



Amplificadores operacionais - AmpOp

Prof. Alceu André Badin

Especificações máximas

LM741

Tensão de alimentação	$\pm 22 \text{ V}$
Dissipação interna de potência	500 mW
Tensão de entrada diferencial	$\pm 30 \text{ V}$
Tensão de entrada	$\pm 15 \text{ V}$

Exemplo:

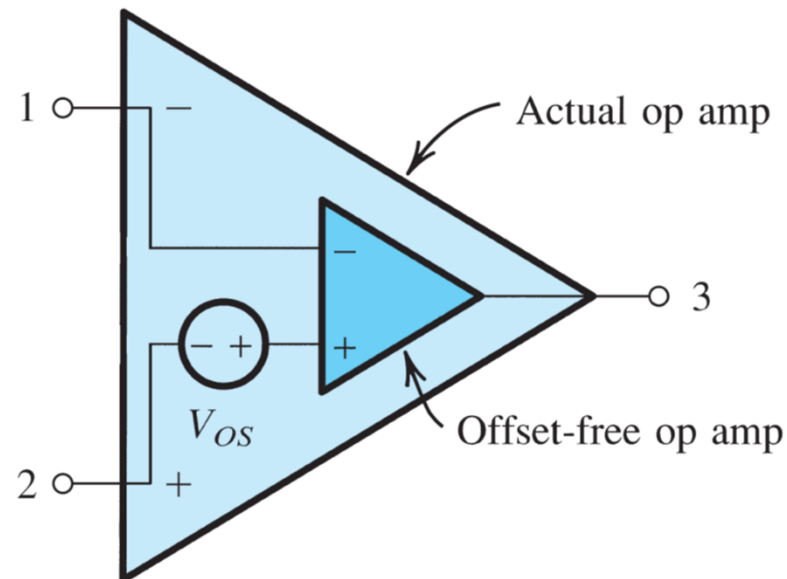
Determine a corrente drenada de uma fonte de alimentação dupla de $\pm 12 \text{ V}$, considerando-se que o CI dissipa 500 mW.

Se considerarmos que cada fonte fornece metade da potência total para o CI, então

$$\begin{array}{l} P = VI \\ 250 \text{ mW} = 12 \text{ V}(I) \end{array} \quad \Rightarrow \quad I = \frac{250 \text{ mW}}{12 \text{ V}} = 20,83 \text{ mA}$$

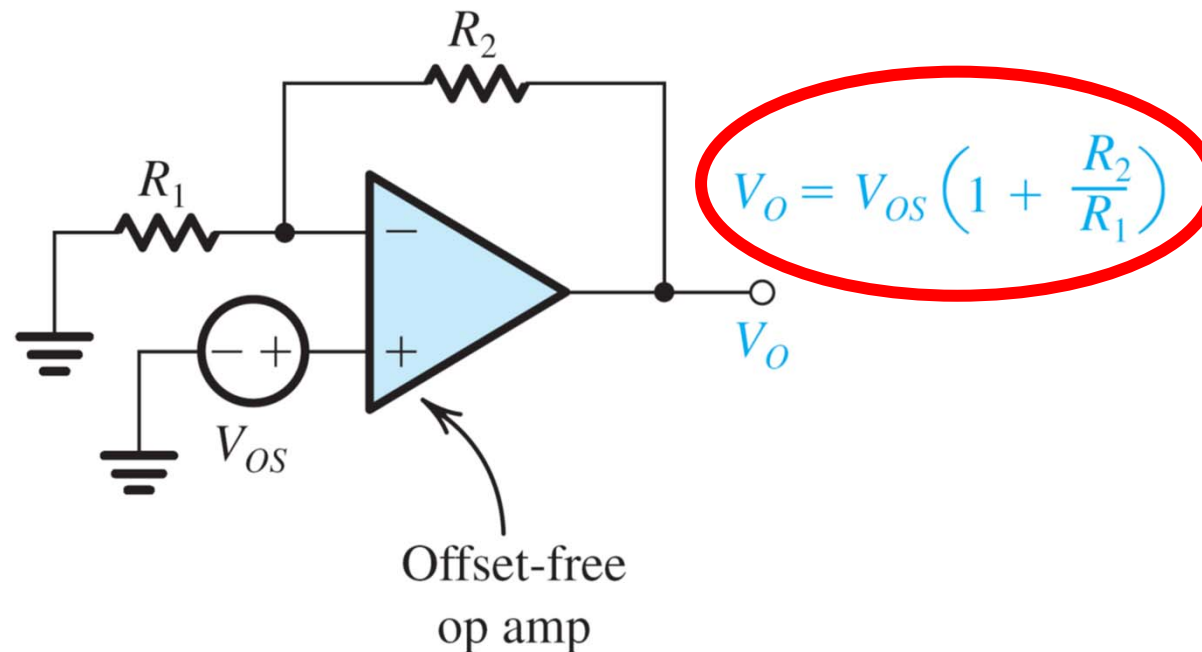
Parâmetros de offset CC

- Mesmo quando a tensão de entrada é zero, um amp-op pode ter um **offset** de saída. Causado por:
 - Tensão de offset de entrada.
 - Corrente de offset de entrada.
 - Tensão de offset de entrada *e* corrente de offset de entrada.
 - Corrente de polarização de entrada.



