

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

ELE0701 - ELETRÔNICA

Circuitos com amp-ops

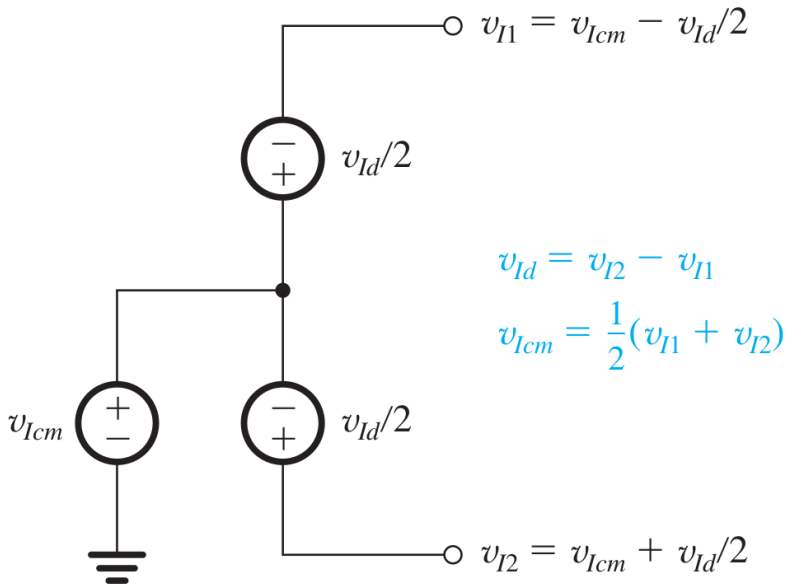
Rafael Cardoso Pereira

Amplificadores de diferenças

O amplificador de diferenças é aquele que responde à diferença entre os dois sinais aplicados em suas entradas. Em circuitos práticos sua saída é dada por:

$$v_o = A_d v_{Id} + A_{cm} v_{Icm}$$

- $A_d \rightarrow$ Ganho diferencial
- $A_{cm} \rightarrow$ Ganho em modo comum
- $v_{Id} = (v_2 - v_1) \rightarrow$ Tensão de entrada diferencial
- $v_{Icm} = (v_1 + v_2)/2 \rightarrow$ Tensão de entrada em modo comum



Razão de rejeição em modo comum

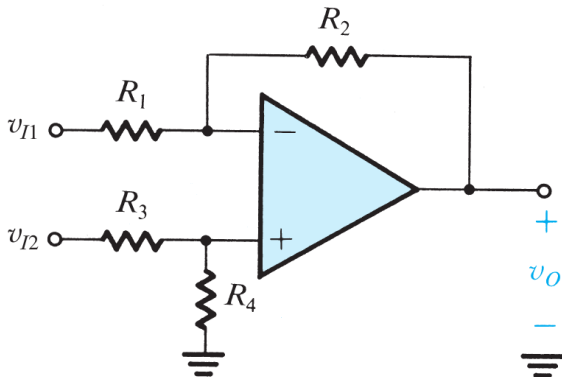
A razão de rejeição de modo comum CMRR é definida como:

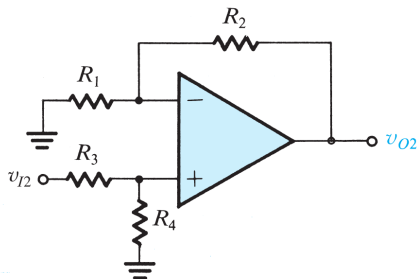
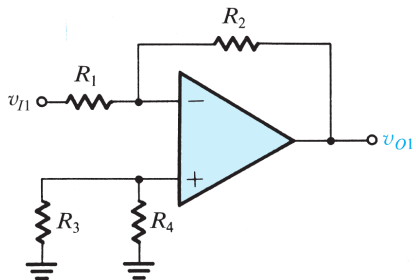
$$CMRR = 20 \log \frac{|A_d|}{|A_{cm}|}$$

Quanto maior o valor de CMRR melhor será o amplificador.

