

E 206

Eletrônica Analógica III

Prof. Egidio Raimundo Neto

Autor: Prof. Antonio Alves Ferreira Júnior

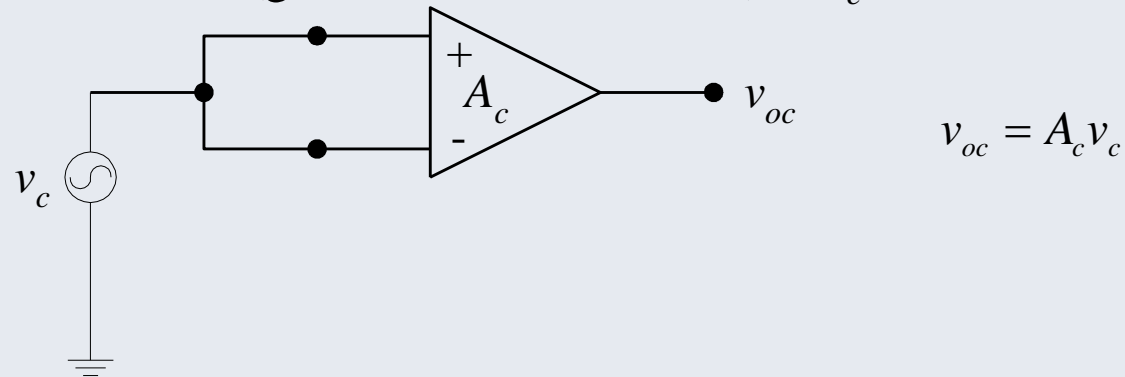
Parâmetros de avaliação de desempenho dos amplificadores operacionais

Relação de rejeição de modo-comum (*CMRR*)

- *CMRR* (*Common-mode rejection ratio*): relação que mede o quanto os sinais diferenciais de entrada são amplificados e os sinais comuns de entrada são rejeitados:

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} \quad , \quad CMRR_{dB} = 20 \log_{10}(CMRR)$$

onde A_d é fornecido pelo fabricante (ganho de malha aberta) e A_c deve ser medido:

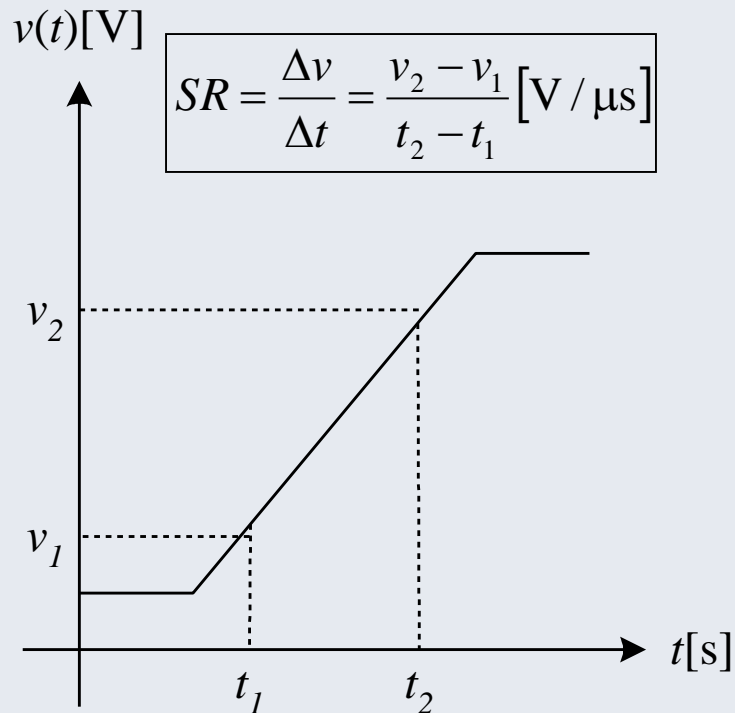


Se $v_{oc} = 0V \rightarrow A_c = 0$ (ideal) e portanto $CMRR = \infty$ (ideal).

