E 206

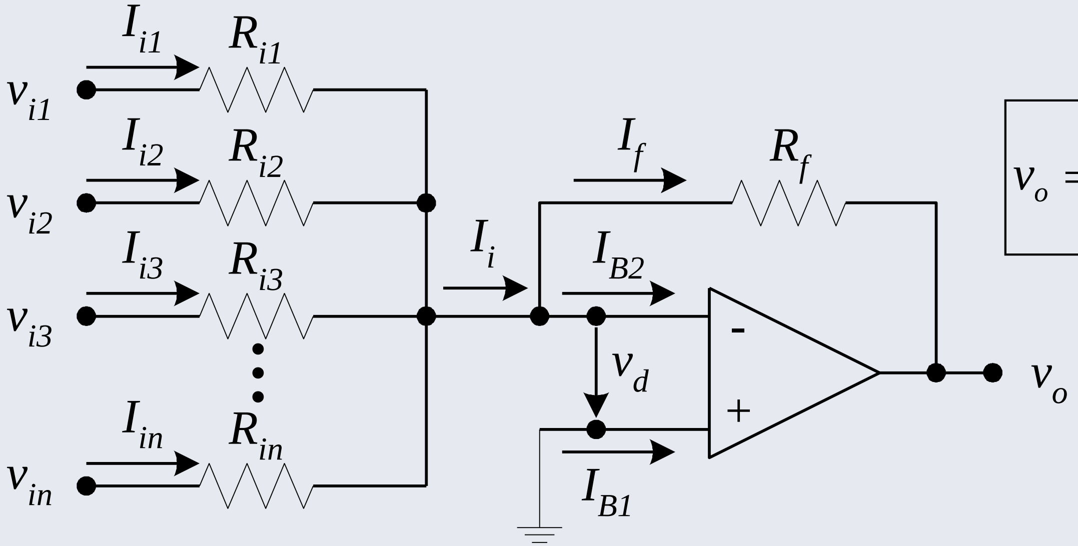
Eletrônica Analógica III

Prof. Egidio Raimundo Neto
Autor: Prof. Antonio Alves Ferreira Júnior

Aplicações lineares com os amplificadores operacionais

Somador inversor

• Amplificador somador inversor:



$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_{i1}} v_{i1} + \frac{R_f}{R_{i2}} v_{i2} + \frac{R_f}{R_{i3}} v_{i3} + \cdots + \frac{R_f}{R_{in}} v_{in} \right)$$

A tensão de saída total é formada pela soma de cada tensão de entrada multiplicada pelo respectivo ganho, e com inversão de fase. De outra forma:

$$v_o = A_{v1} v_{i1} + A_{v2} v_{i2} + A_{v3} v_{i3} + \cdots + A_{vn} v_{in}$$

e cada sinal de entrada possui um fator de escala diferente.

Somador inversor

- Amplificador somador inversor:

Se todas resistências possuírem os mesmo valores, $R_f = R_{i1} = R_{i2} = R_{i3} = ... = R_{in}$, tem-se que a tensão de saída é a soma simples de todas as entradas, com o pesos individuais (ganho) iguais a -1:

$$v_o = -(v_{i1} + v_{i2} + v_{i3} + \cdots + v_{in})$$

E ainda, se $v_{i1} = v_{i2} = v_{i3} = ... = v_{in} = v_i$ o circuito torna-se um multiplicador, onde n é o número de entradas e corresponde ao fator multiplicativo do valor da tensão de entrada v_i:

$$v_o = -nv_i$$

Integrador prático

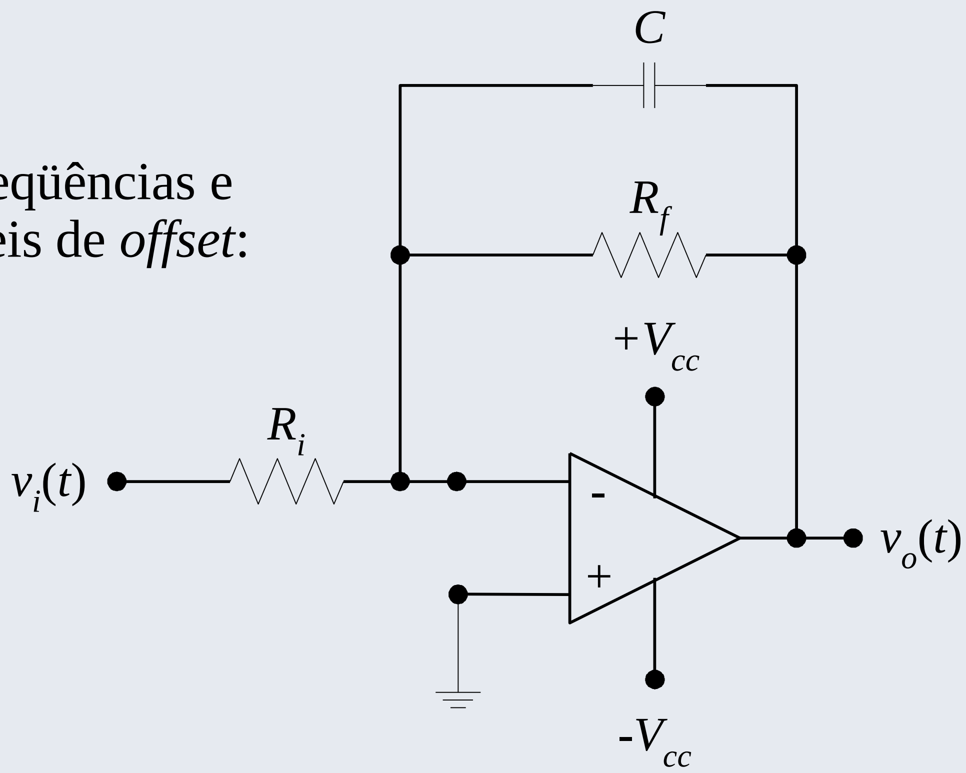
• Em baixas freqüências (c.c.):

- Sem R_f:

$$R_f = \infty\Omega \text{ e } Z_C(0) = \infty\Omega \therefore A_v = \infty$$

- Com R_f: reduz o alto ganho em baixas freqüências e conseqüentemente a amplificação dos níveis de *offset*:

$$Z_C > R_f \text{ e } Z_c // R_f \approx R_f \therefore A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$



• Em outras freqüências:

$$Z_c < R_f \text{ e } Z_c // R_f \approx Z_c$$

$$X_c < R_f \rightarrow \frac{1}{2\pi f C} < R_f$$

e a freqüência de corte é dada por:

$$\boxed{f_c > \frac{1}{2\pi R_f C}}$$

$f > f_c$: integrador

$f < f_c$: inversor

Diferenciador prático

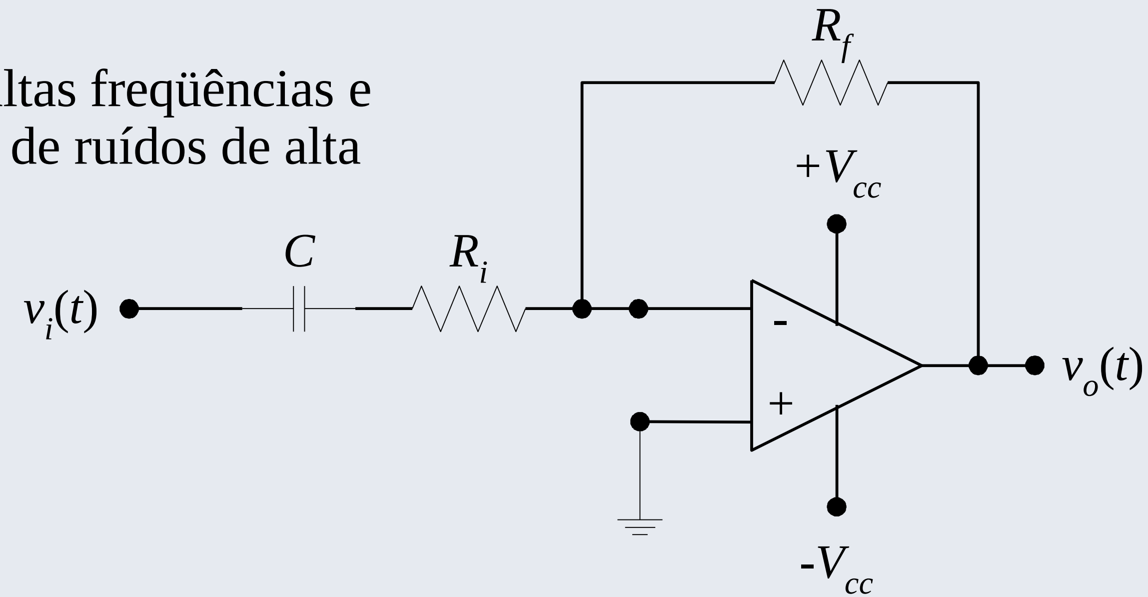
• Em outras freqüências:

- Sem R_i:

$$R_i = 0\Omega \text{ e } Z_c(\infty) = 0\Omega \therefore A_v = \infty$$

- Com R_i: reduz o alto ganho em altas freqüências e conseqüentemente a amplificação de ruídos de alta freqüência:

$$Z_c < R_i \text{ e } Z_c + R_i \approx R_i \therefore A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$



• Em baixas freqüências (c.c.):

$$Z_c > R_i \text{ e } Z_c + R_i \approx Z_c$$

$$X_c > R_i \rightarrow \frac{1}{2\pi f C} > R_i$$

e a freqüência de corte é dada por:

$$\boxed{f_c < \frac{1}{2\pi R_i C}}$$

$f > f_c$: inversor

$f < f_c$: diferenciador

Amplificador diferencial

• Características:

- Impedâncias vistas por v_1 e v_2 são diferentes: $Z_1 = R_1$ e $Z_2 = R_3 + R_4$.

- Difícil ajuste de A_v.

• Teorema da superposição:

