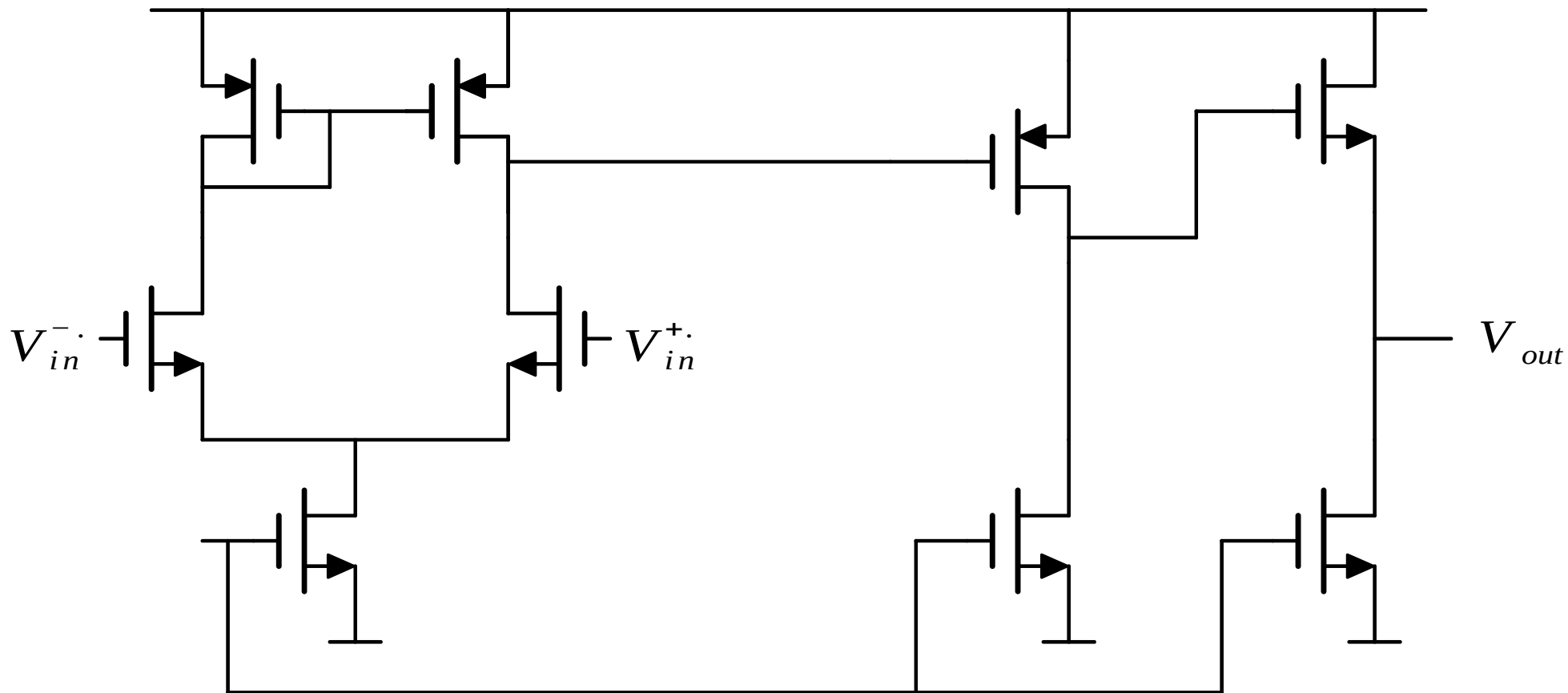
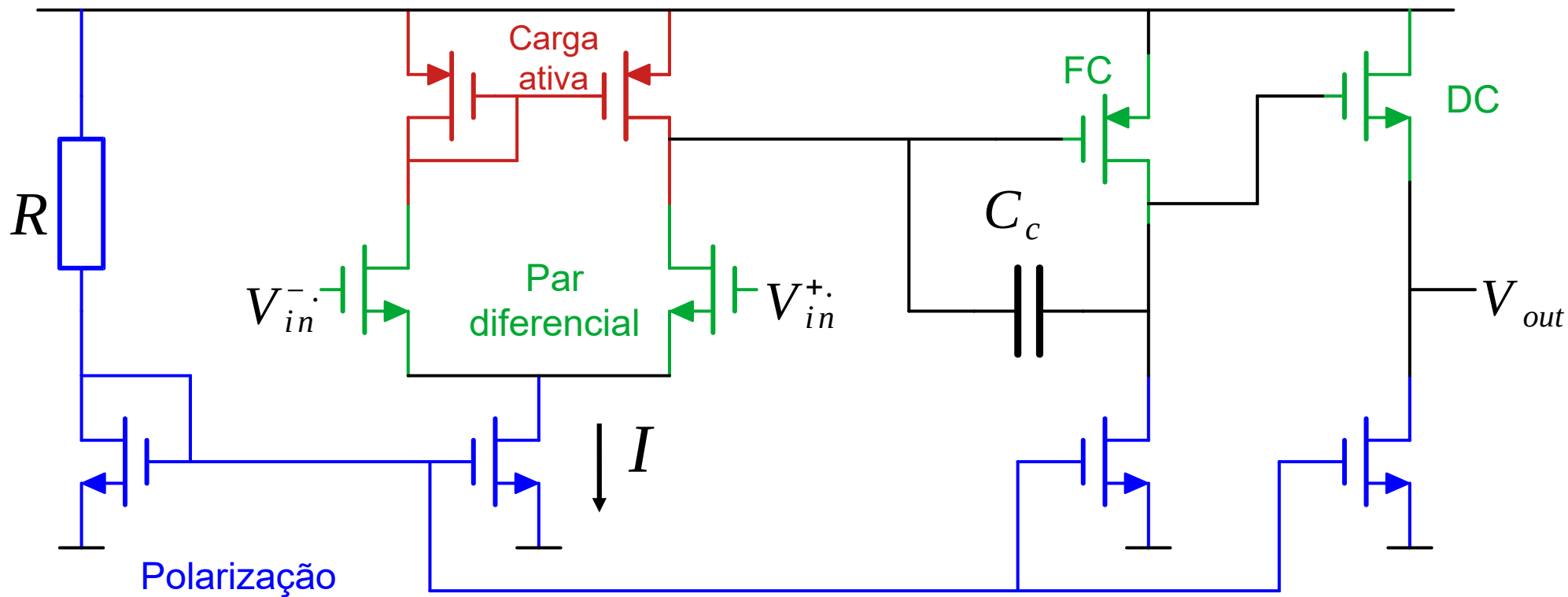


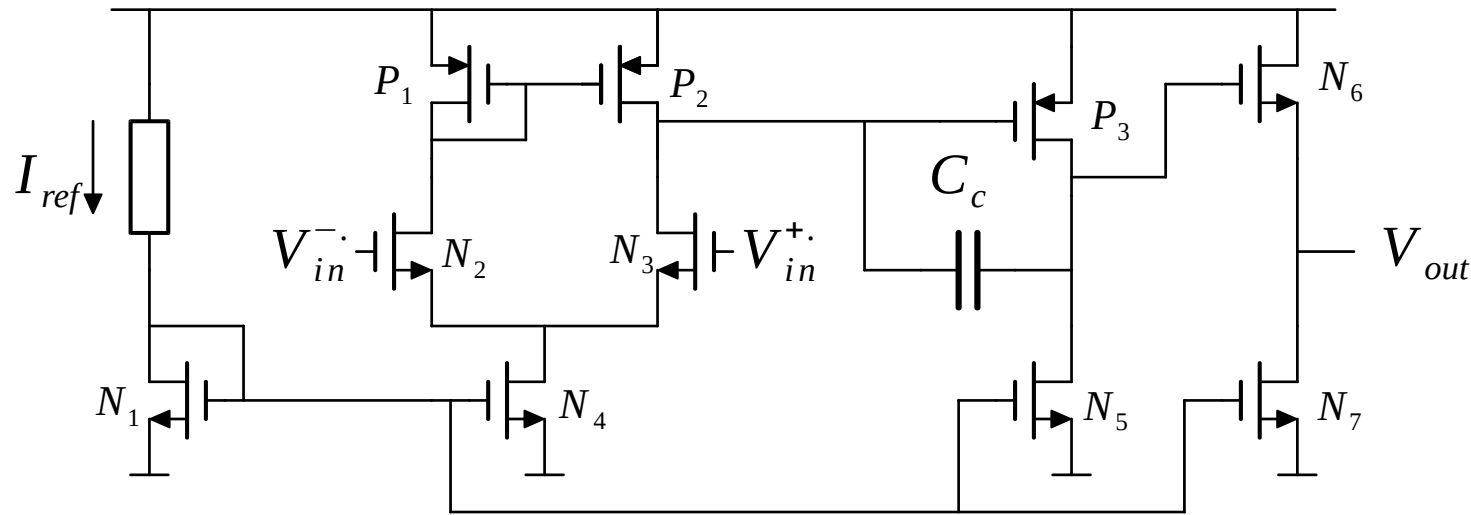


Primeiro
estágio

Segundo
estágio

Terceiro
estágio





$$I_{ref} = 1 \text{ mA}$$

$$W_1 = 1 \mu\text{m}$$

$$W_4 = 4 \mu\text{m}$$

$$W_5 = 10 \mu\text{m}$$

$$W_7 = 25 \mu\text{m}$$

$$C_c = 10 \text{ pF}$$

$$\lambda_n = 0.01 \text{ V}^{-1}$$

$$\lambda_p = 0.01 \text{ V}^{-1}$$

Obter R_{in} , R_{out} e A_{v0} do amplificador operacional
Obter o diagrama de Bode do amplificador de tensão