Para rejeição: $A_c = \frac{v_{oc}}{v_c} < 1$

Taxa de subida ou de inclinação (*SR*)

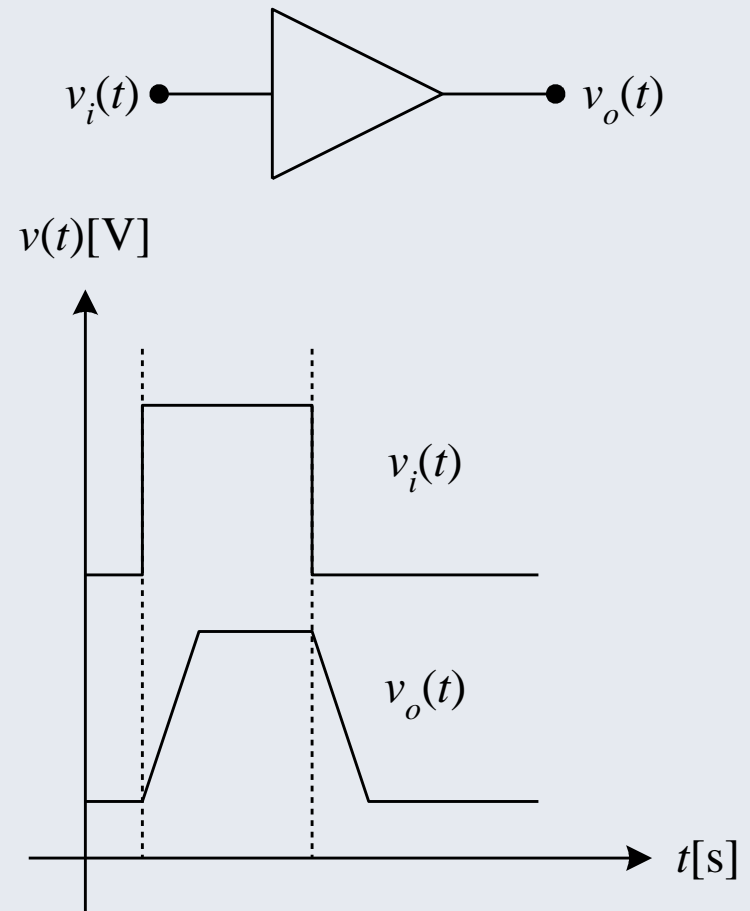
- *SR* (*Slew Rate*): taxa na qual o sinal de saída do amp. op. responde a uma variação do sinal de entrada:



$SR = \infty \rightarrow$ ideal

$SR v_i(t) > SR_{\text{ampop}} \rightarrow v_o(t)$ com distorção

$SR v_i(t) < SR_{\text{ampop}} \rightarrow v_o(t)$ sem distorção



Taxa de subida ou de inclinação (SR)

Para um sinal do tipo $v_o(t) = V_p \text{sen}(\omega t)$, a taxa de variação é dada por:

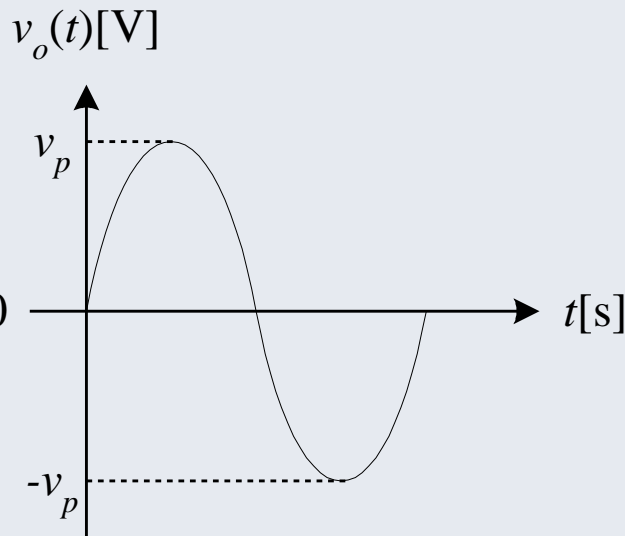
$$\frac{d}{dt}[v_o(t)] = \frac{d}{dt}[V_p \text{sen}(\omega t)] = \omega V_p \cos(\omega t)$$