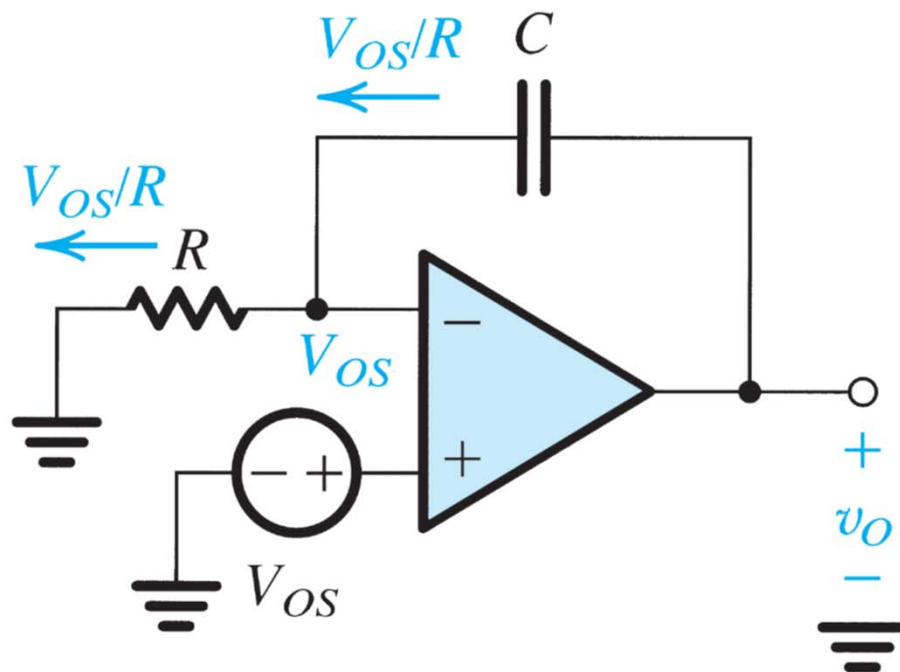
Tensão de offset de entrada (V_{os})

- A folha de dados para um amp-op indica uma **tensão de offset de entrada** (V_{os}).
- O efeito da tensão de offset de entrada pode ser calculado com:



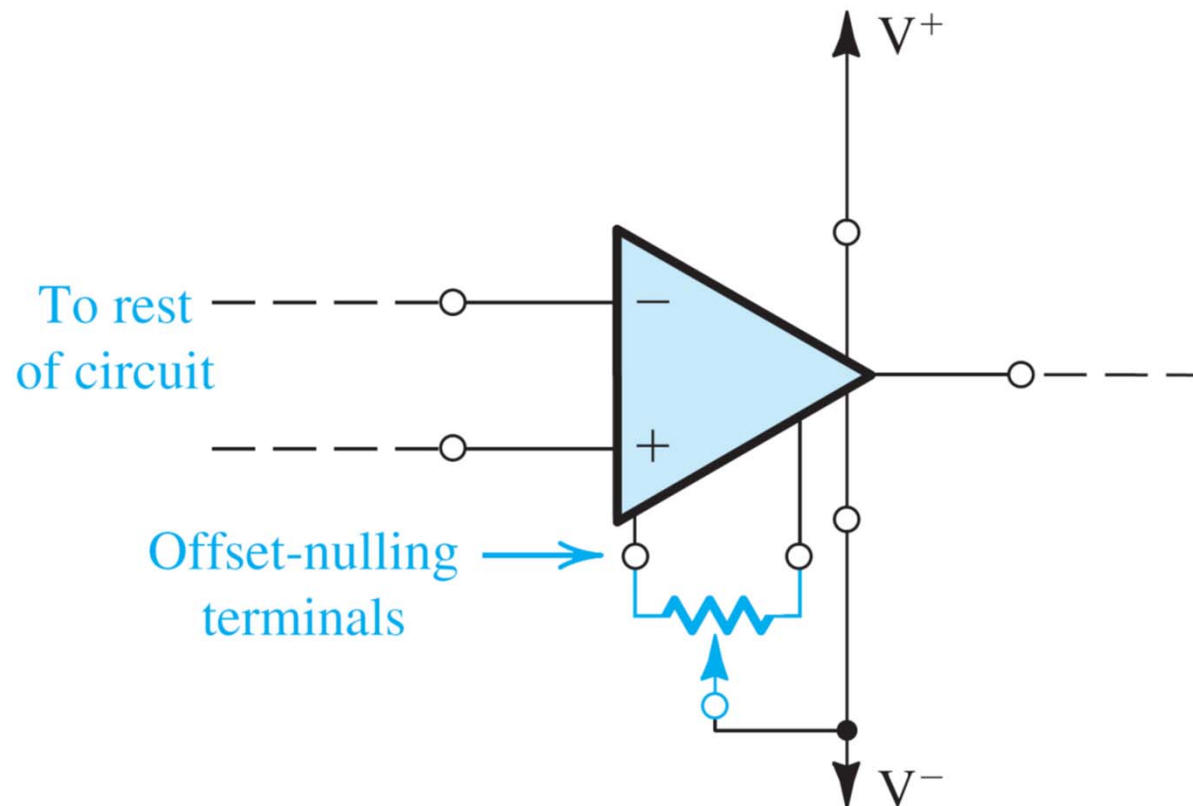
Integrador com offset

-

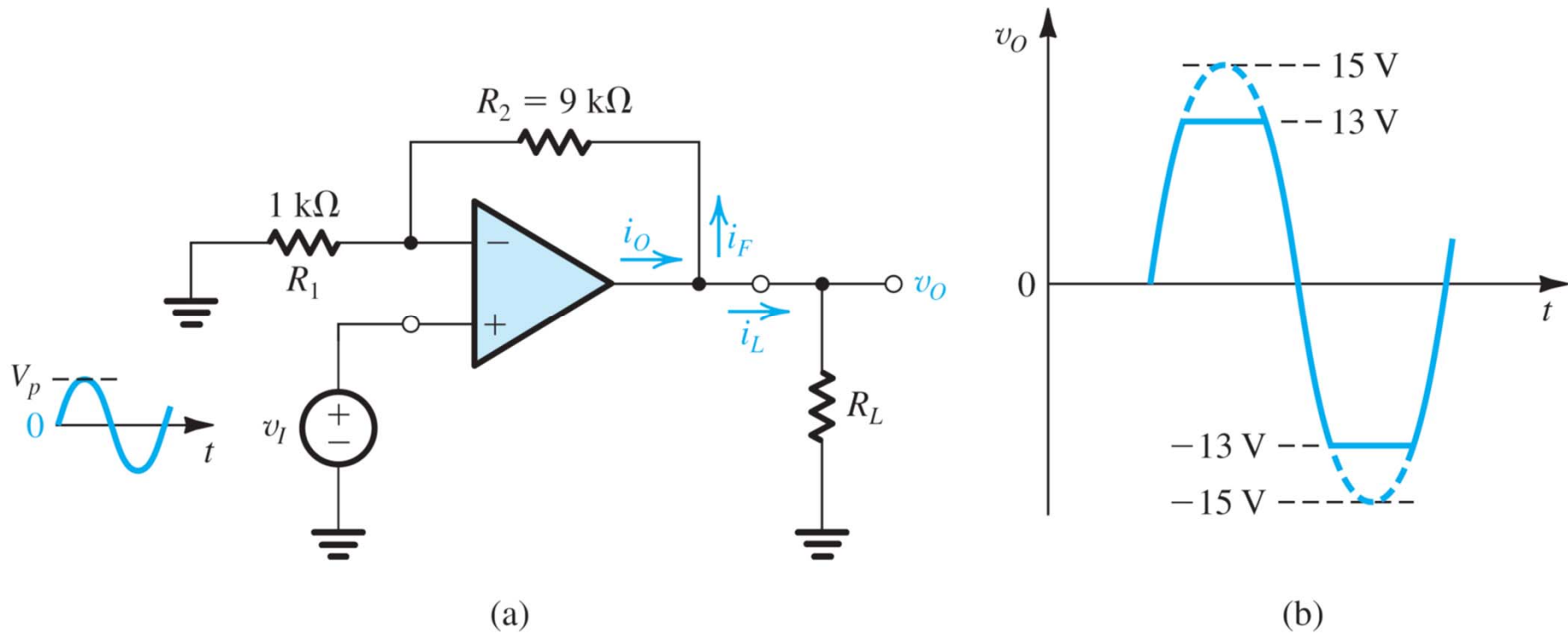


$$\begin{aligned} v_O &= V_{OS} + \frac{1}{C} \int_0^t \frac{V_{OS}}{R} dt \\ &= V_{OS} + \frac{V_{OS}}{CR} t \end{aligned}$$

Compensação de offset



Tensão de saturação



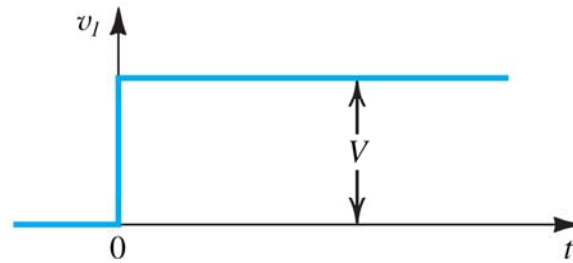
Taxa de inclinação (SR – slew rate)

- Taxa de inclinação (SR): a taxa máxima à qual um amp-op pode mudar sua saída sem distorção.

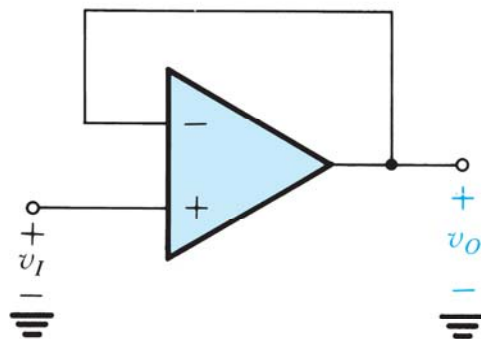
$$SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t} \quad (\text{in } V/\mu s)$$

A taxa de inclinação é listada nas folhas de dados como taxa $V/\mu s$.

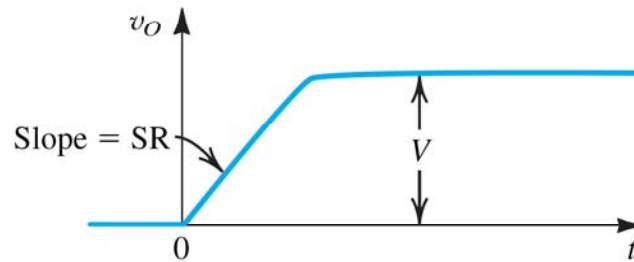
Taxa de inclinação (SR)



(b)

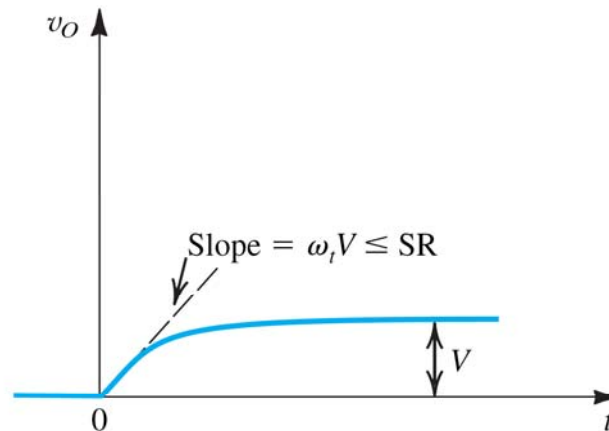


(a)