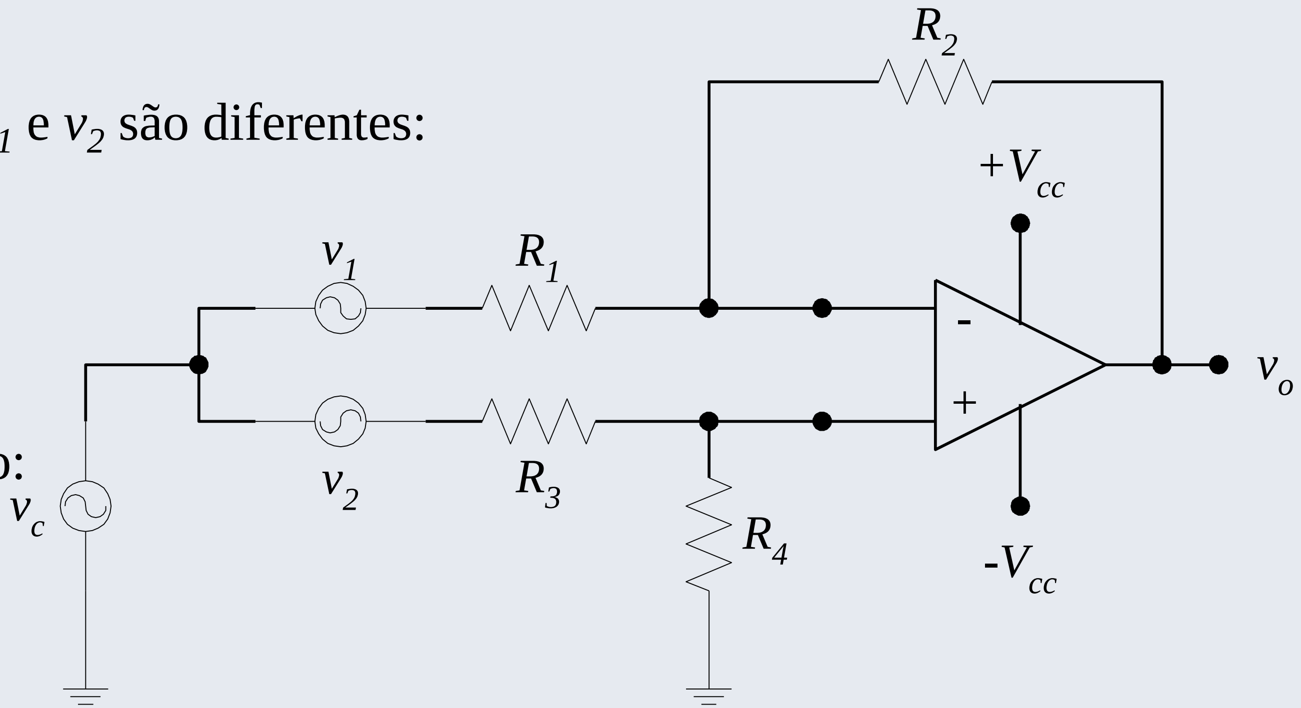
$$v_o = v_o^+ + v_o^-$$

- Lado inversor:

$$v_o^- = -\frac{R_2}{R_1}(v_1 + v_c)$$

- Lado não-inversor:

$$v_o^+ = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)\left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)(v_2 + v_c)$$



$$\boxed{v_o = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)\left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)(v_2 + v_c) - \frac{R_2}{R_1}(v_1 + v_c)}$$

ou

$$\boxed{v_o = \frac{R_4}{R_1}\left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4}\right)v_2 - \frac{R_2}{R_1}v_1 + \left(\frac{R_1R_4 - R_2R_3}{R_1R_3 + R_1R_4}\right)v_c}$$

Amplificador diferencial

Para que o circuito seja balanceado faz-se $R_1 = R_3$ e $R_2 = R_4$, e a tensão de saída resulta em:

$$\boxed{v_o = \frac{R_2}{R_1}\left(v_2 - v_1\right)}$$

Idealmente, os sinais de modo-comum não são amplificados, resultando em um ganho de modo comum (A_c) igual a 0 e $CMRR = \infty$. Portanto, o ganho diferencial para o circuito balanceado é dado por:

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

Para um valor finito de *CMRR*, considerando o circuito balanceado, tem-se:

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} \quad , \quad v_{oc} = A_c v_c \qquad\qquad \boxed{CMRR = \frac{A_d v_c}{v_{oc}}}$$

Para um circuito desbalanceado o valor do ganho de modo comum fica igual a:

$$\boxed{A_c = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 R_3 + R_1 R_4}}$$