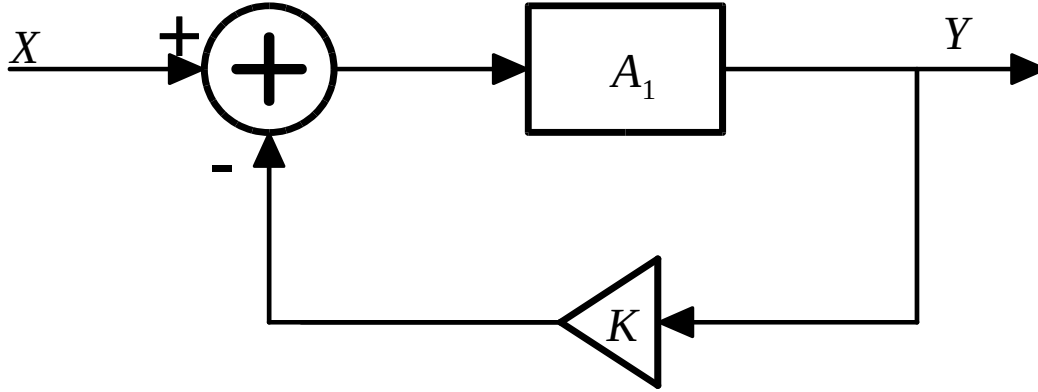
ID3 = 2.0000e-03
gm3 = 4.0000e-03
ron3 = 50000
rop2 = 50000
Av01 = -100
ID5 = 0.010000
rop3 = 10000
gmp3 = 0.016000
Av02 = -160
Av03 = 1

ID7 = 0.025000
gmn6 = 0.010000
ro1 = 25000
C1 = 1.6100e-09
C2 = 1.0063e-11
fp1 = 3954.2
fp2 =
1.5817e+06
Rin = Inf
Rout = 100
ro7 = 4000.0
Rout = 97.561
Av0 = 16000

$$\mu_n C_{ox} W_3 / L = 4 \text{ mA/V}^2$$

$$\mu_n C_{ox} W_6 / L = 2 \text{ mA/V}^2$$

$$\mu_p C_{ox} W_3 / L = 12.8 \text{ mA/V}^2$$

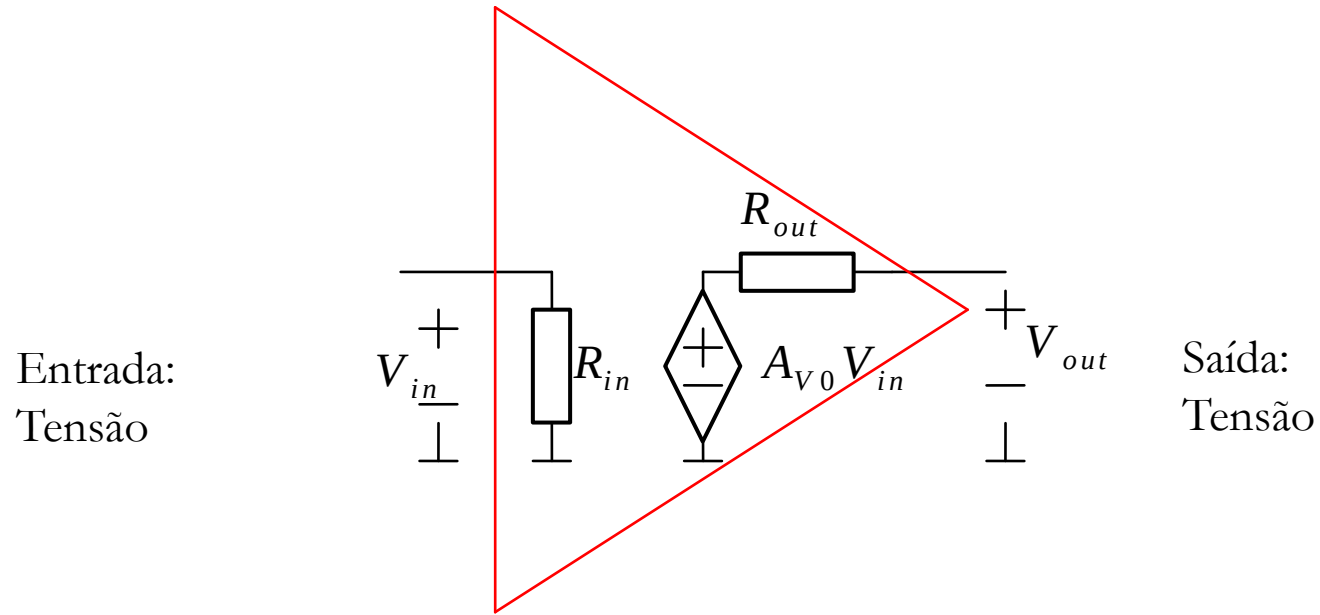


$$\frac{Y}{X} = \frac{A_1}{1 + KA_1}$$

Propriedades:

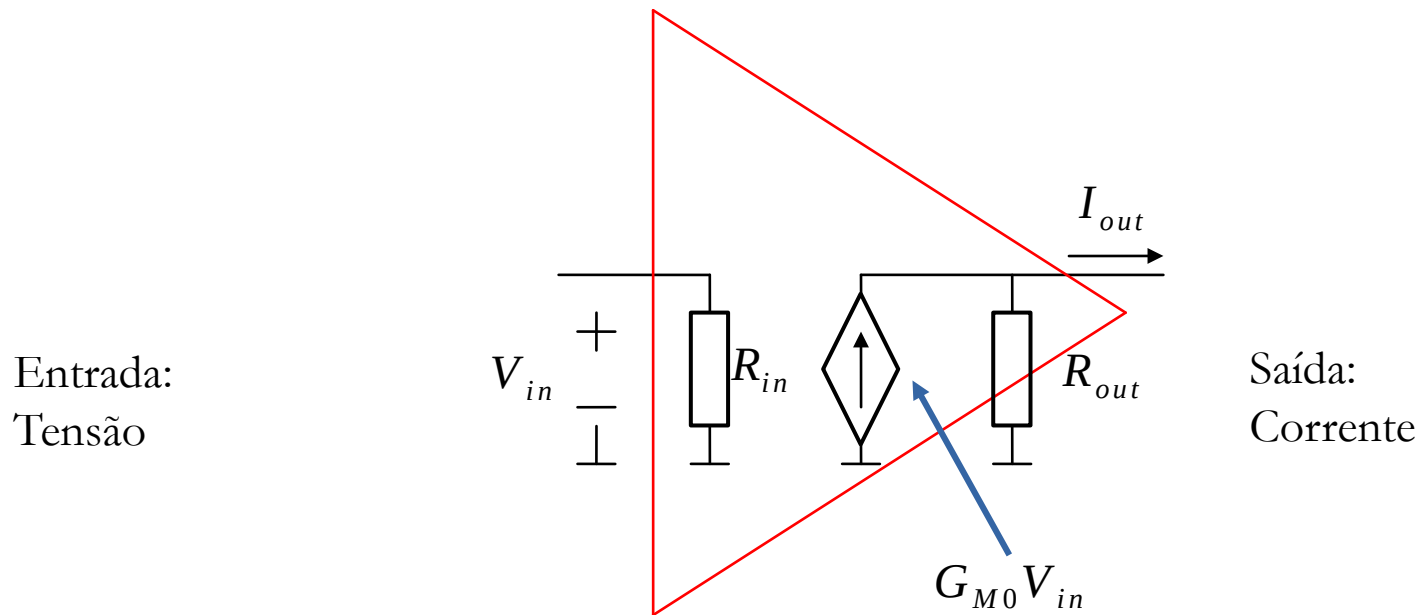
- 1) Dessensibilização do ganho
- 2) **Extensão da largura de banda**
- 3) Altera as impedâncias de entrada e de saída
- 4) Melhora a linearidade

Modelo de amplificador de tensão



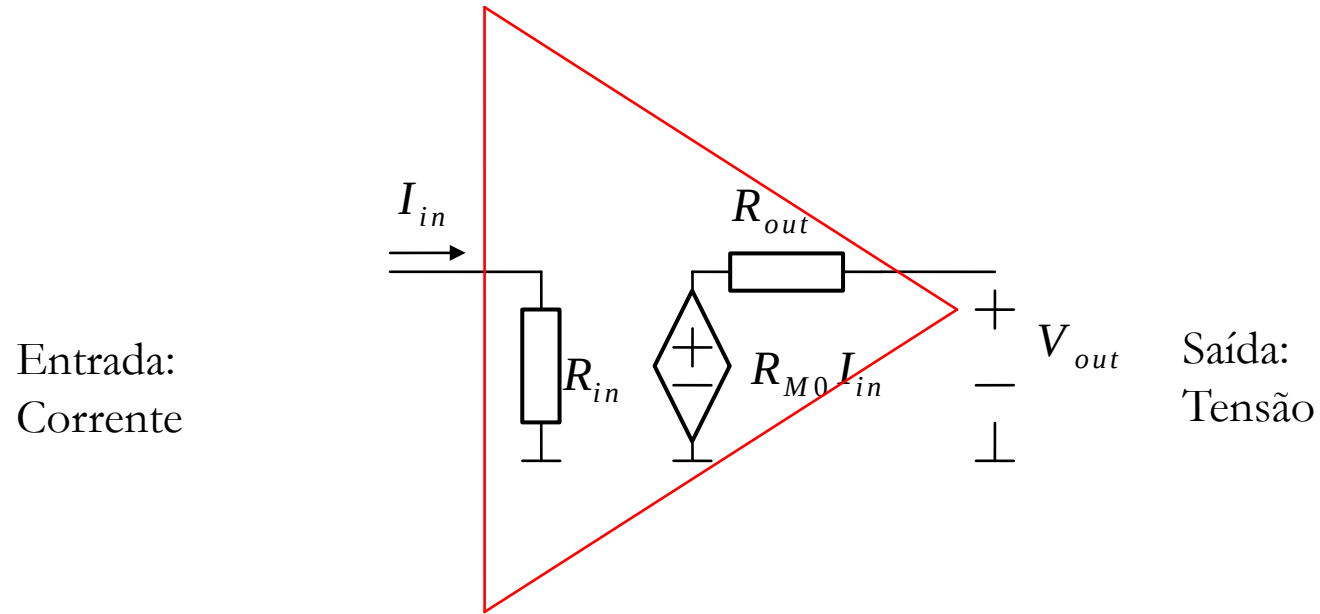
Idealmente, a resistência de entrada (R_{in}) é infinita e a resistência de saída (R_{out}) é zero