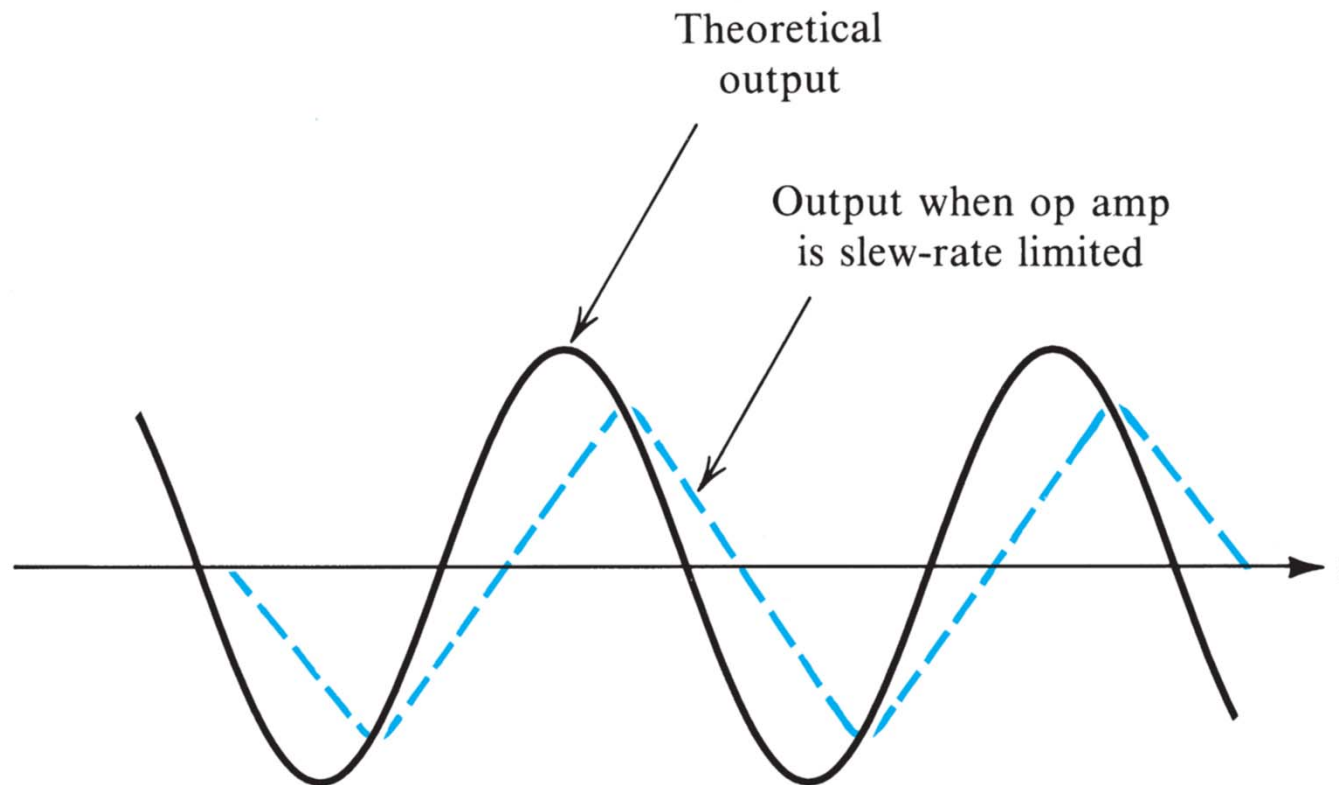
(c)

$$SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t} \quad (\text{in } V/\mu s)$$



(d)

Taxa de inclinação (SR)



Efeito da limitação do SR em uma forma de onda senoidal de alta frequência

Taxa de inclinação (SR)

Para um amp-op com uma taxa de inclinação $SR = 2 \text{ V}/\mu\text{s}$, qual é o máximo ganho de tensão de malha fechada que pode ser utilizado quando o sinal de entrada varia de $0,5 \text{ V}$ em $10 \mu\text{s}$?

Visto que $V_o = A_{CL} V_i$, podemos utilizar

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta t} = A_{CL} \frac{\Delta V_i}{\Delta t}$$

de onde obtemos

$$\begin{aligned} A_{CL} &= \frac{\Delta V_o / \Delta t}{\Delta V_i / \Delta t} = \frac{SR}{\Delta V_i / \Delta t} \\ &= \frac{2 \text{ V} / \mu\text{s}}{0,5 \text{ V} / 10 \mu\text{s}} = \mathbf{40} \end{aligned}$$

Frequência de sinal máximo

- A taxa de inclinação determina a frequência mais alta do amp-op sem distorção.

$$f \leq \frac{SR}{2\pi V_p}$$

onde V_p é o pico de tensão.



Parâmetros de frequência

- Um amp-op é amplificador com ampla largura de banda. Os fatores seguintes afetam a largura da banda do amp-op:

- **Ganho**

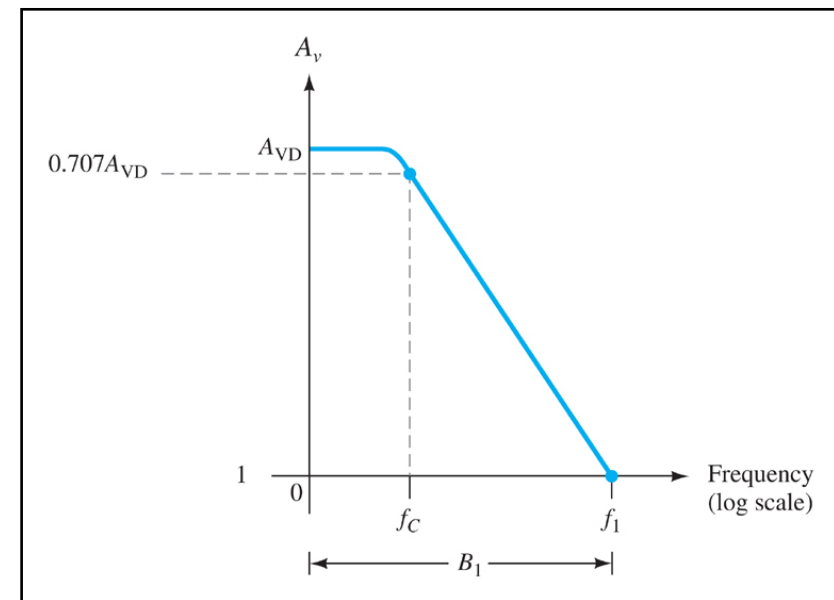
- **Taxa de inclinação**



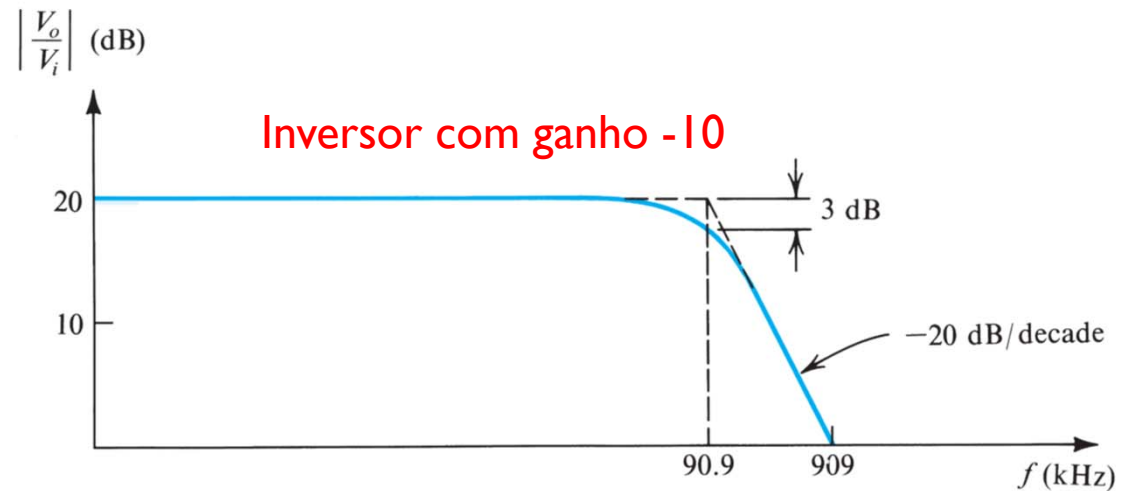
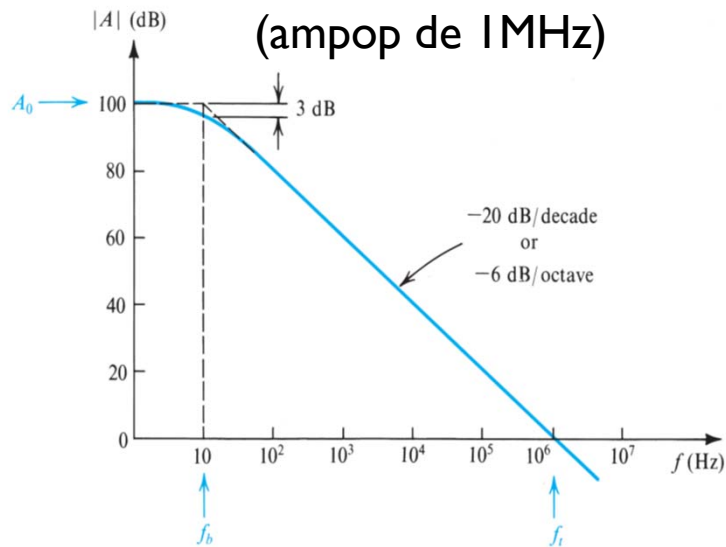
Ganho e largura de banda

A alta resposta em frequência do amp-op é limitada por seus circuitos internos. O gráfico mostrado é para um ganho de malha aberta (A_{OL} ou A_{VD}). Isso significa que o amp-op está operando com o mais alto ganho possível sem resistor com realimentação.

- No modo de malha aberta, um amp-op tem uma largura de banda estreita. A largura da banda aumenta no modo de malha fechada, mas o ganho é inferior.



Ganho e largura de banda



Closed-Loop Gain	R_2/R_1	$f_{3\text{ dB}} = f_t / (1 + R_2/R_1)$
+1000	999	1 kHz
+100	99	10 kHz
+10	9	100 kHz
+1	0	1 MHz
-1	1	0.5 MHz
-10	10	90.9 kHz
-100	100	9.9 kHz
-1000	1000	$\simeq 1$ kHz



CMRR

- Uma taxa que é única aos amp-ops é a **CMRR** ou **razão de rejeição de modo comum**.
- Pelo fato de o amp-op ter duas entradas que são opostas na fase (entrada inversora e entrada não inversora) qualquer sinal que seja comum a ambas as entradas será cancelado.
- A CMRR do amp-op é uma medida da capacidade de cancelar sinais de modo comum.

