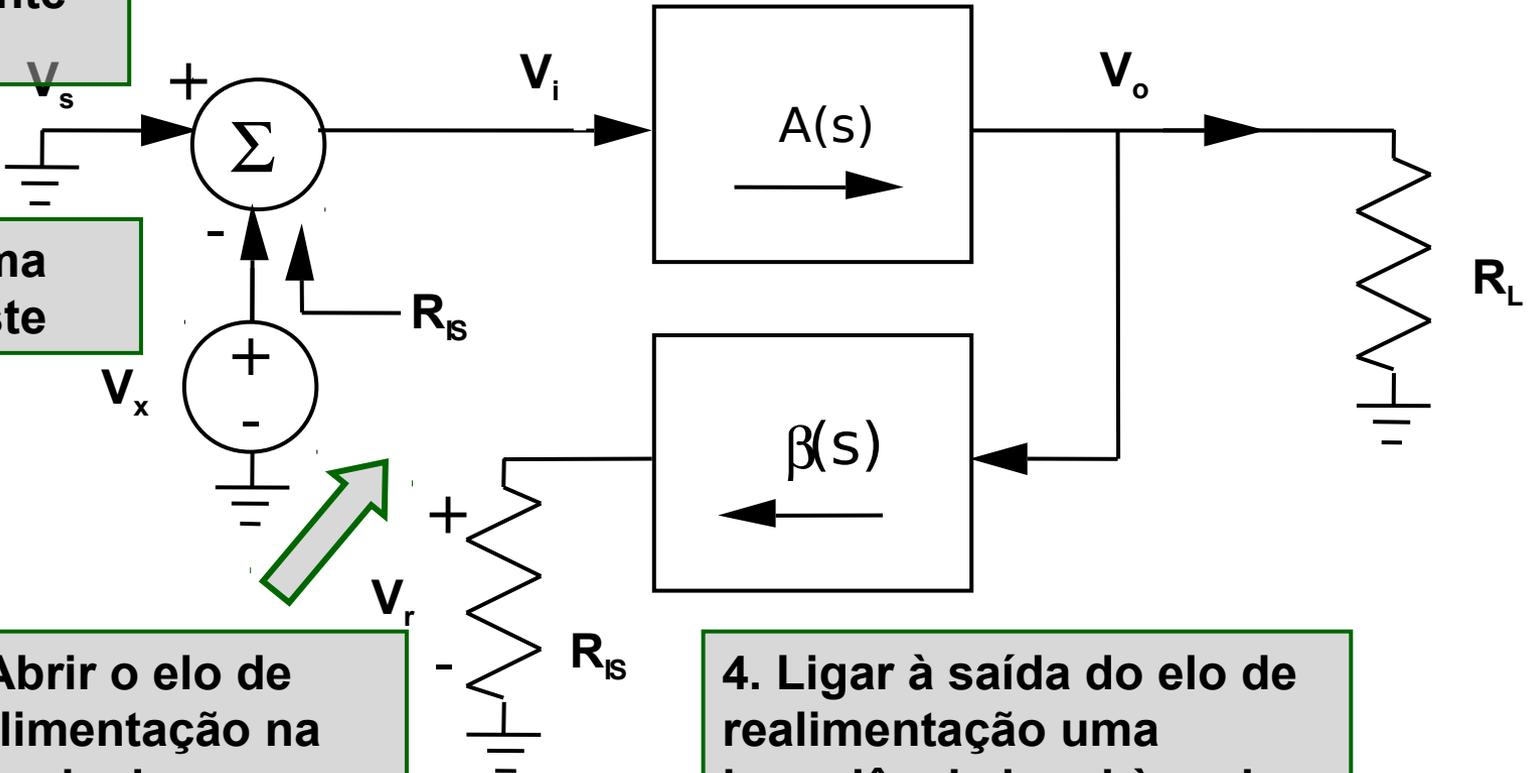
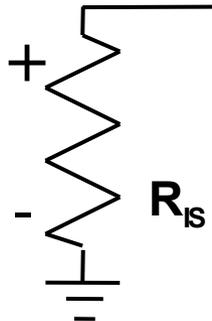
3. Inserir uma fonte de teste



2. Abrir o elo de realimentação na entrada do amplificador



4. Ligar à saída do elo de realimentação uma impedância igual àquela vista antes de abrir a realimentação



## Análise

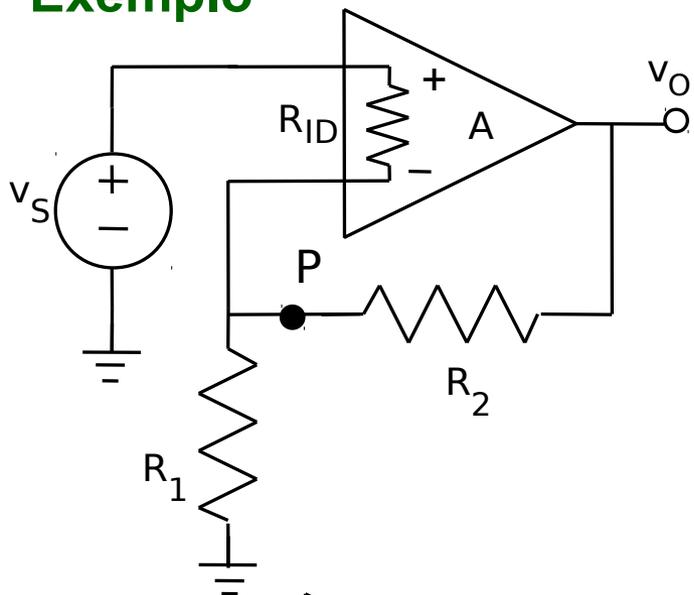
$$V_r = \beta V_o$$

$$V_o = AV_i = -AV_x$$

$$V_r = -A\beta V_x$$

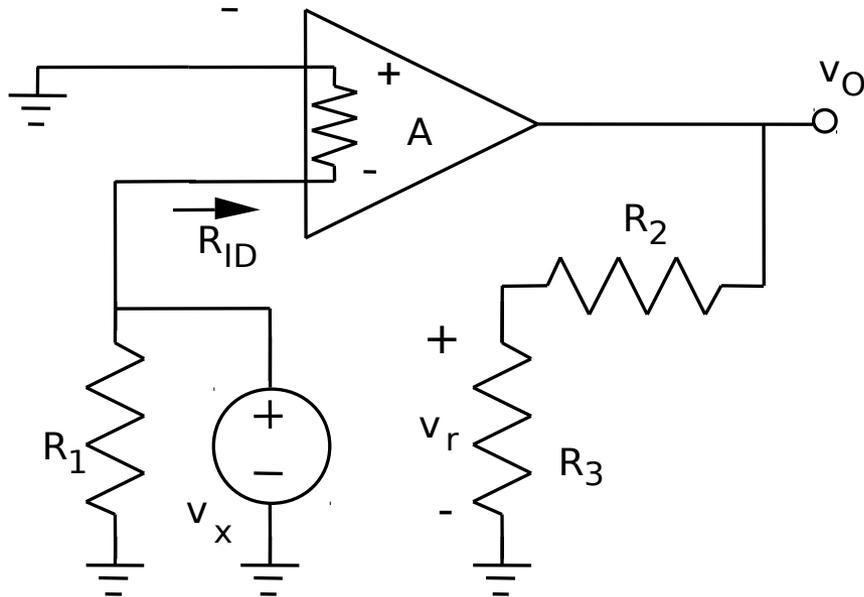
Ganho de malha  $L = -\frac{V_r}{V_x} = A\beta$

## Exemplo



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

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



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

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