Modelo de amplificador de transcondutância



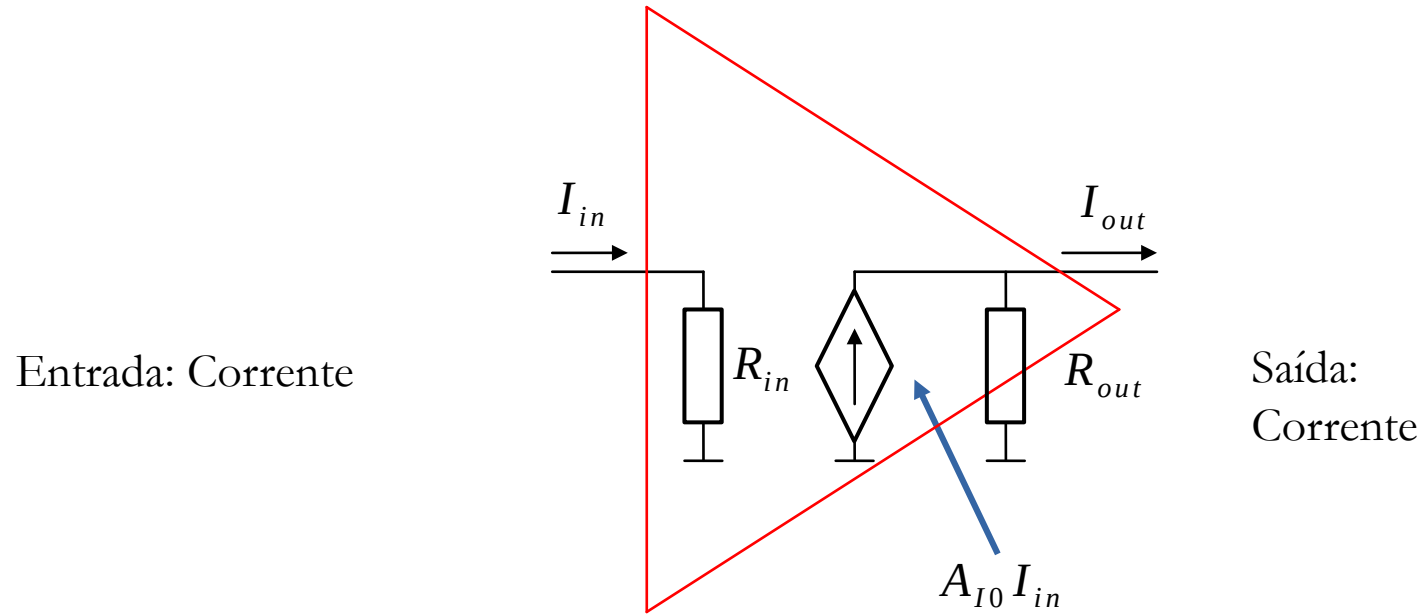
Idealmente, a resistência de entrada (R_{in}) é infinita e a resistência de saída (R_{out}) é infinita

Modelo de amplificador de transresistância



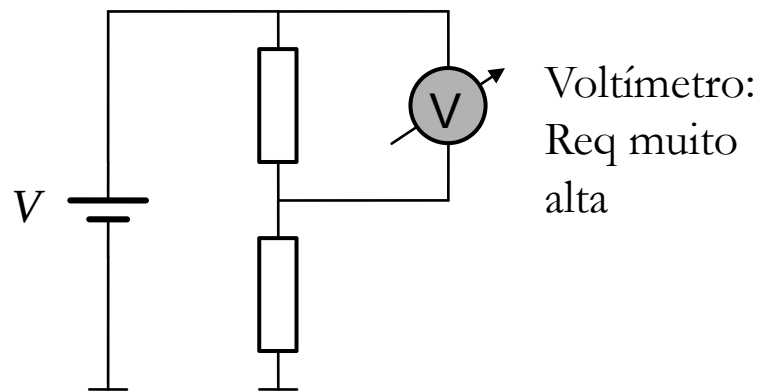
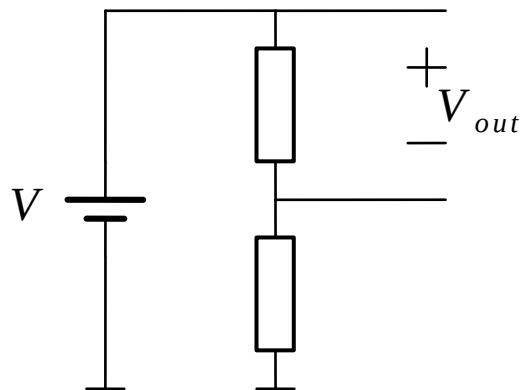
Idealmente, a resistência de entrada (R_{in}) é zero e a resistência de saída (R_{out}) é zero

Modelo de amplificador de corrente

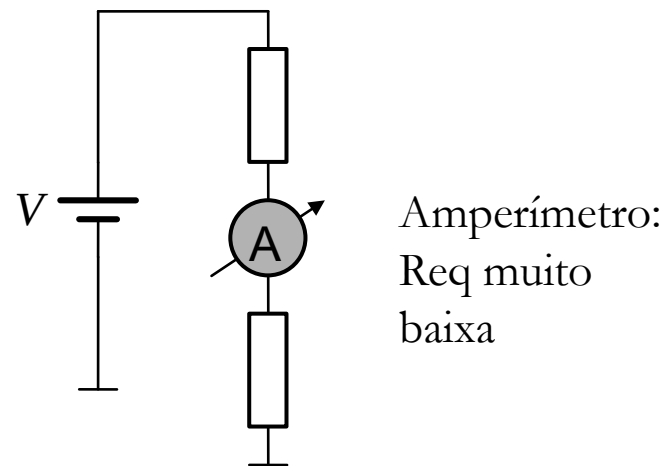
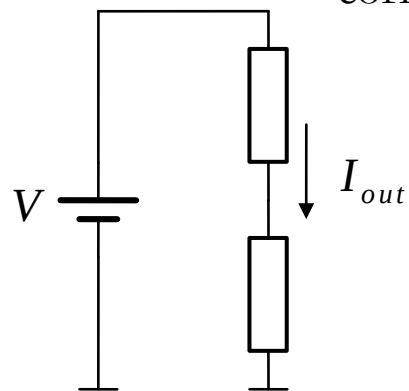


Idealmente, a resistência de entrada (R_{in}) é zero e a resistência de saída (R_{out}) é infinita