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

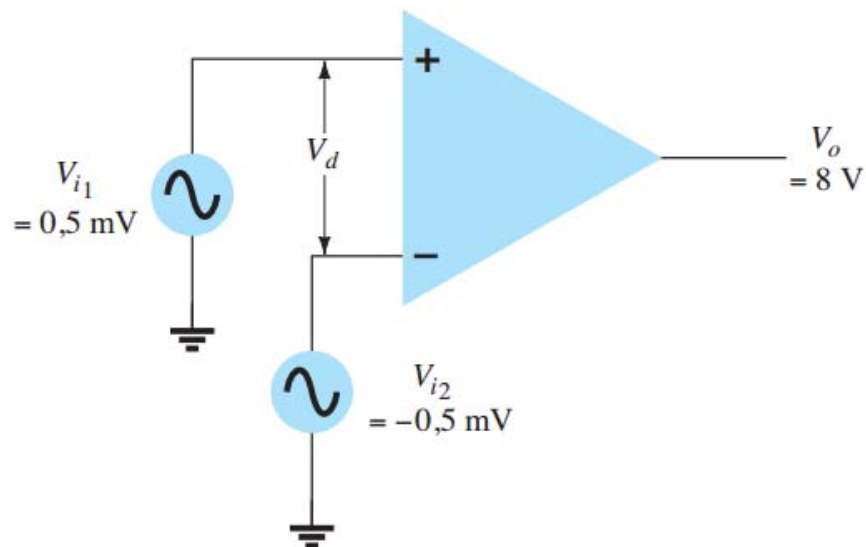
CMRR

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

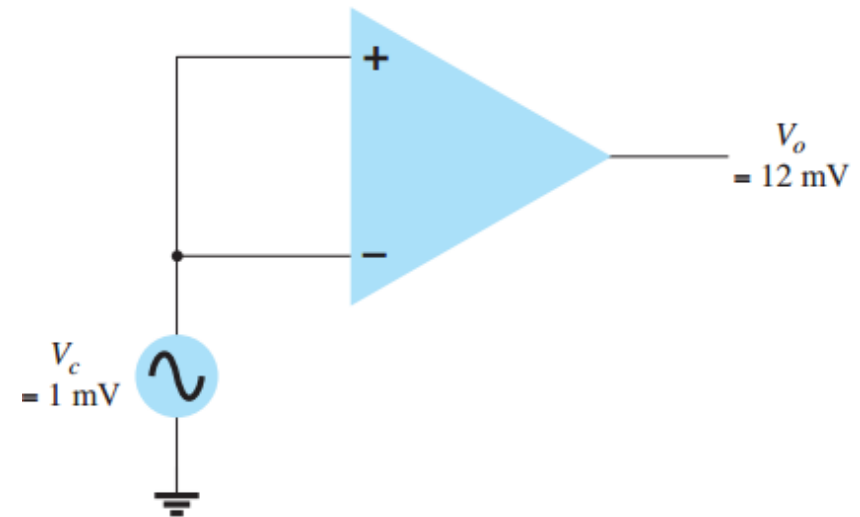
A_d : Ganho diferencial

A_{cm} : Ganho de modo comum

Modo diferencial



Modo comum

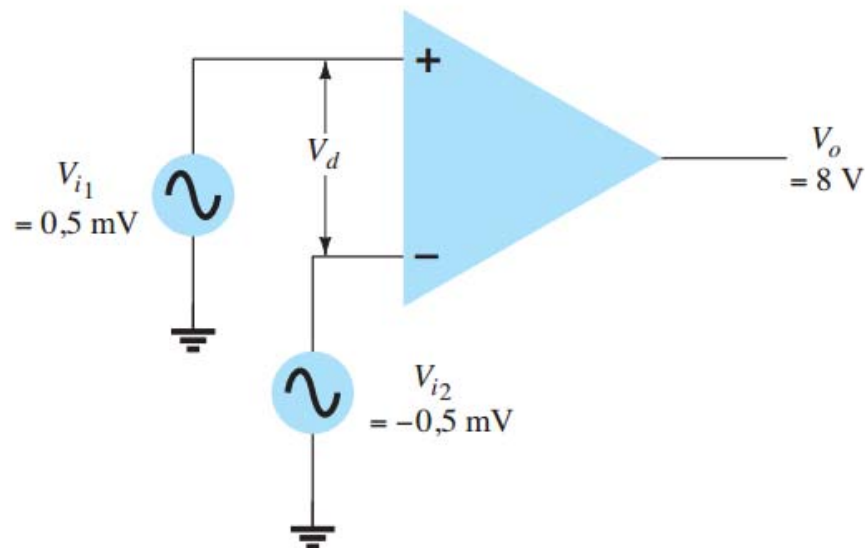


CMRR

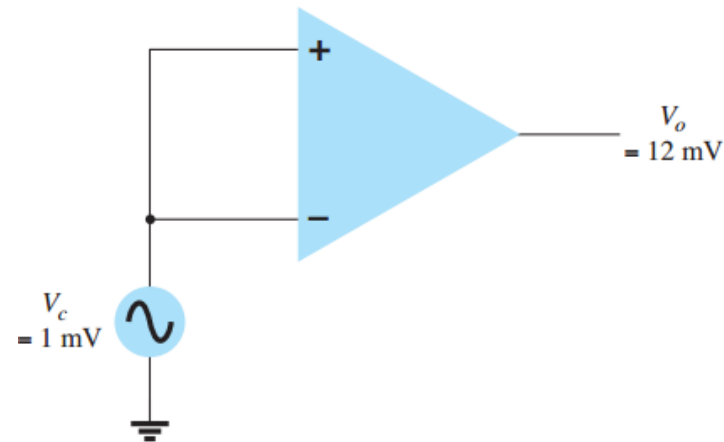
$$\text{CMRR} = 20 \log \frac{|A_d|}{|A_{cm}|}$$

A_d : Ganho diferencial

A_{cm} : Ganho de modo comum



$$A_d = \frac{V_o}{V_d} = \frac{8 \text{ V}}{1 \text{ mV}} = 8000$$



$$A_c = \frac{V_o}{V_c} = \frac{12 \text{ mV}}{1 \text{ mV}} = 12$$

$$\begin{aligned} \text{CMRR} &= 20 \log_{10} \frac{A_d}{A_c} \\ &= 20 \log_{10} 666,7 = \mathbf{56,48 \text{ dB}} \end{aligned}$$