Amplificador de diferenças simples

A seguir podemos ver uma tentativa de implementação de um amplificador de diferenças.



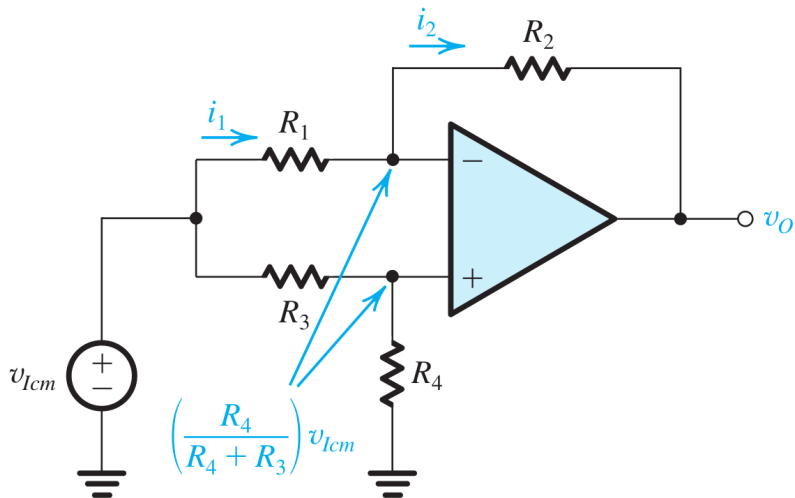


$$\frac{R_4}{R_4 + R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = \frac{R_2}{R_1}$$

Para rejeitar o ganho de modo comum devemos fazer:

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$$

Considerando o circuito apenas com modo comum.



O ganho diferencial será:

$$A_d = \frac{R_2}{R_1}$$

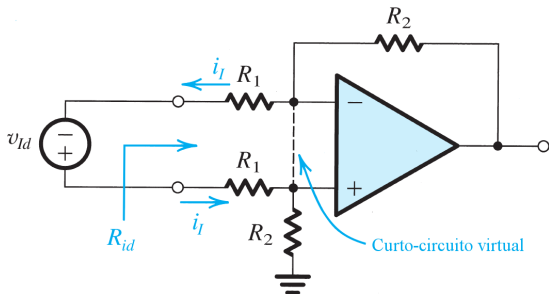
O ganho de modo comum será:

$$A_{cm} = \left(\frac{R_4}{R_4 + R_3} \right) \left(1 - \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4} \right)$$

Fazendo $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$ obtemos $A_{cm} = 0$.

A impedância diferencial vista pela entrada será:

$$R_{id} \equiv \frac{v_{id}}{i_I} = 2R_1$$



A necessidade de um alto ganho pode levar a uma baixa impedância de entrada.

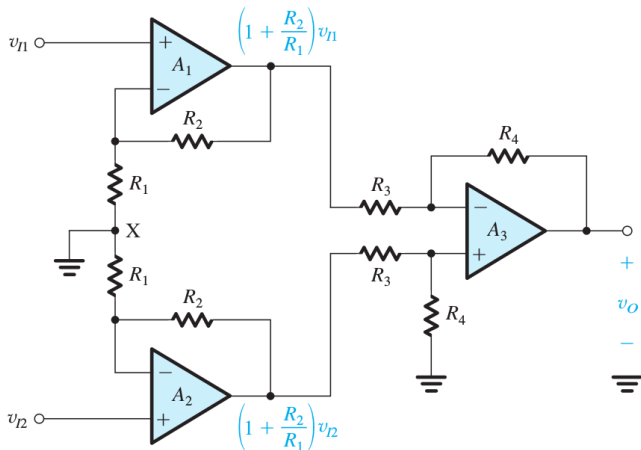
Exemplo

Considere o amplificador de diferenças apresentado, para o caso em que $R_1 = R_3 = 2\text{ k}\Omega$ e $R_2 = R_4 = 200\text{ k}\Omega$. Encontre:

- (a) O valor do ganho diferencial A_d
- (b) A impedância de entrada diferencial R_{id} e a impedância de saída R_o
- (c) Se os resistores tem tolerância de $\pm 1\%$ encontre o cenário para o pior ganho A_{cm} e sua respectiva CMRR.