e para $\omega t = 0$ tem-se a máxima taxa de variação:

$$\omega V_p|_{\omega t=0} = 2\pi f V_p$$

Portanto, para evitar distorção no sinal de saída:

$$SR \geq 2\pi f V_p \rightarrow f \leq \frac{SR}{2\pi V_p} \quad \text{ou} \quad V_p \leq \frac{SR}{2\pi f}$$



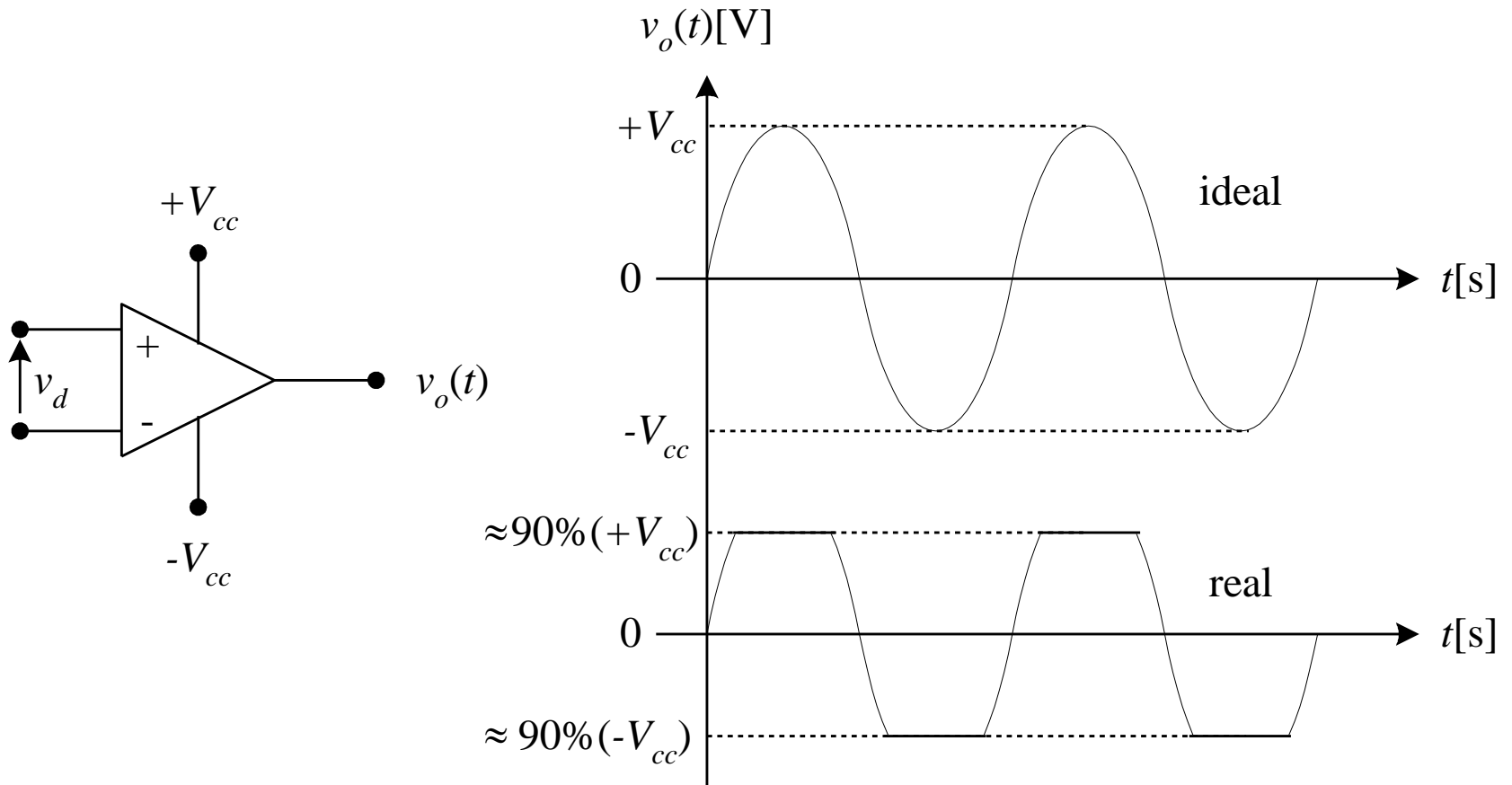
onde:

f : frequência do sinal [Hz];

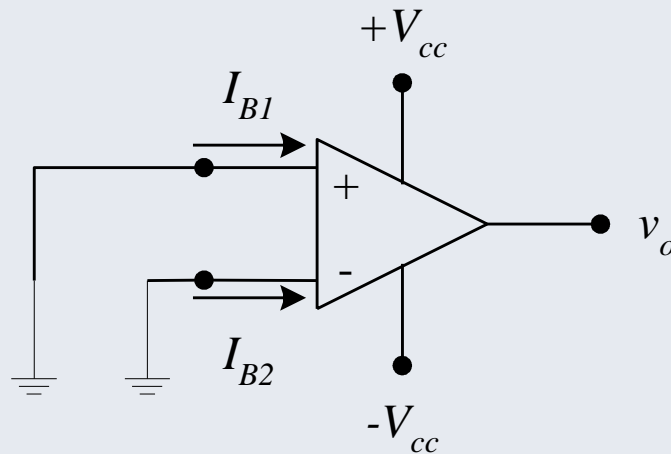
V_p : amplitude de pico do sinal de saída [V];

SR : taxa de subida do amp. op. [V/s].

Saturação



Corrente de polarização de entrada (I_B)



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

onde:

I_{B1} : corrente de polarização na entrada não-inversora;

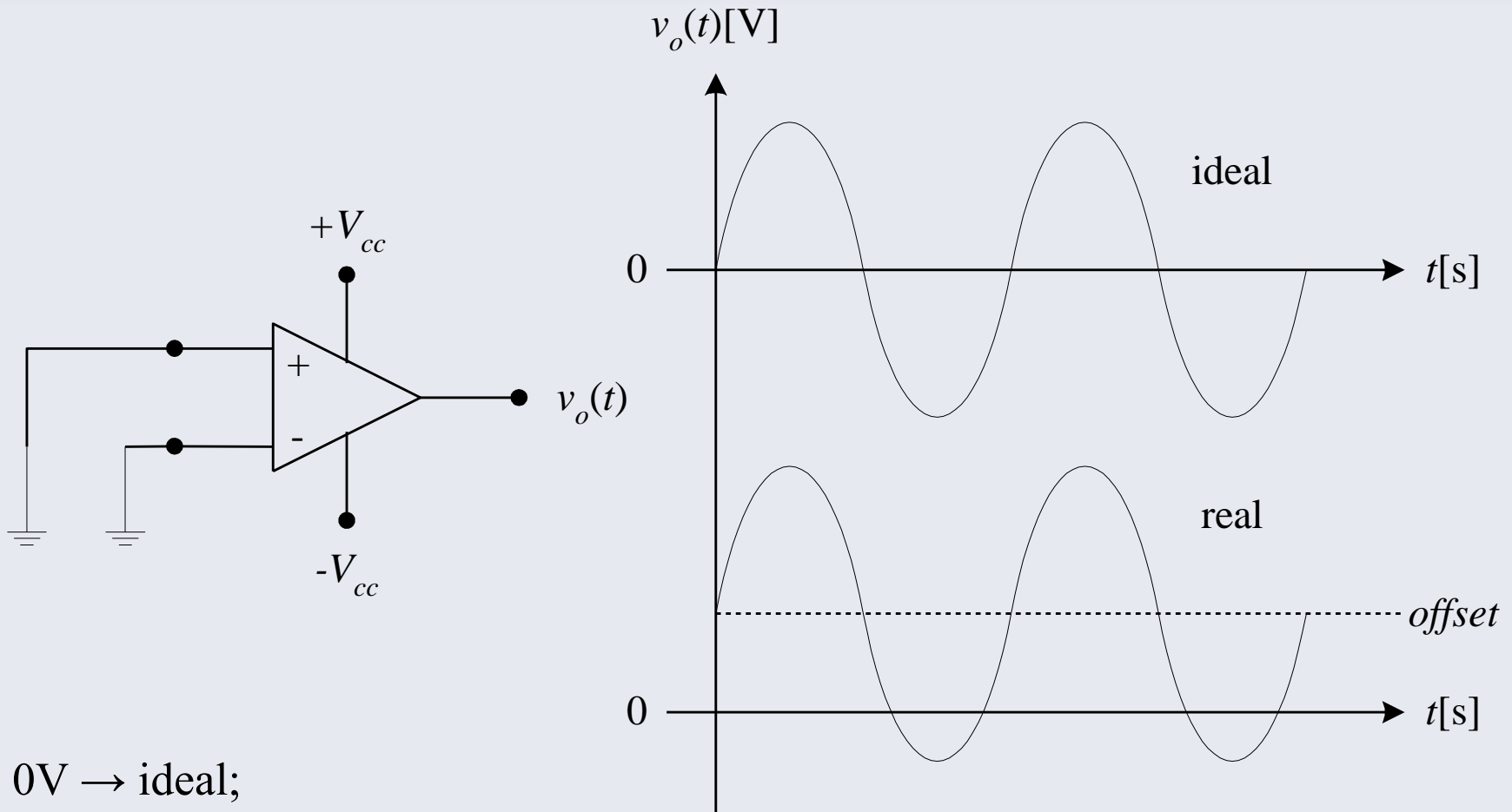
I_{B2} : corrente de polarização na entrada inversora;