Especificações

Ex.: LM741

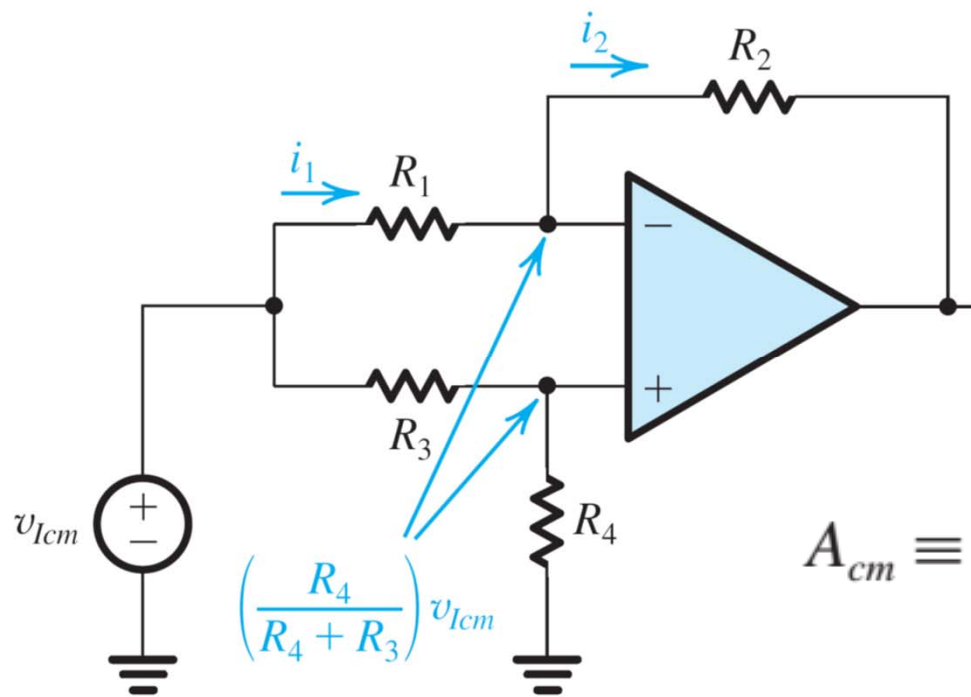
Características	Mínima	Típica	Máxima	Unidade
V_{IO} Tensão de offset de entrada		1	6	mV
I_{IO} Corrente de offset de entrada		20	200	nA
I_{IB} Corrente de polarização de entrada		80	500	nA
V_{ICR} Faixa de tensão de entrada de modo-comum	± 12	± 13		V
V_{OM} Oscilação máxima de pico da tensão de saída	± 12	± 14		V
A_{VD} Amplificação de tensão diferencial para grandes sinais	20	200		V/mV
r_i Resistência de entrada	0,3	2		M Ω
r_o Resistência de saída		75		Ω
C_i Capacitância de entrada		1,4		pF
CMRR Razão de rejeição de modo-comum	70	90		dB
I_{CC} Corrente de alimentação		1,7	2,8	mA
P_D Dissipação total de potência		50	85	mW

CMRR

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

A_d : Ganho diferencial

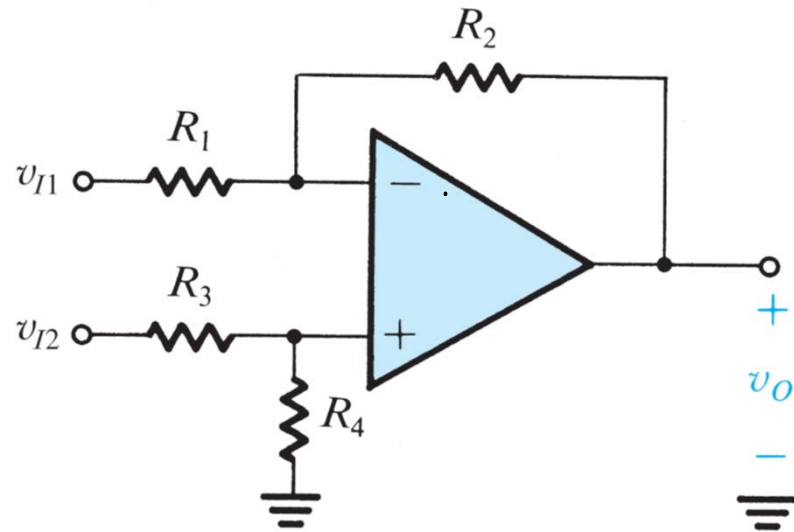
A_{cm} : Ganho de modo comum



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

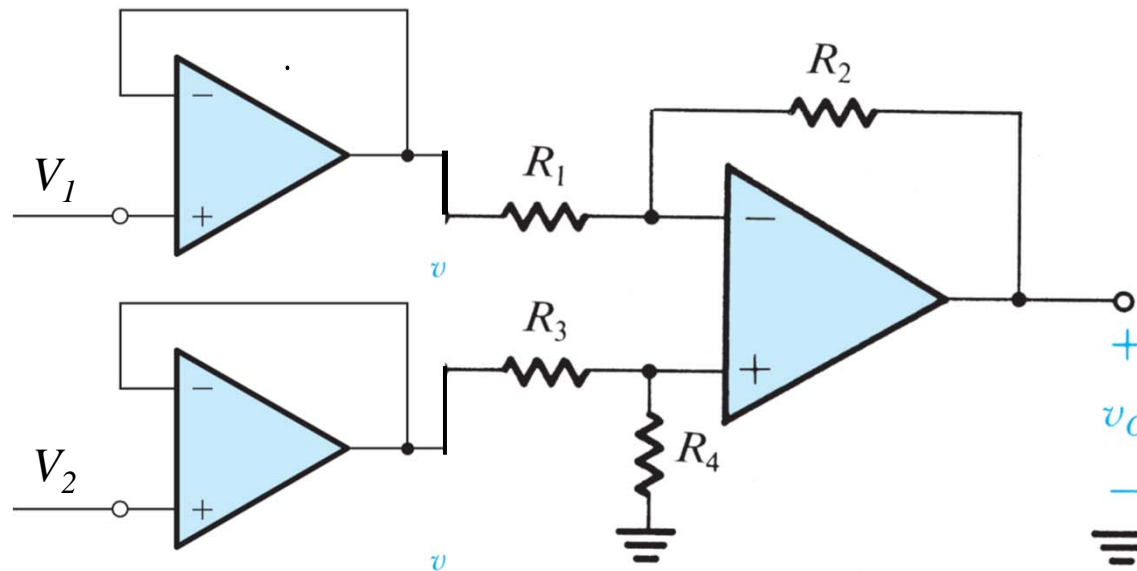
$$A_{cm} \equiv \frac{v_O}{v_{Icm}} = \left(\frac{R_4}{R_4 + R_3}\right) \left(1 - \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4}\right)$$