O amplificador de instrumentação

Proposto como forma de resolver o problema da baixa impedância de entrada do amplificador de diferenças.



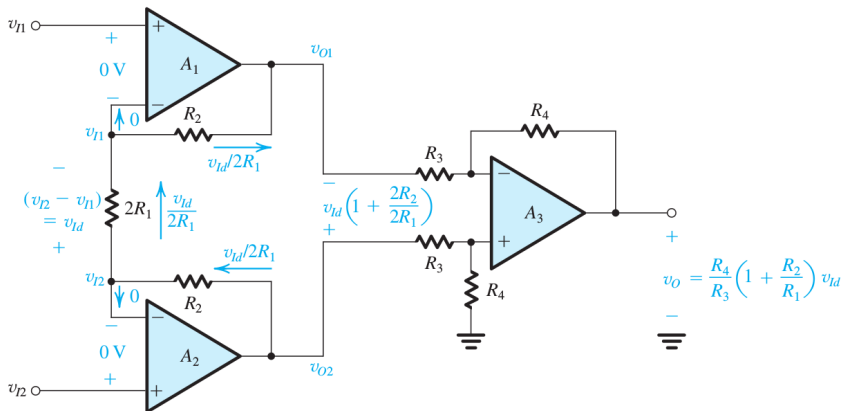
O ganho em modo comum será idealmente zero por causa da ação diferencial do amplificador do segundo estágio

Porém, o circuito possui três desvantagens principais:

- O sinal de modo comum de entrada é amplificado no primeiro estágio e pode causar saturação dos amplificadores A_1 e A_2 .
- Os amplificadores do primeiro estágio devem ser exatamente iguais, caso contrário um sinal espúrio irá aparecer entre suas saídas.
- Para variar o ganho diferencial, dois resistores devem ser variados simultaneamente: uma tarefa difícil.

$$A_d = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Para tentar solucionar os problemas obtidos, propomos a seguinte modificação:



Ganho diferencial:

$$A_d = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Para resistores R_2 e R'_2 diferentes:

$$A_d = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{R_2 + R'_2}{2R_1} \right)$$

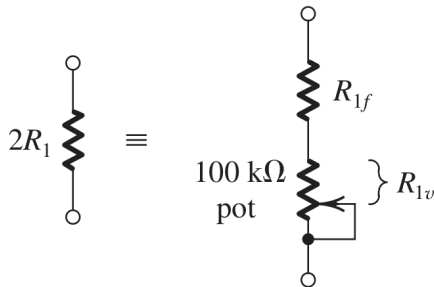
Ganho de modo comum:

$$A_{cm} = 0$$

Haverá ganho de modo comum apenas no segundo estágio.

Exemplo

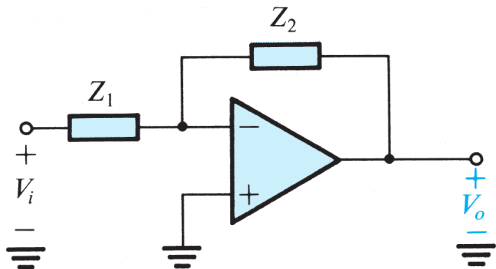
Projete um amplificador de instrumentação utilizando o circuito anterior que possa prover um ganho que varia na faixa de 2 a 1000, utilizando um potenciômetro de $100\text{ k}\Omega$.