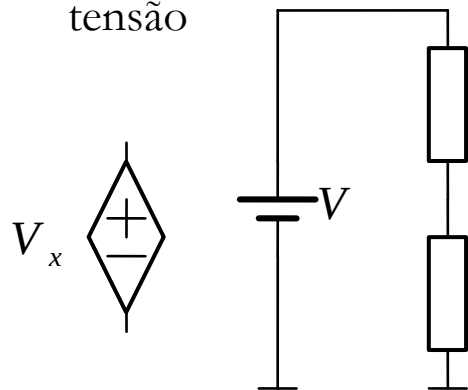
Amostragem de
tensão



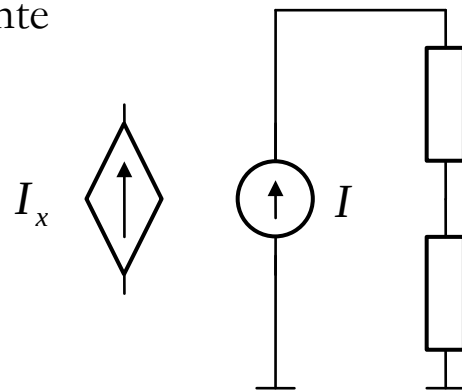
Amostragem de
corrente



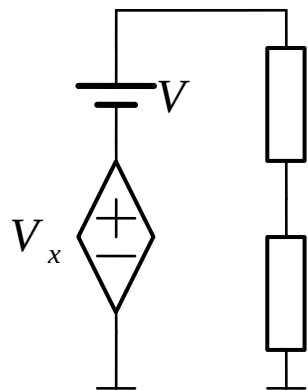
Somar/subtrair de
tensão



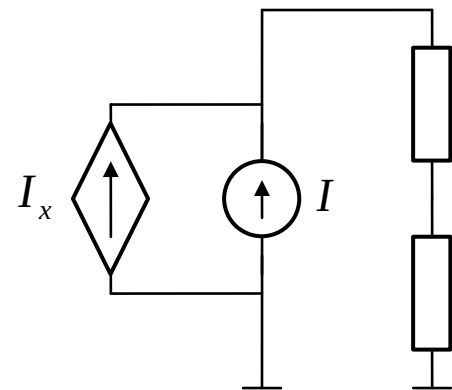
Somar/subtrair de
corrente



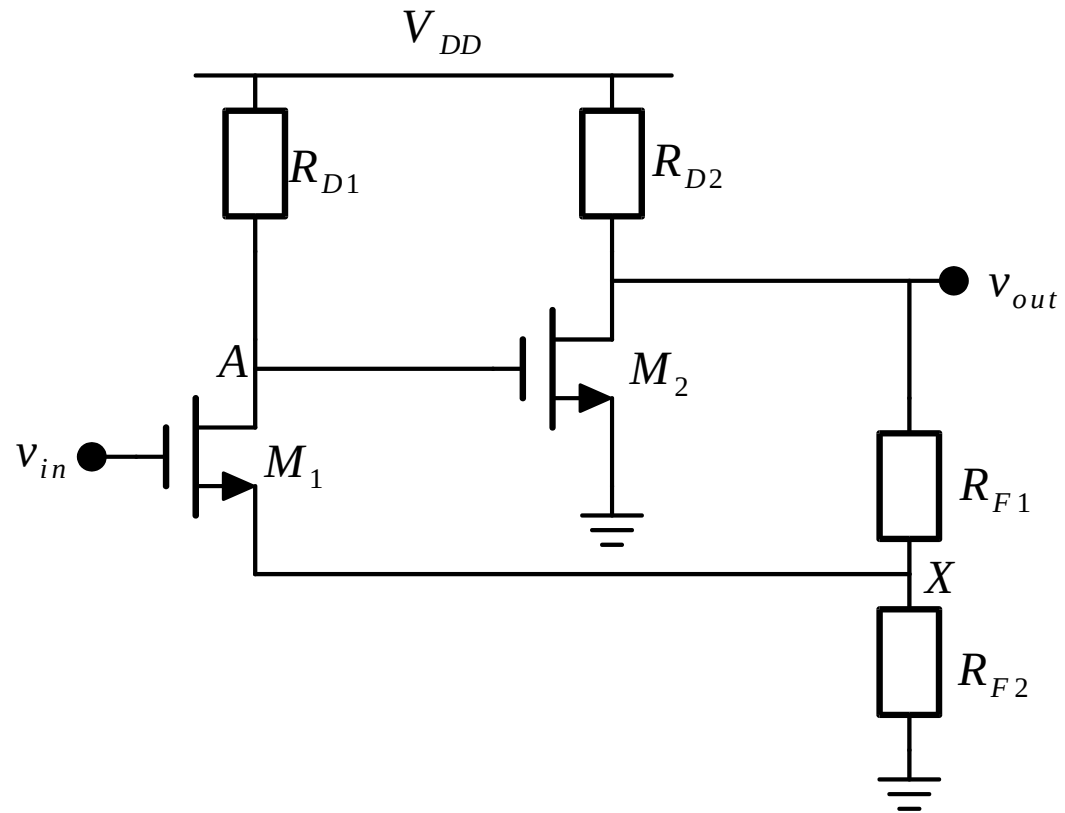
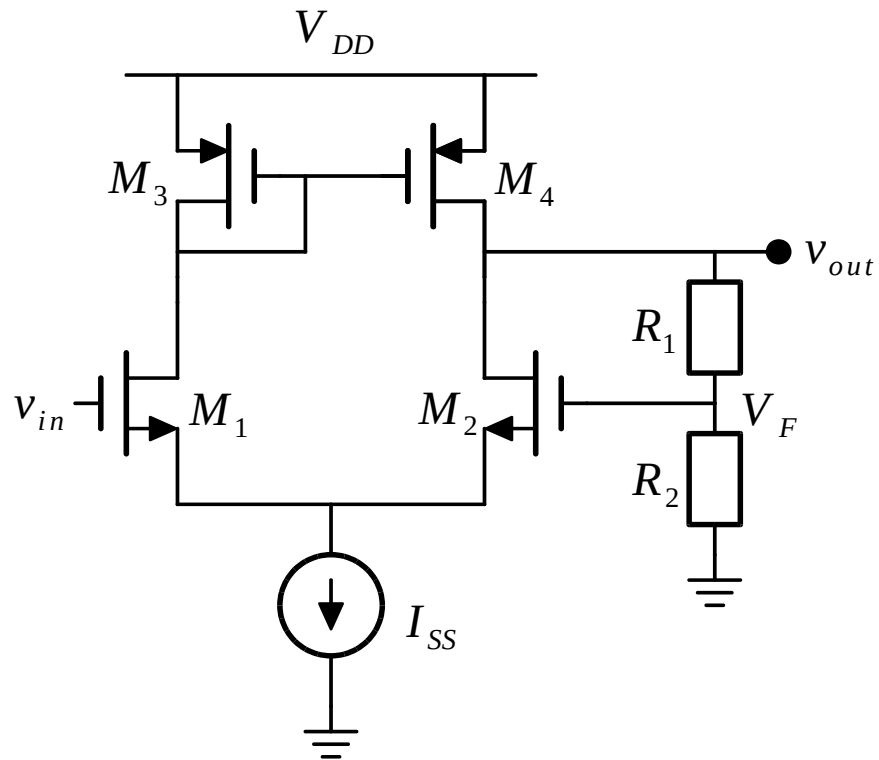
Fonte de
tensão:
Req muito baixa



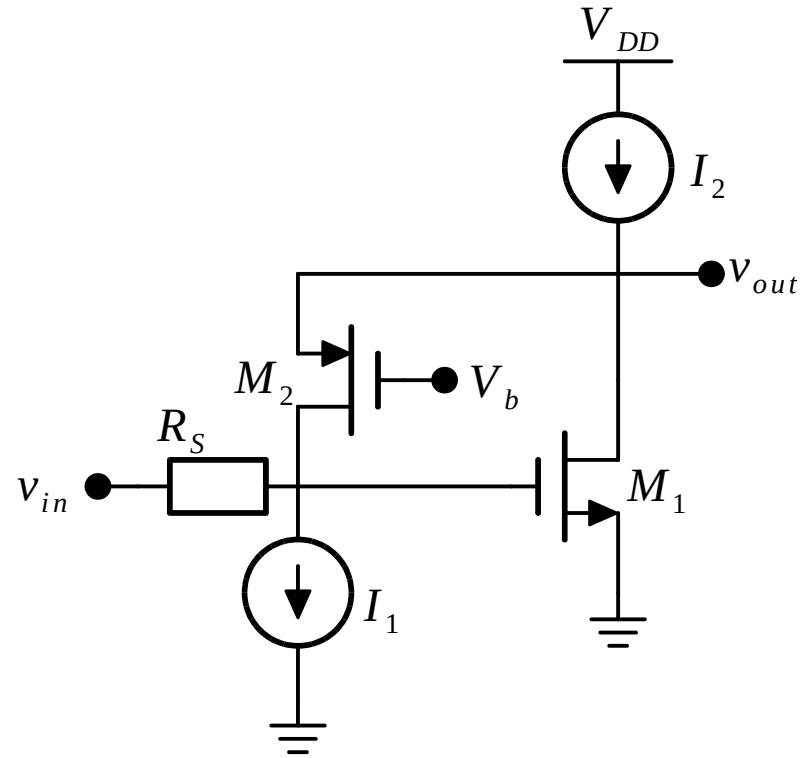
Fonte de
corrente:
Req muito alta



Verificar os circuitos e detectar a polaridade da realimentação



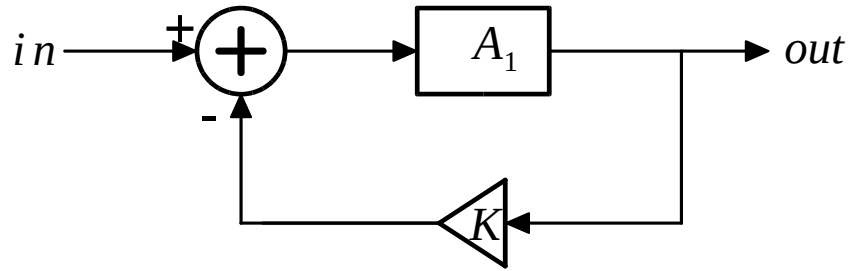
Exercício: Detectar os componentes da realimentação e determinar se é uma realimentação positiva ou negativa



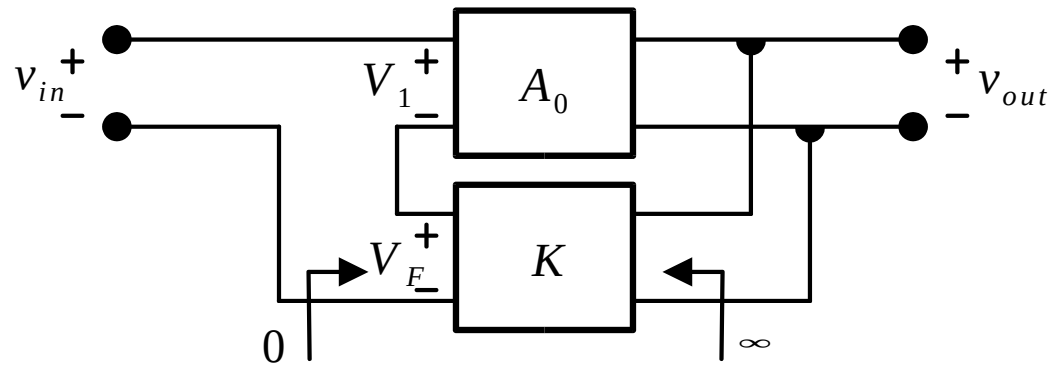
Topologias de realimentação

Entrada do bloco K | saída do bloco K

Tensão - Tensão



$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_0}{1 + KA_0}$$



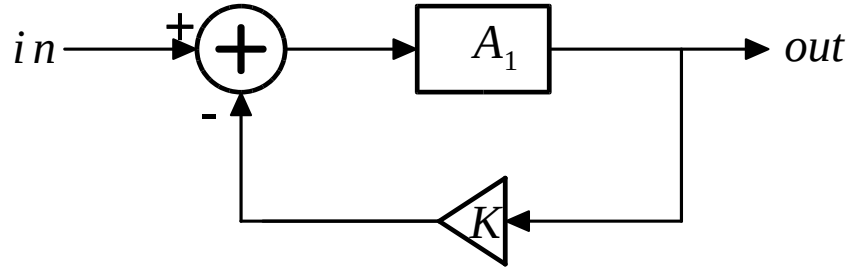
$$R_{in, fechado} = R_{in, aberta} (1 + KA_0)$$