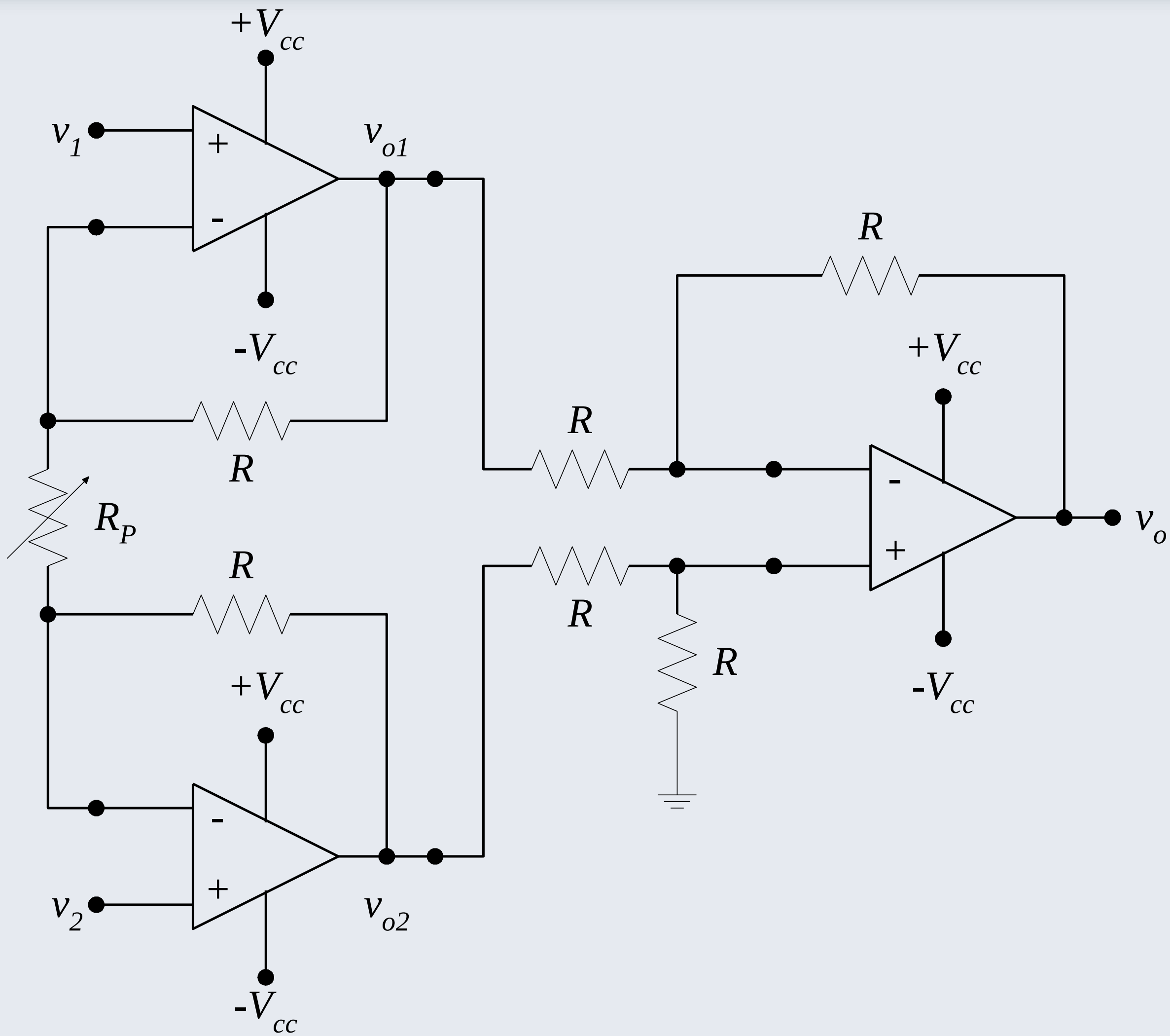
Amplificador de instrumentação

• Características:

- Impedâncias vistas por v_1 e v_2 são iguais.

- Alta impedância de entrada (amp. op. não-inversor).

- Fácil ajuste de A_v através de R_p.