I_B : corrente de polarização de entrada.

Sinais de corrente contínua (c.c.) e podem possuir polaridades positivas ou negativas.

Se $I_{B1} = I_{B2} \rightarrow \text{ideal} \rightarrow I_{B1} = I_{B2} = I_B$.

Correntes e tensões *offset*

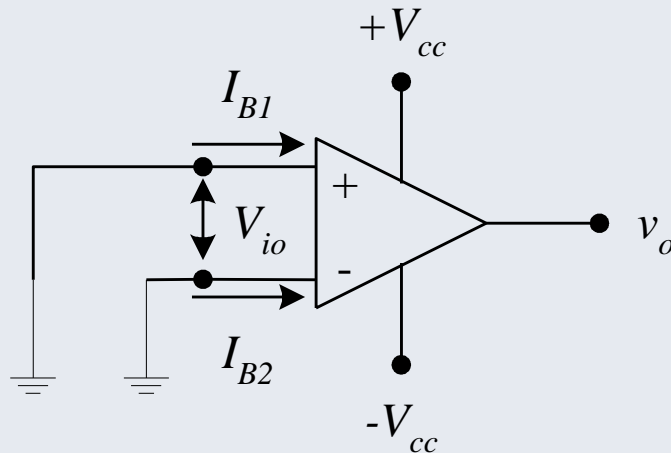


$v_o(t) = 0V \rightarrow$ ideal;

$v_o(t) \neq 0V \rightarrow$ real;

Sinais de corrente contínua (c.c.) e podem possuir polaridades positivas ou negativas.