Configuração inversora com impedâncias generalizadas

Consideremos o ganho em malha fechada utilizando impedâncias generalizadas:

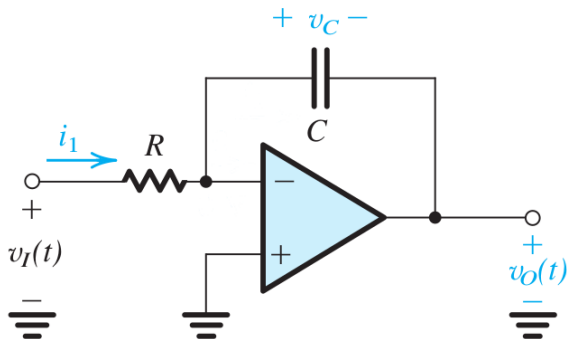
$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}$$



$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

O Integrador inversor

O circuito a seguir implementa um integrador inversor:

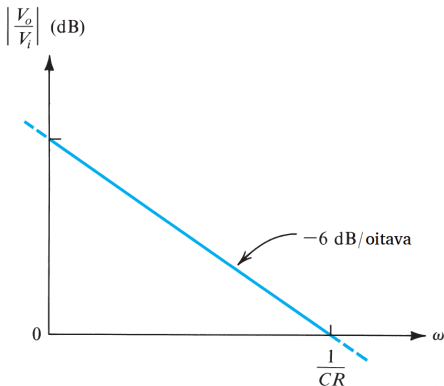


A função de transferência do circuito é dada por:

$$v_O(t) = -\frac{1}{CR} \int_0^t v_I(\tau) d\tau$$

A frequência do integrador será:

$$\omega_{int} = \frac{1}{CR}$$

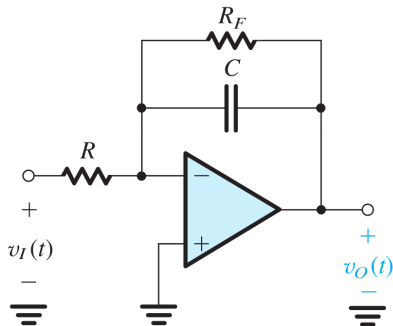


Esse circuito apresenta o problema de amplificação do nível DC.

Integrador Miller

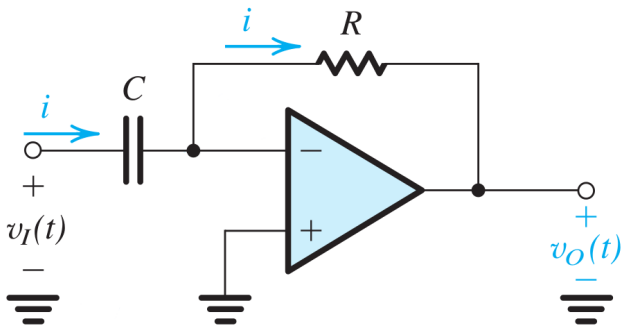
Proposto como forma de reduzir o ganho em DC.

$$v_i(t) = -\frac{R}{R_F}v_o(t) - C \frac{dv_o(t)}{dt}$$



O circuito derivador com amp-op

Um circuito derivador pode ser implementado da seguinte forma:

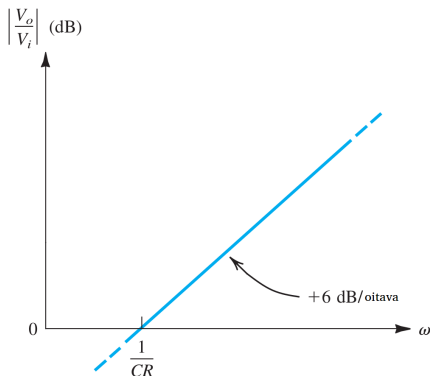


A função de transferência do circuito será dada por:

$$v_o(t) = -RC \frac{dv_i(t)}{dt}$$

A frequência do diferenciador será:

$$\omega_{dif} = \frac{1}{CR}$$



A implementação prática exige a utilização de um resistor pequeno em série com o capacitor para evitar a amplificação de ruídos

Exemplo

Encontre a saída produzida por um integrador Miller quando uma entrada na forma de pulsos quadrados de 1 V de altura e 1 ms de largura é aplicada. Use $R = 10\text{ k}\Omega$ e $C = 10\text{ nf}$ se necessário.