$$R_{out, fechada} = \frac{R_{out, aberta}}{1 + KA_0}$$

Topologias de realimentação

Entrada do bloco K | saída do bloco K

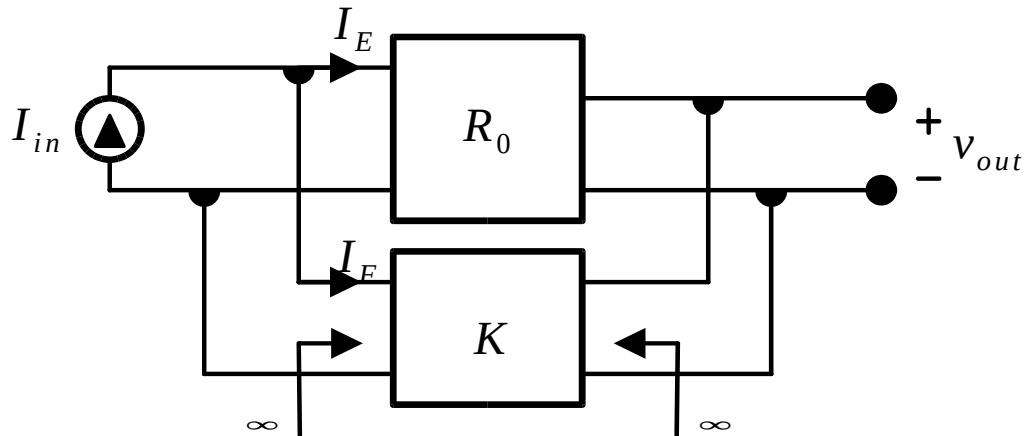
Tensão - Corrente



$$\frac{V_{out}}{I_{in}} = \frac{R_0}{1 + KR_0}$$

$$R_{in, fechado} = \frac{R_{in, aberta}}{(1 + KR_0)}$$

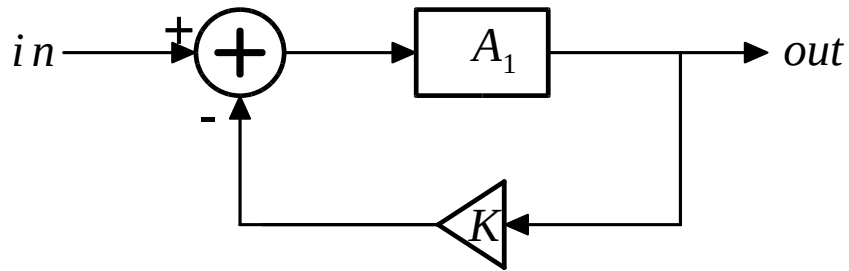
$$R_{out, fechada} = \frac{R_{out, aberta}}{1 + KR_0}$$



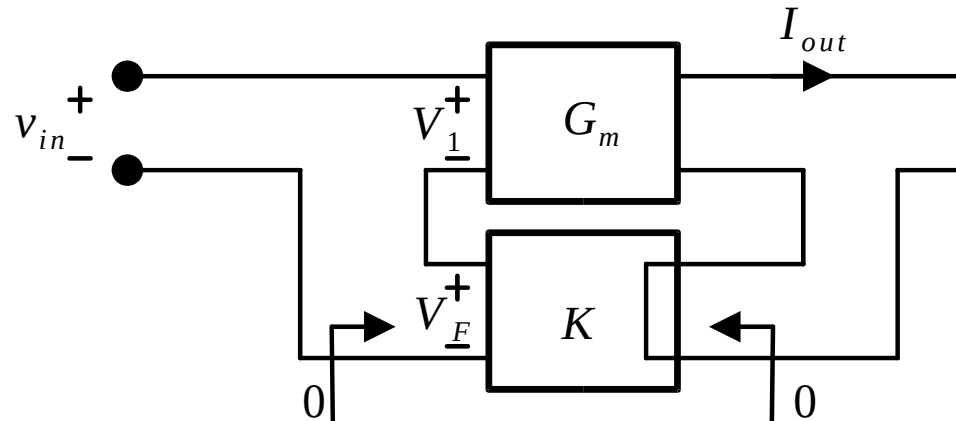
Topologias de realimentação

Entrada do bloco K | saída do bloco K

Corrente - Tensão



$$\frac{I_{out}}{V_{in}} = \frac{G_m}{1 + KG_m}$$



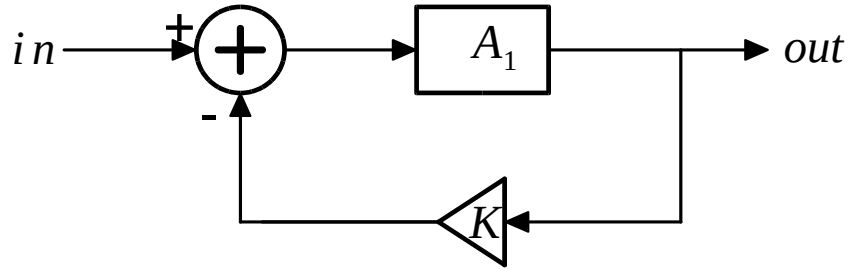
$$R_{in, fechado} = R_{in, aberta} (1 + KG_m)$$