Correntes e tensões *offset*



Tensão *offset* de entrada:

$$V_{io} = v_i^+ - v_i^-$$

Corrente *offset* de entrada:

$$I_{io} = I_{B1} - I_{B2}$$

Têm-se que: $I_{B1} = I_{io} + I_{B2}$, $I_{B2} = I_{B1} - I_{io}$, $I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$

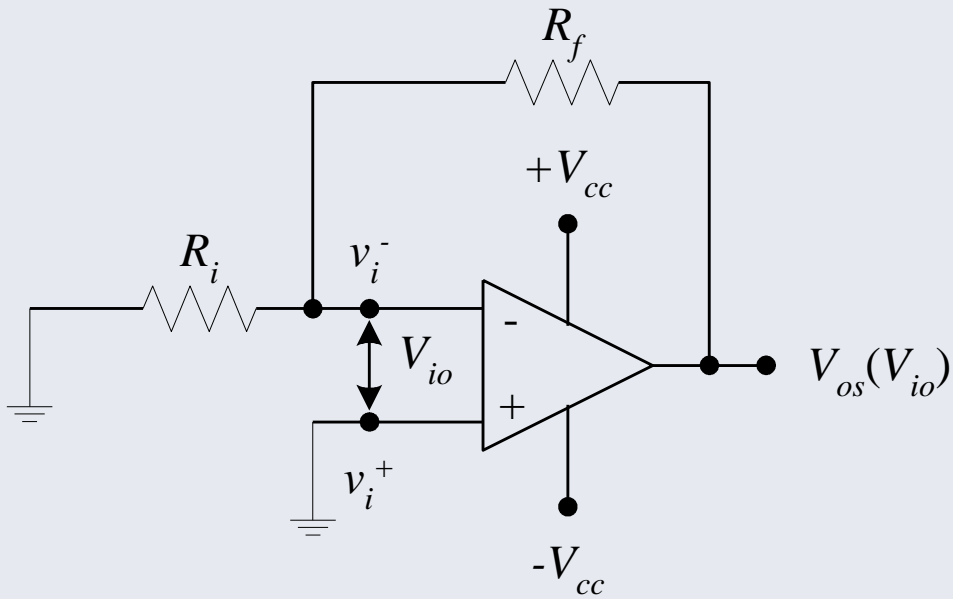
e obtém-se as seguintes relações entre I_B e I_{io} :

$$I_B = I_{B2} + \frac{I_{io}}{2} \quad , \quad I_B = I_{B1} - \frac{I_{io}}{2}$$

Sinais de corrente contínua (c.c.) e podem possuir polaridades positivas ou negativas.

Correntes e tensões *offset*

- Tensão *offset* de saída devido a V_{io} ($V_{os}(V_{io})$):



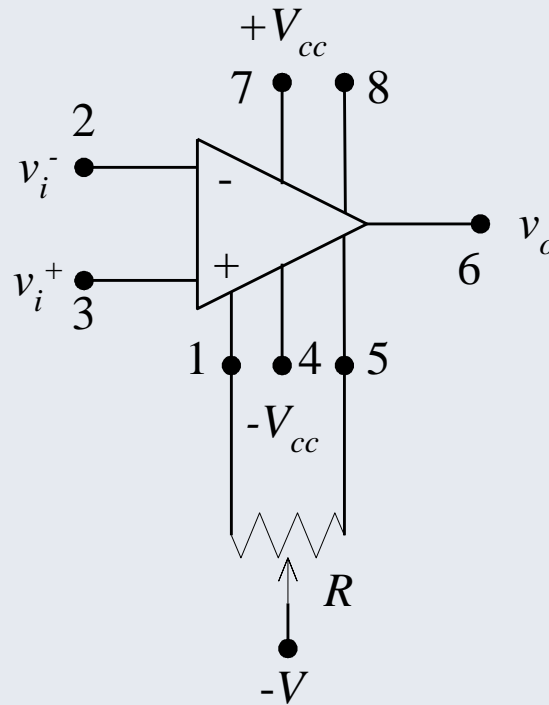
$$v_i^- = \frac{R_i}{R_i + R_f} V_{os}(V_{io})$$

$$V_{io} = |v_i^+ - v_i^-| = |0 - v_i^-| = v_i^-$$

$$V_{os}(V_{io}) = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) V_{io}$$

Ajuste da tensão *offset*

- Ajuste interno: o amp. op. deve possuir os pinos para esta finalidade, que depende do modelo e do fabricante.