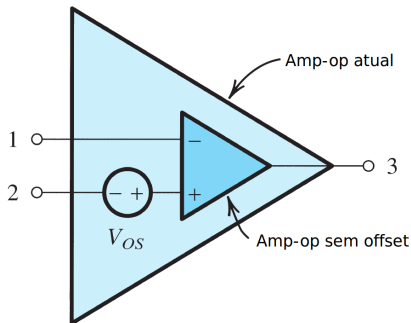
Características não ideais de um amp-op

Algumas características não ideais são importantes na análise de uma aplicação com amp-ops, são elas:

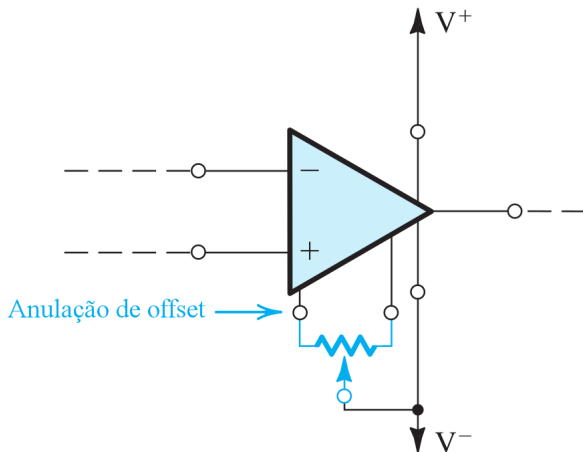
- Tensão de offset
- Ganho de malha aberta finito
- Largura de banda de operação
- Saturação do sinal de saída
- Slew-rate

Tensão de offset

Característica presente no terminal de saída do amp-op.



V_{OS} é dependente da temperatura e fica na faixa de 1 mV a 5 mV em amp-ops de uso geral.



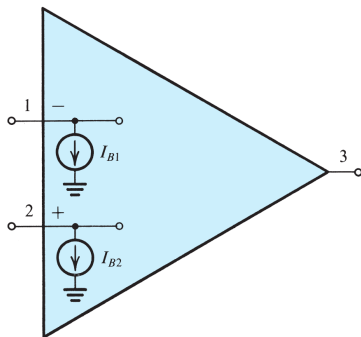
A tensão de offset de saída pode ser reduzida conectando-se um potenciômetro aos terminais de offset do amp-op.

Correntes de polarização de entrada

Para que o amp-op opere é necessária a aplicação de correntes de polarização em suas entradas.

$$I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

$$I_{OS} = |I_{B1} - I_{B2}|$$



A tensão na saída será limitada:

$$V_o \simeq R_2 \cdot I_B$$

Para reduzir esse efeito uma resistência, R_3 , deve ser acoplada ao terminal não-inversor.

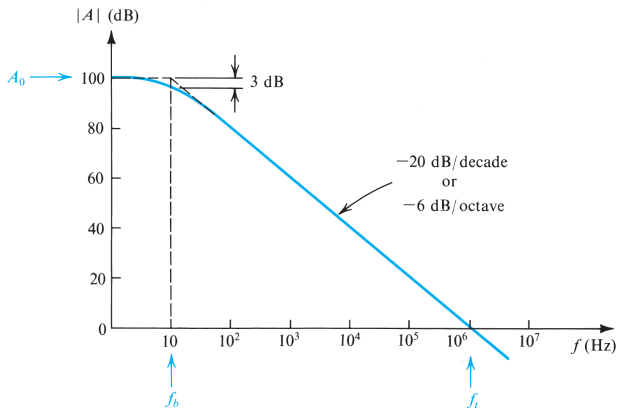
R_3 deverá ser escolhida da forma:

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

R_3 é chamado de resistor de compensação.