$$R_{out, fechada} = R_{out, aberta} (1 + KG_m)$$

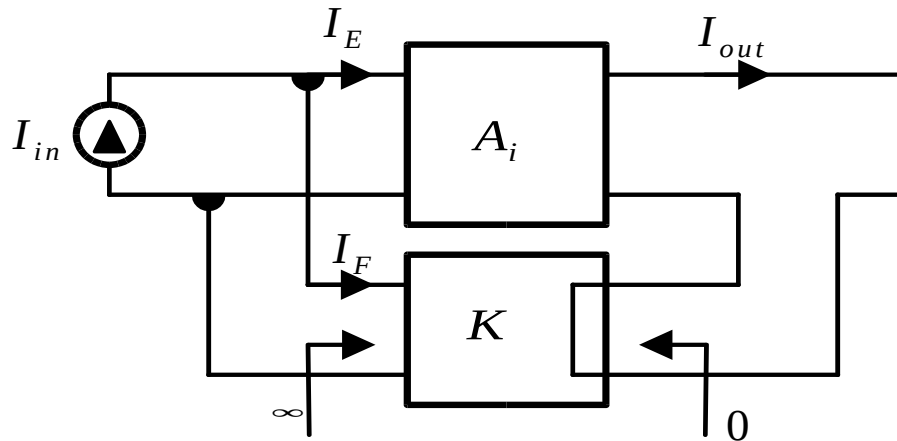
Topologias de realimentação

Entrada do bloco K | saída do bloco K

Corrente - Corrente



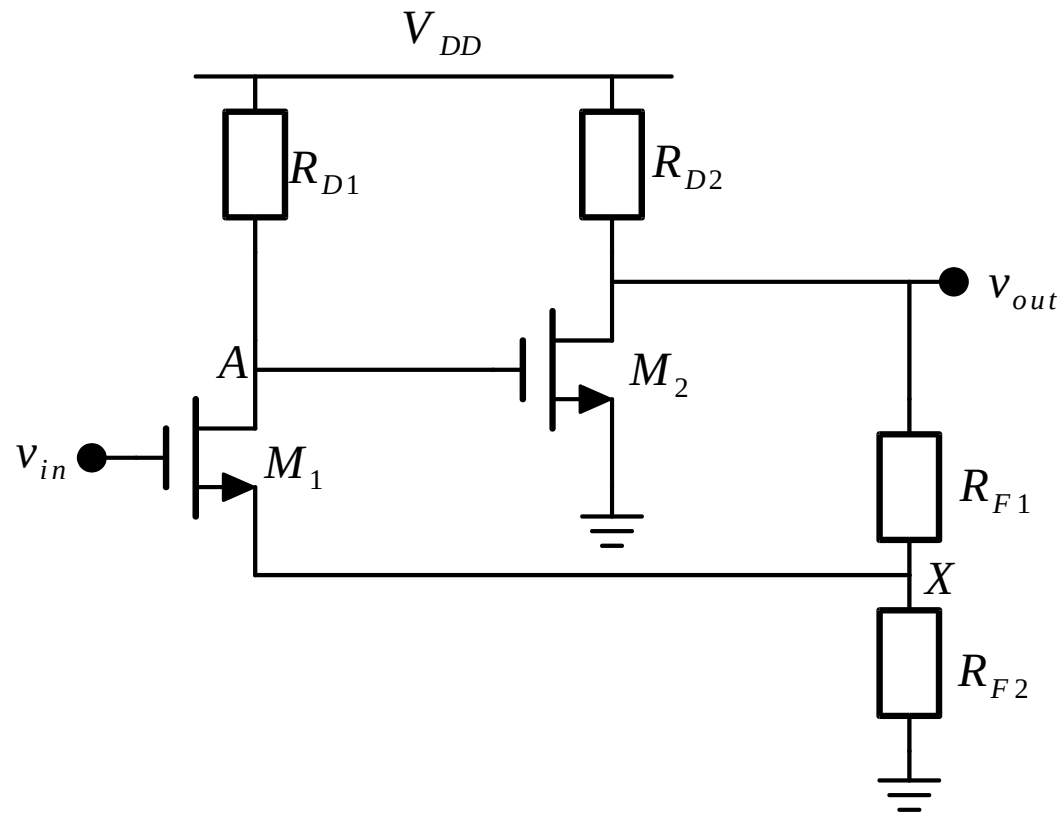
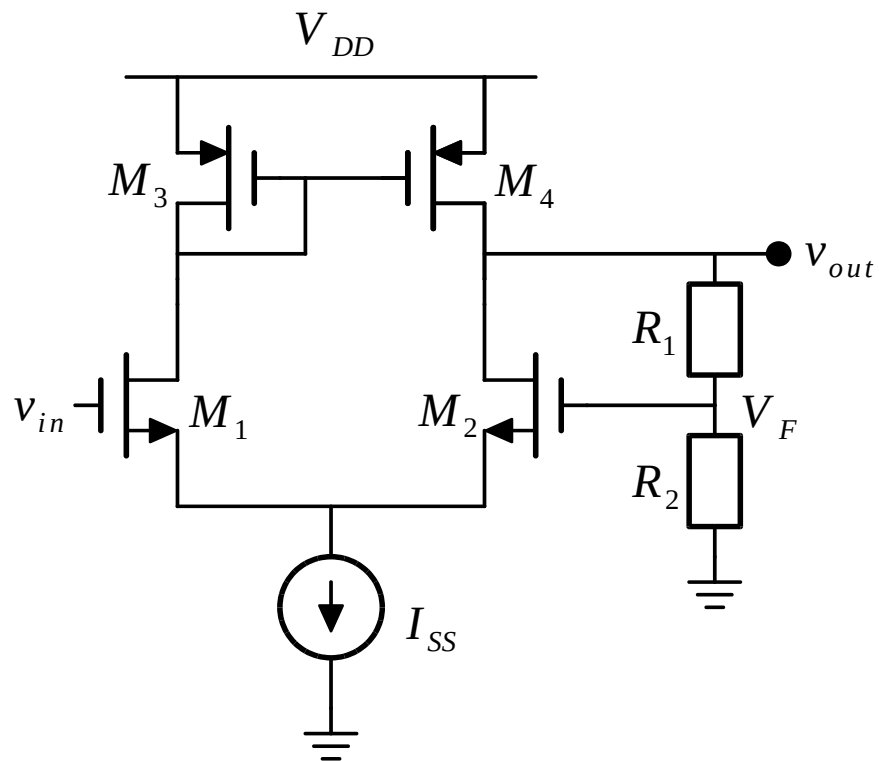
$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{A_i}{1 + KA_i}$$



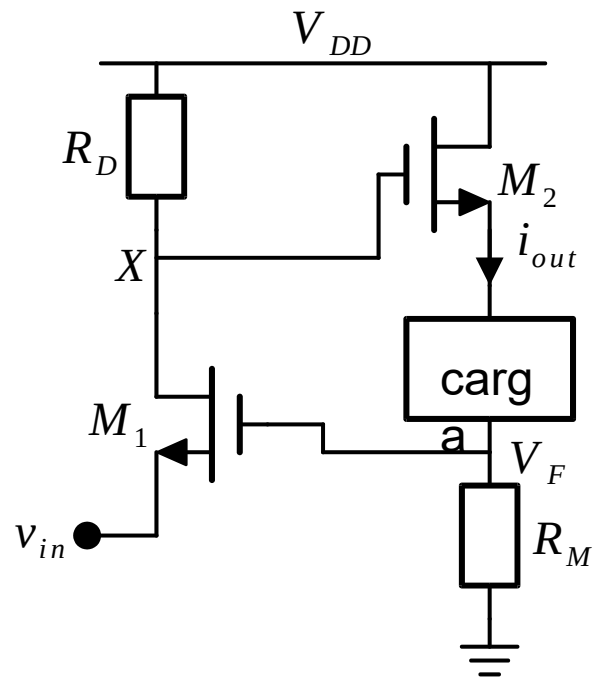
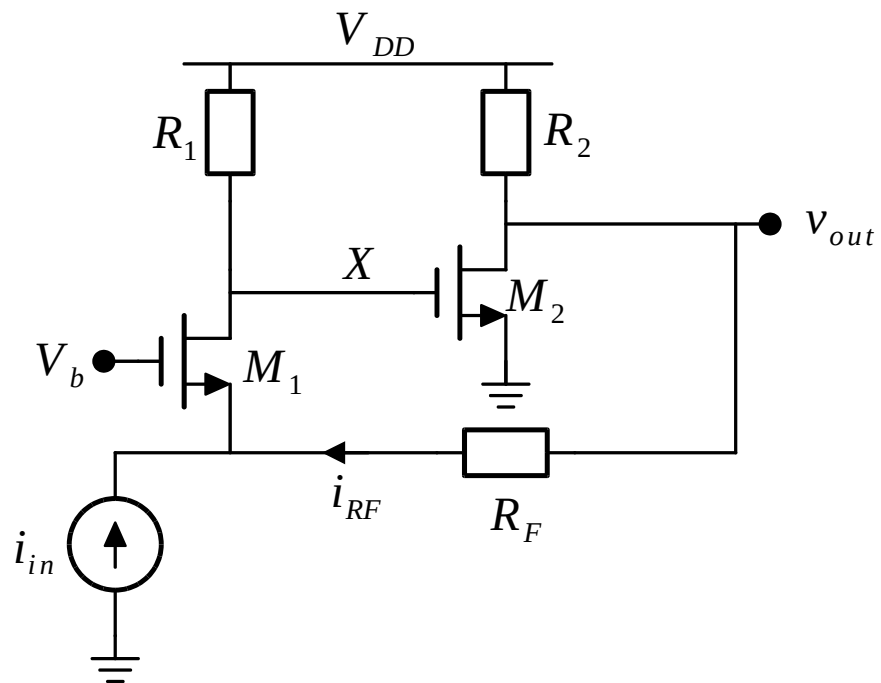
$$R_{in, fechado} = \frac{R_{in, aberta}}{(1 + KA_i)}$$

$$R_{out, fechada} = R_{out, aberta} (1 + KA_i)$$

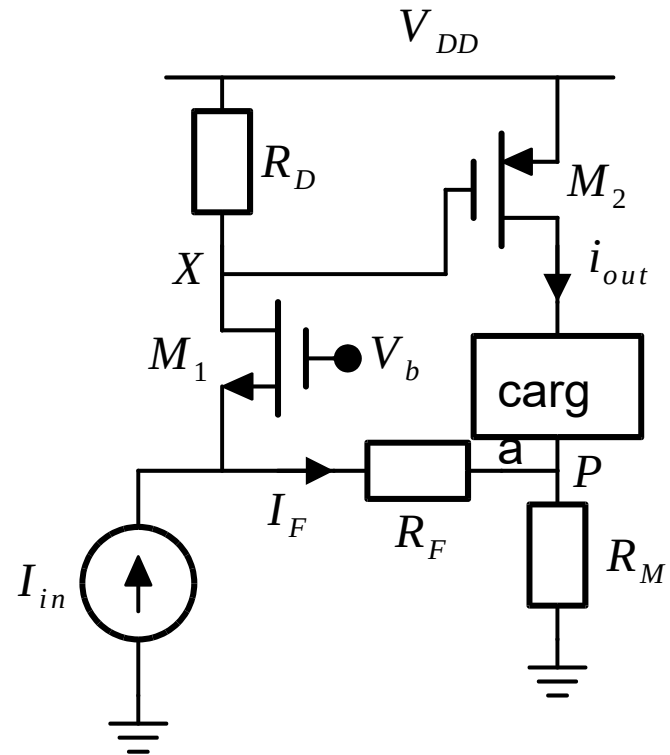
Obter ganho, R_{in} e R_{out} das configurações abaixo



Obter ganho, R_{in} e R_{out} das configurações abaixo



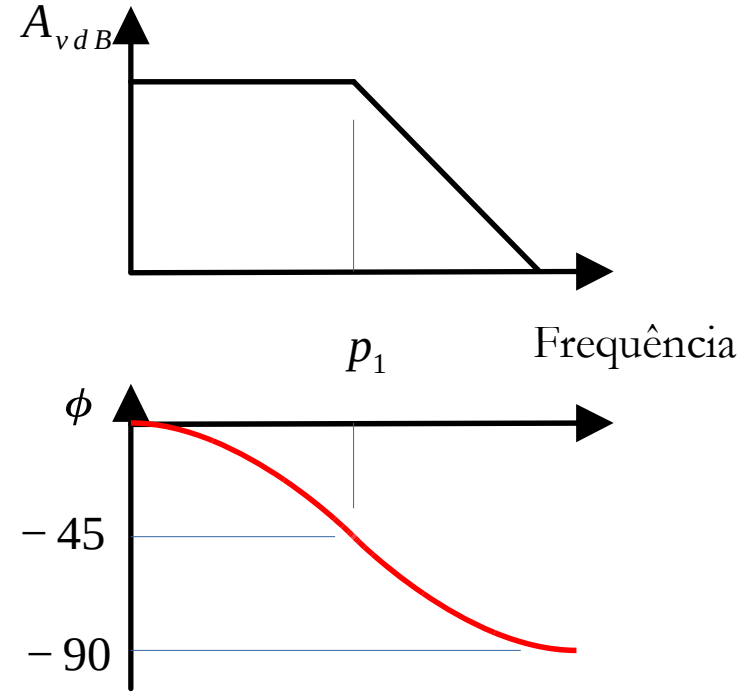
Obter ganho, R_{in} e R_{out} das configurações abaixo