Amplificador de instrumentação

Determinado v_{o1} e v_{o2} considerando R_p / 2:

$$v_{o1} = \left(1 + \frac{R}{R_p/2}\right) v_1 = \left(1 + \frac{2R}{R_p}\right) v_1$$

$$v_{o2} = \left(1 + \frac{R}{R_p/2}\right) v_2 = \left(1 + \frac{2R}{R_p}\right) v_2$$

e calculando v_o:

$$v_o = \frac{R_2}{R_1}(v_2 - v_1) = \frac{R}{R}(v_{o2} - v_{o1})$$

$$\boxed{v_o = \left(1 + \frac{2R}{R_p}\right)(v_2 - v_1)}$$

Exemplos

1) Para um amplificador somador inversor, determinar o valor da tensão de saída (v_o) considerando R_f = 1MΩ, para:

a) v_{i1} = 1V, v_{i2} = 2V, v_{i3} = 3V, R_{i1} = 500kΩ, R_{i2} = 1MΩ, R_{i3} = 1MΩ. Resp: v_o = -7V

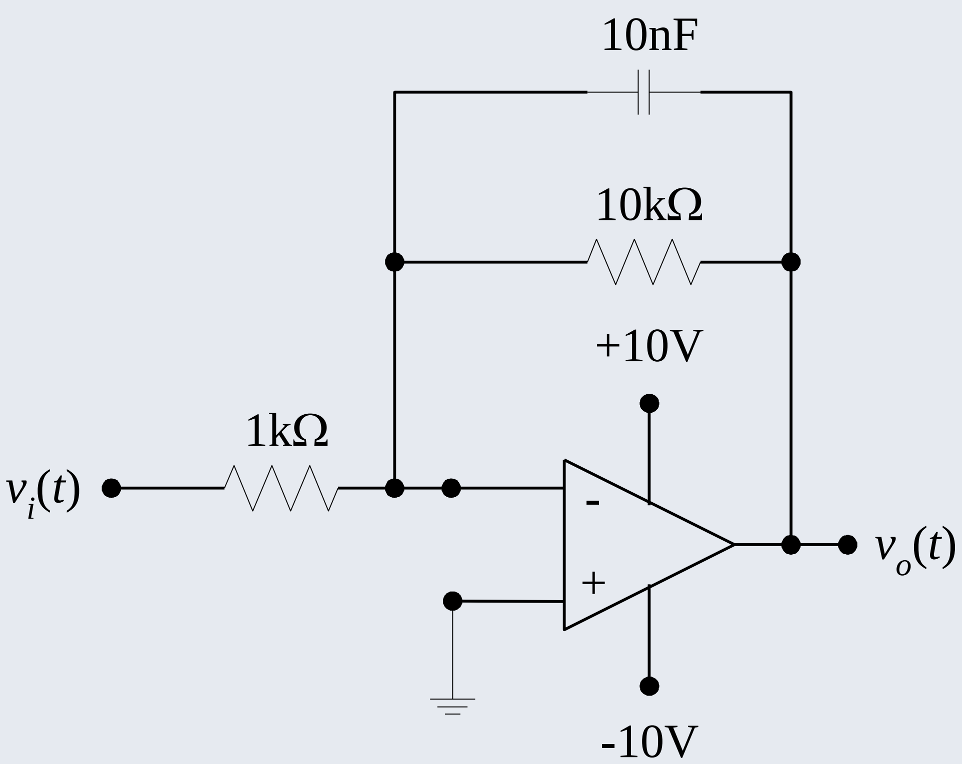
b) v_{i1} = -2V, v_{i2} = 3V, v_{i3} = 1V, R_{i1} = 200kΩ, R_{i2} = 500kΩ, R_{i3} = 1MΩ. Resp: v_o = 3V

2) Para o exemplo (1), determinar os valores das tensões de saída (v_o) considerando todas as resistências iguais a R_f e mantendo os mesmos valores das tensões de entrada. Resp: a) v_o = -6V, b) v_o = -2V

3) Para o exemplo (1), determinar os valores das tensões de saída (v_o) considerando todas as resistências iguais a R_f e todas as tensões de entrada iguais a v_{i1}. Resp: a) v_o = -3V, b) v_o = 6V