Para o amp. op. modelo 741 utiliza-se $R = 10\text{k}\Omega$ (potenciômetro).
Quando $V_{os} = 0\text{V}$ diz-se que o amp. op. está balanceado ou anulado.

Ajuste da tensão *offset*

- Ajuste externo (geral ou universal): conecta-se um divisor de tensão em um das entradas do amp. op.

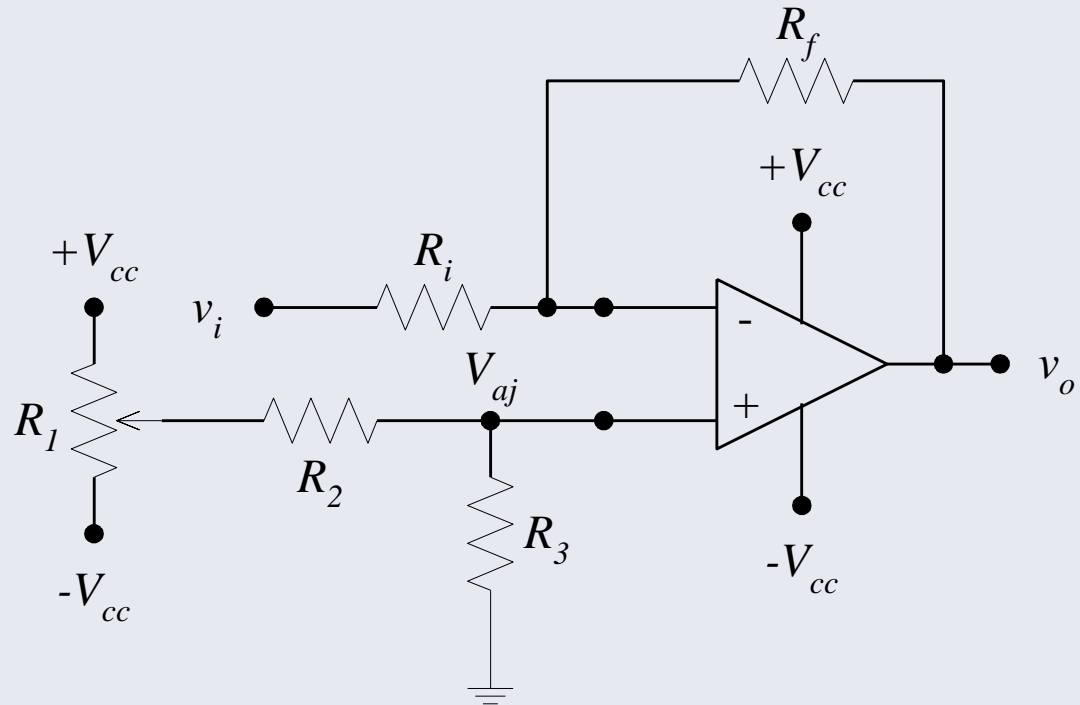
- Para a configuração inversora:

$$v_o = -\frac{R_f}{R_i} v_i$$

Faixa de ajuste da tensão *offset*:

$$V_{aj} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V$$

$$V = |V_{cc}| = |-V_{EE}|$$

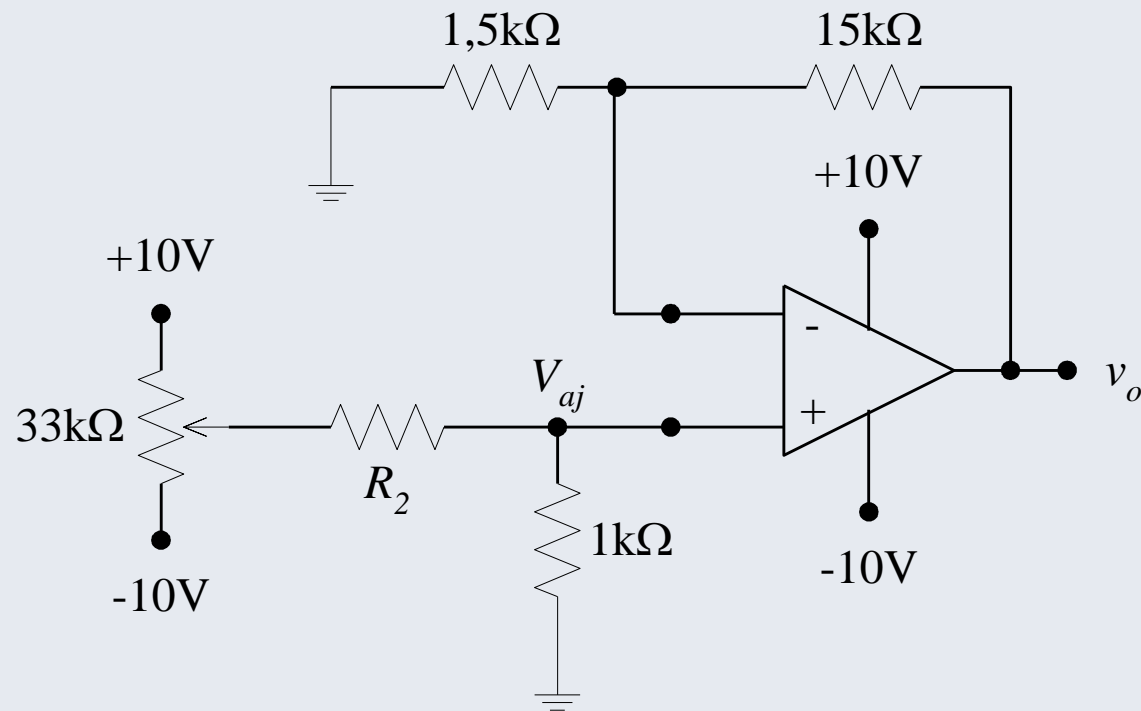


Exemplos

- 1) Um amplificador operacional possui especificação com relação aos ganhos diferencial de malha aberta e de modo comum iguais a 200.000 e 6,32, respectivamente. Determinar os valores do $CMRR$ nas escalas linear e logarítmica. Resp: $CMRR = 31645,57$; $CMRR_{dB} = 90dB$
- 2) Um amplificador operacional possui especificação com relação às correntes de entrada *offset* e de polarização iguais a 20nA e 80nA, respectivamente. Determinar os valores das correntes de polarização nas entradas inversora e não-inversora. Resp: $I_{B1} = 90nA$; $I_{B2} = 70nA$
- 3) Determinar a máxima frequência de um sinal que será aplicado a um amplificador operacional que possui taxa de inclinação igual a 0,5V/μs, considerando que a amplitude de pico do sinal de saída seja igual a 5V. Resp: $f_{max} = 15,92kHz$

Exemplos

4) O amplificador operacional do circuito a seguir possui especificação com relação à tensão *offset* de entrada igual a 1mV. Determinar: a) o valor da tensão *offset* de saída $V_{os}(V_{io})$, desconsiderando seu ajuste; b) o valor de R_2 para fazer o ajuste de *offset* nulo.
Resp: a) $V_{os}(V_{io}) = 11\text{mV}$; b) $R_2 \approx 10\text{M}\Omega$



Referências

. Básica:

- R. Boylestad, L. Nashelsky, “Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos,” 8. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.
- A. F. Gruiter, “Amplificadores Operacionais: fundamentos e aplicações,” São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
- R. A. Gayakwad. "Op-Amps and linear integrated circuits". 7. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000.

. Complementar:

- S. Franco, “Design with operational amplifiers and analog integrated circuits,” 2. ed. Boston: McGraw-Hill, 1998.
- A. Pertence Jr., “Eletrônica analógica: Amplificadores Operacionais e filtros ativos - teoria, projetos, aplicações e laboratório,” 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

. Outras:

- <http://www.national.com/mpf/LM/LM741.html#Overview>
- <http://www.national.com/mpf/LM/LM358.html#Overview>
- <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/lm358.html>
- <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/ua741.html>