Estabilidade dos sistemas de realimentação

Função de transferência com um polo

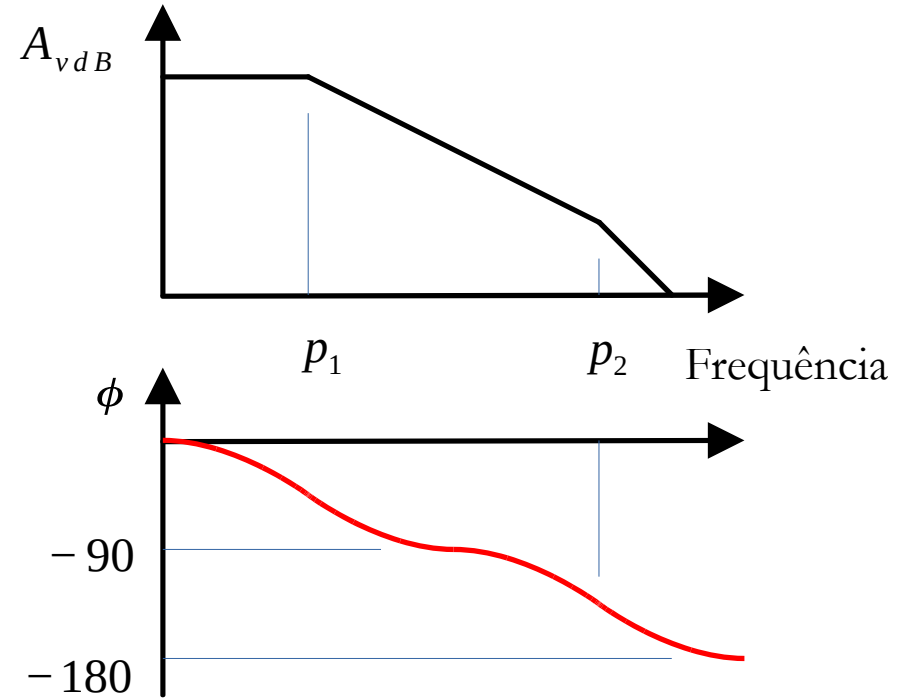
$$H(s) = \frac{A_v}{1 + s/\omega_p}$$



Estabilidade dos sistemas de realimentação

Função de transferência com 2 polos reais

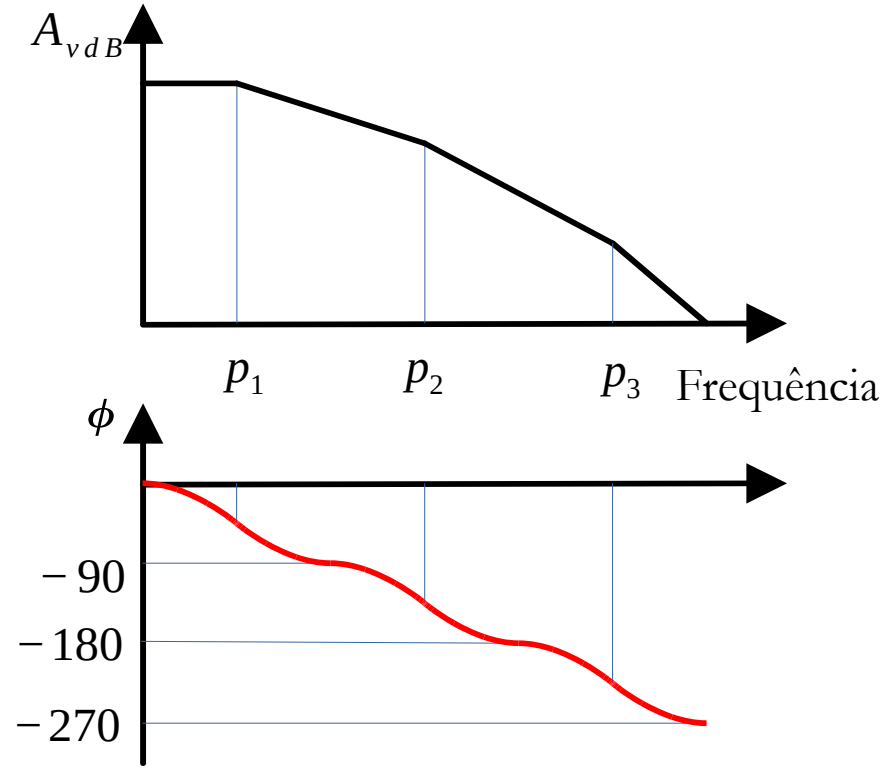
$$H(s) = \frac{A_v}{(1+s/\omega_{p1})(1+s/\omega_{p2})}$$



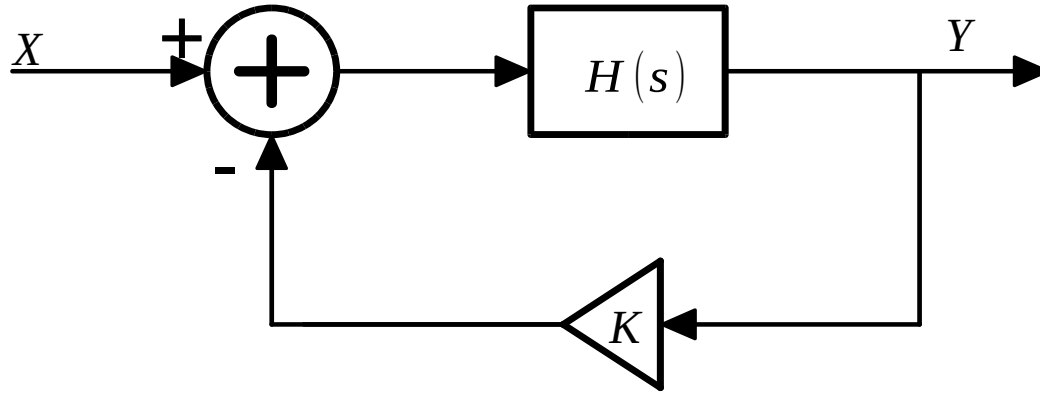
Estabilidade dos sistemas de realimentação

Função de transferência com 3 polos reais

$$H(s) = \frac{A_v}{(1+s/\omega_{p1})(1+s/\omega_{p2})(1+s/\omega_{p3})}$$



Estabilidade dos sistemas de realimentação



$$\frac{Y}{X} = \frac{H(s)}{1 + KH(s)}$$

Para garantir estabilidade:

$$1 + KH(s) \neq 0$$

O circuito é instável (mantém uma oscilação) na frequência onde:

$$|KH(j\omega_1)| = 1$$

$$\angle KH(j\omega_1) = -180^\circ$$

Critério de Barkhausen

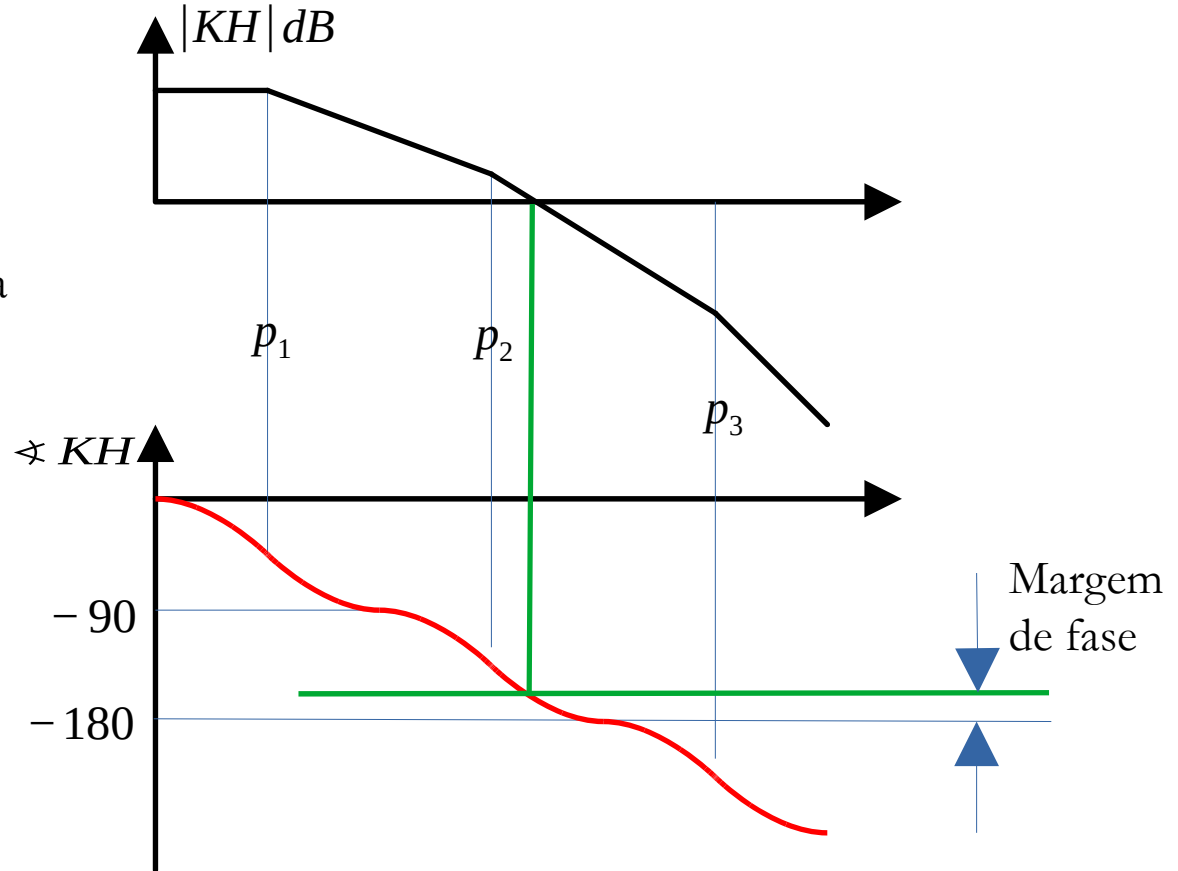
O circuito oscilará com amplitude crescente se o ganho de malha for maior que um na frequência com defasagem de -180°