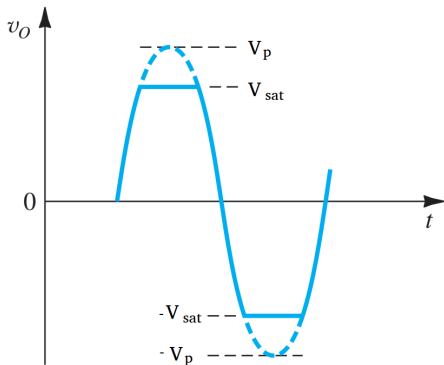
Dependência do ganho em frequência

O ganho em malha aberta de um amplificador operacional não é infinito. Pelo contrário, é finito e diminui com a frequência.



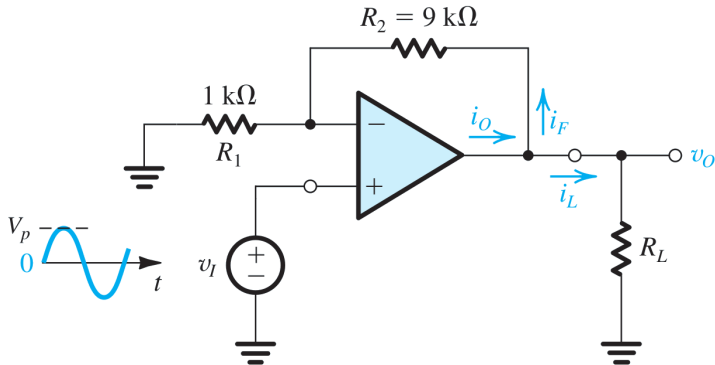
Operação para grandes sinais

Saturação: Um circuito amplificador utilizando amp-op pode apresentar saturação em seus níveis de tensão quando submetido a sinais de amplitude elevada.



Exemplo

Considere o circuito amplificador não-inversor a seguir. A tensão de entrada v_I é senoidal de baixa frequência e possui amplitude V_p . O amp-op foi especificado para ter tensões de saturação de $\pm 13\text{ V}$ e uma limitação de $\pm 20\text{ mA}$ na corrente de saída.



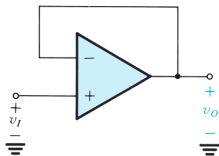
Exemplo

Considere o circuito amplificador não-inversor a seguir. A tensão de entrada v_I é senoidal de baixa frequência e possui amplitude V_p . O amp-op foi especificado para ter tensões de saturação de $\pm 13\text{ V}$ e uma limitação de $\pm 20\text{ mA}$ na corrente de saída.

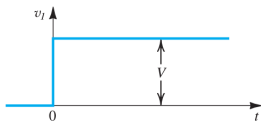
- (a) Para $V_p = 1\text{ V}$ e $R_L = 1\text{ k}\Omega$, especifique o sinal resultante na saída.
- (b) Para $V_p = 1,5\text{ V}$ e $R_L = 1\text{ k}\Omega$, especifique o sinal resultante na saída.
- (c) Qual é o máximo valor de V_p para o qual uma senoide não distorcida é obtida na saída?

Outro fenômeno que pode causar distorções não lineares é o limiar de slew-rate:

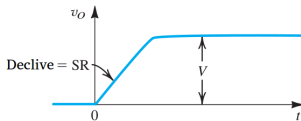
$$SR = \left. \frac{dv_o}{dt} \right|_{max}$$



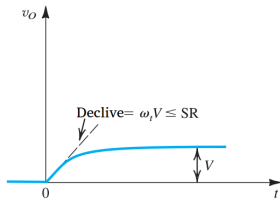
(a)



(b)



(c)





(d)


$$v_o(t) = V(1 - e^{-\omega_t t})$$

$$\omega_t V \leq SR$$

Referências bibliográficas I

 Boylestad, R. and Nashelsky, L. (2004).
Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos.
PRENTICE HALL BRASIL.

 Razavi, B. (2008).
Fundamentals of Microelectronics.
Wiley.

 Sedra, A. S. and Smith, K. C. (2004).
Microelectronic Circuits.
Oxford University Press, fifth edition.