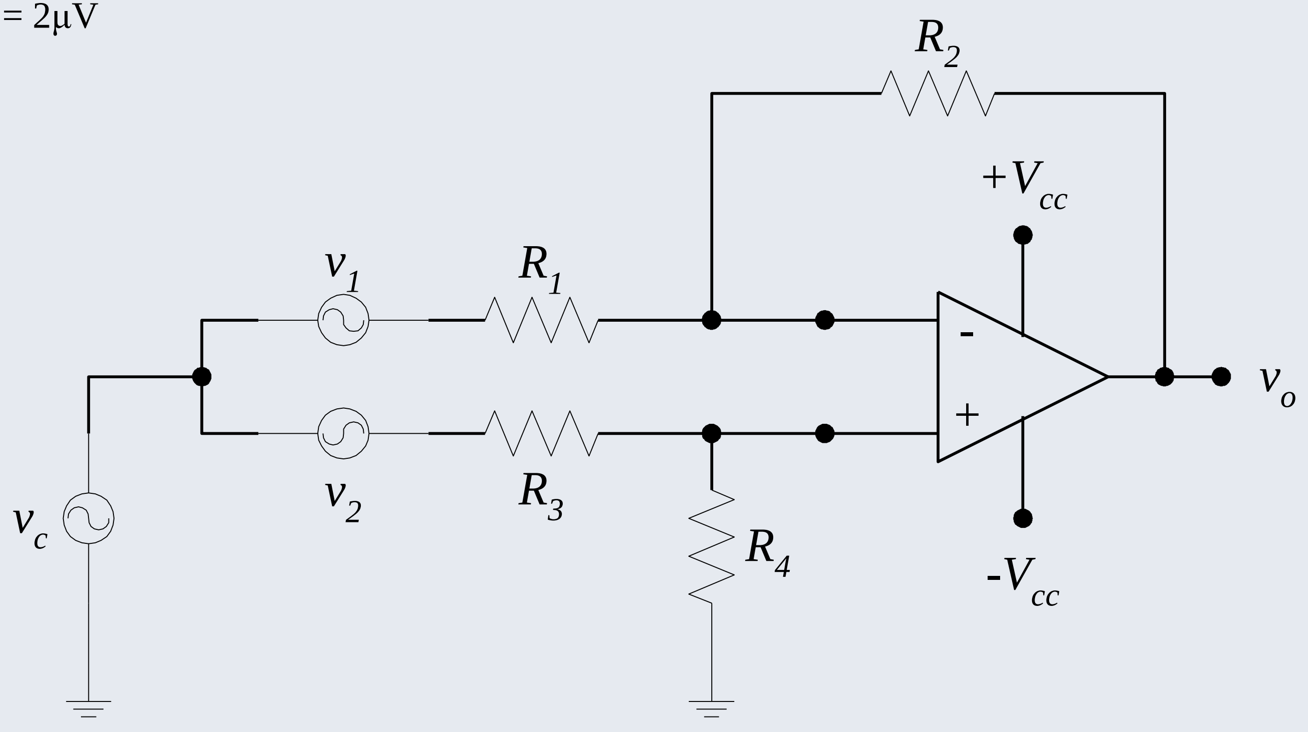
Exemplos

4) Para o circuito a seguir, determinar a faixa de freqüências na qual funciona como integrador e o ganho de tensão na condição de amplificador inversor. Resp: f > 1,6kHz; A_v = -10



Exemplos

5) O circuito a seguir possui R_1 = 1kΩ, R_2 = 10kΩ, R_3 = 1kΩ e R_4 = 10kΩ, sendo que o *CMRR* do amp. op. é igual a 80dB. Os sinais das fontes v_1 e v_2 possuem amplitudes de pico iguais a 3mV e 8mV, respectivamente, na freqüência de 10kHz. O sinal da fonte comum possui amplitude de pico de 2mV na freqüência de 60Hz. Determinar: a) o valor da tensão diferencial de saída considerando o circuito balanceado; b) o valor da tensão comum de saída considerando o circuito balanceado e o *CMRR* do amp. op. Resp: v_o = 50mV; b) v_{oc} = 2μV



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.