Estabilidade dos sistemas de realimentação

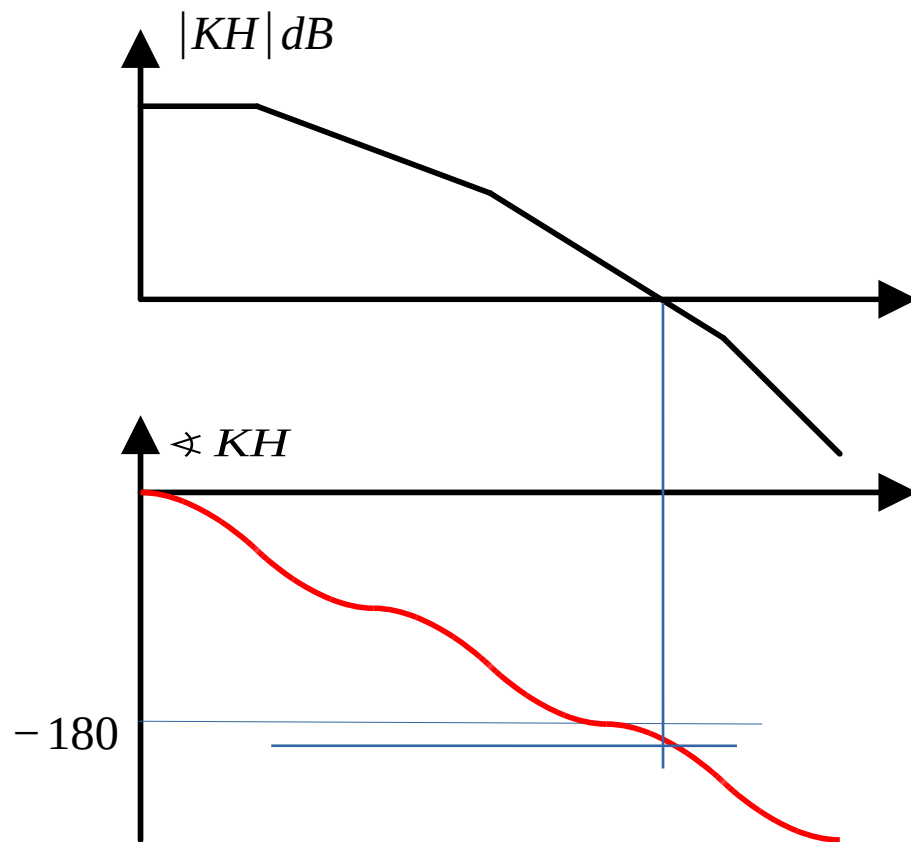
Como garantir estabilidade?

Garantir que na frequência onde o ganho é igual a 0 dB (1 V/V), exista uma margem de fase (geralmente maior que 60°).

$$|KH(j\omega_1)| = 1$$
$$\angle KH(j\omega_1) > -120$$

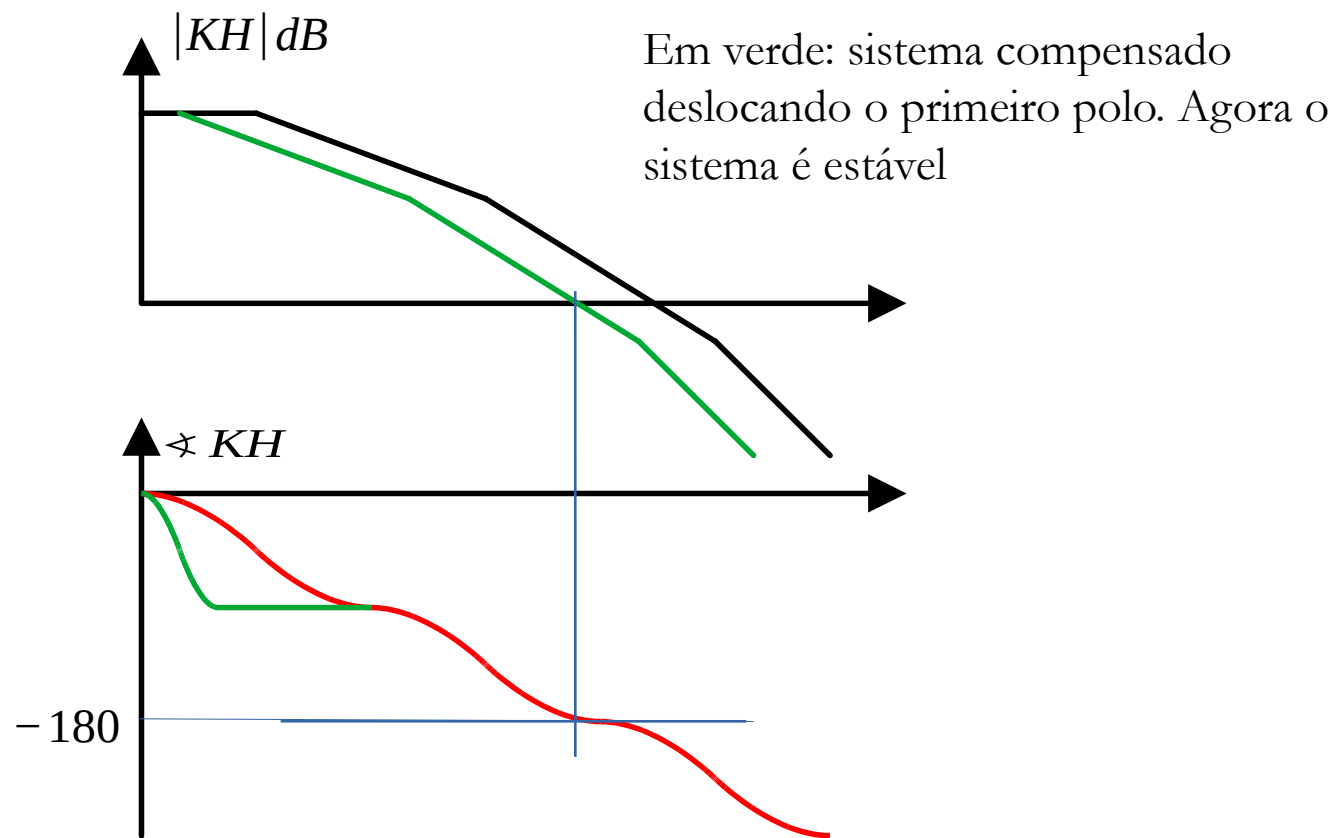


Estabilidade dos sistemas de realimentação

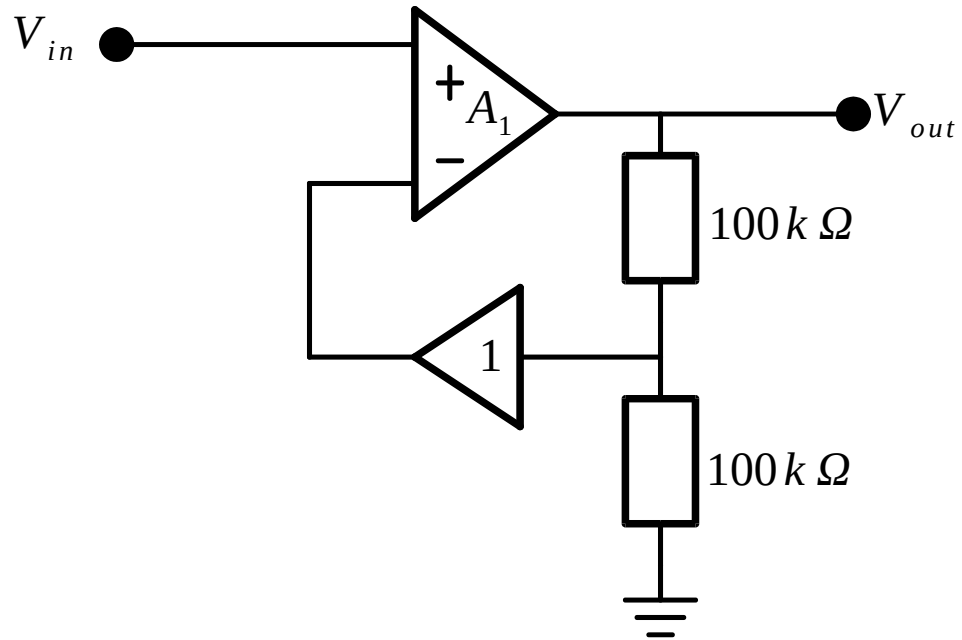


É estável? Não

Compensação de fase



Exercício: Obter ganho, R_{in} e R_{out} da configuração abaixo e traçar o diagrama de bode de malha aberta e malha fechada



$A_1 = 100\text{ V/V}$
com $f_p = 100\text{ kHz}$
 $R_{in} = 1\text{ M}\Omega$
 $R_{out} = 1\text{ k}\Omega$