Amplificador de diferencial



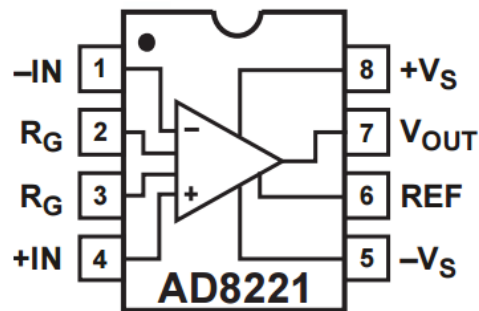
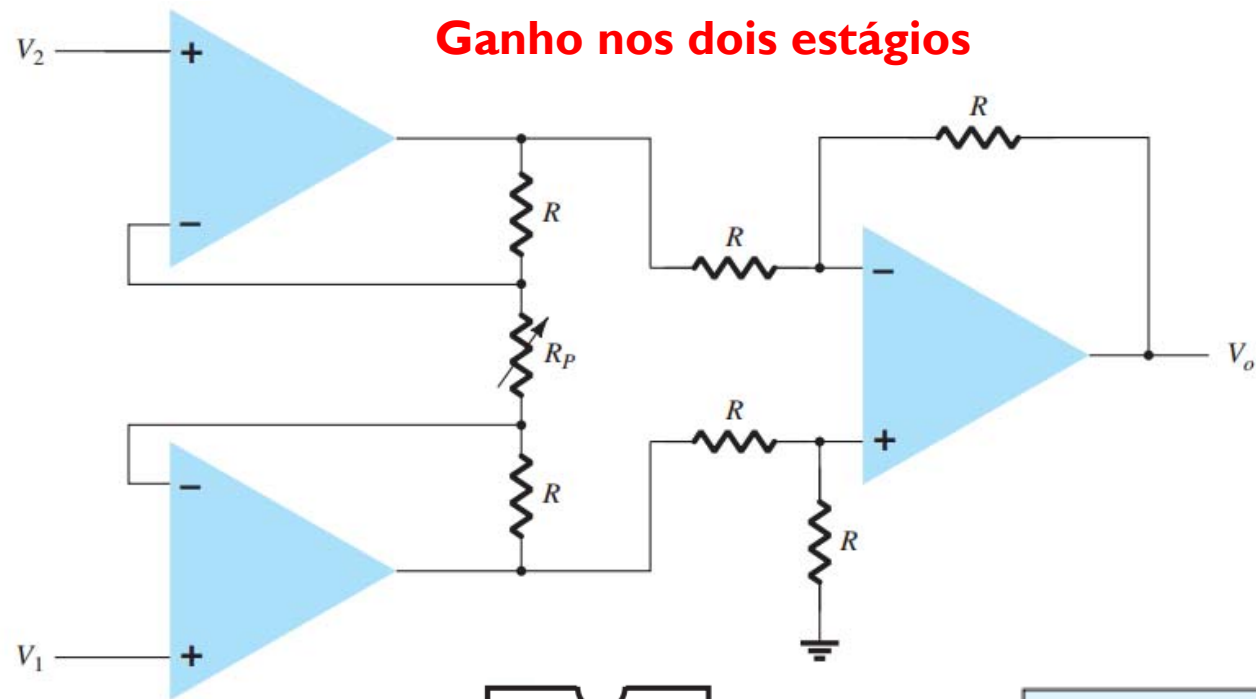
$$V_o = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \frac{R_2 + R_4}{R_2} V_1 - \frac{R_4}{R_2} V_2$$

Amplificador de instrumentação



$$V_o = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \frac{R_2 + R_4}{R_2} V_1 - \frac{R_4}{R_2} V_2$$

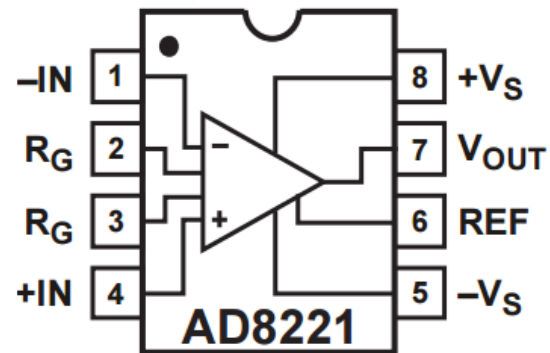
Amplificador de instrumentação



$$V_o = \left(1 + \frac{2R}{R_P}\right)(V_1 - V_2)$$
$$= k(V_1 - V_2)$$

Amplificador de instrumentação

Circuito integrado com Amplificador de instrumentação: **AD8221**



$$G = 1 + \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_G}$$

Circuito equivalente

