

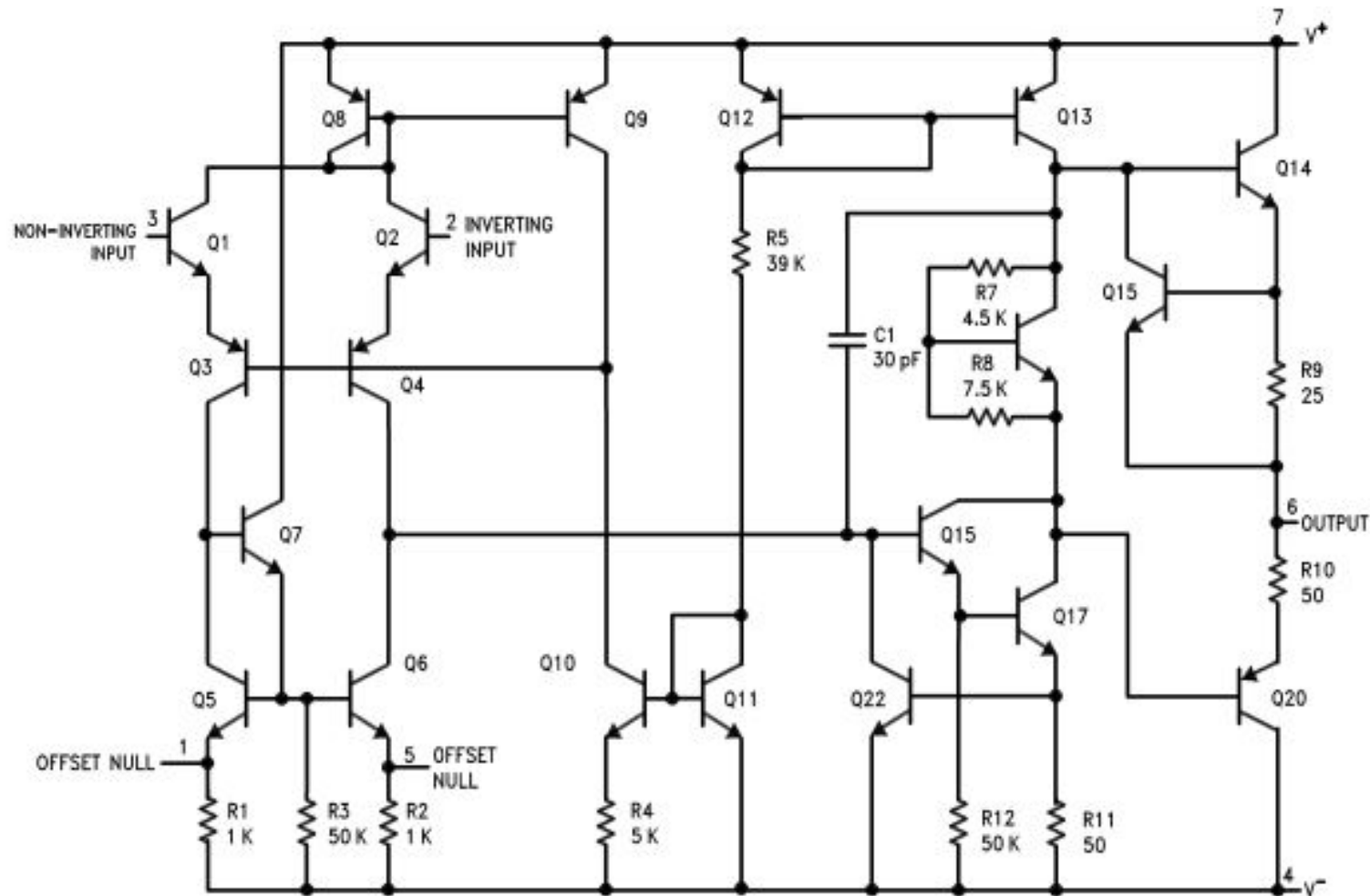


# Amplificadores operacionais - AmpOp

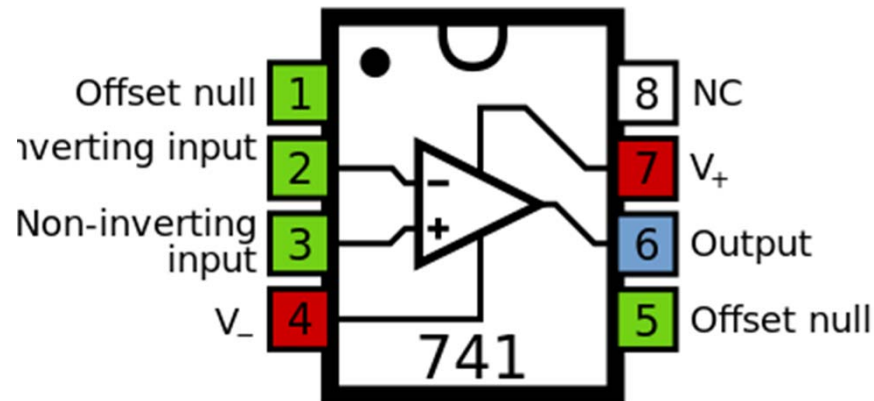
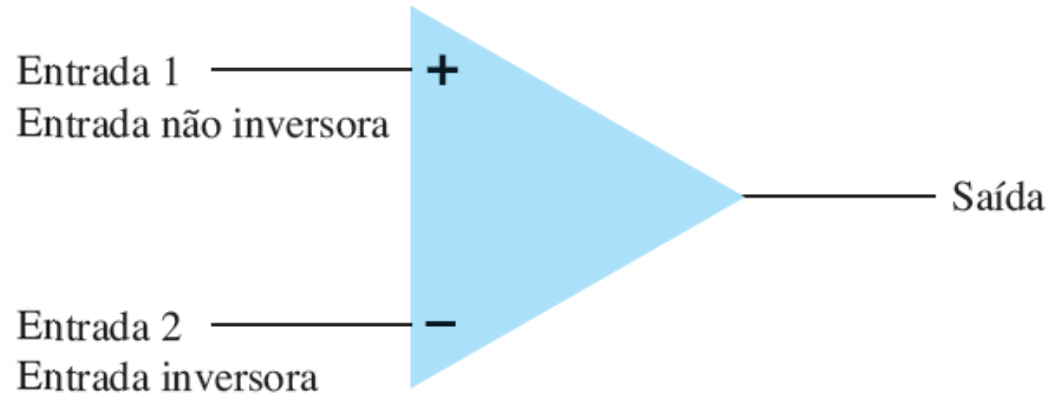
Prof. Alceu André Badin

# Introdução

Circuito esquemático de um AmpOp – modelo LM741

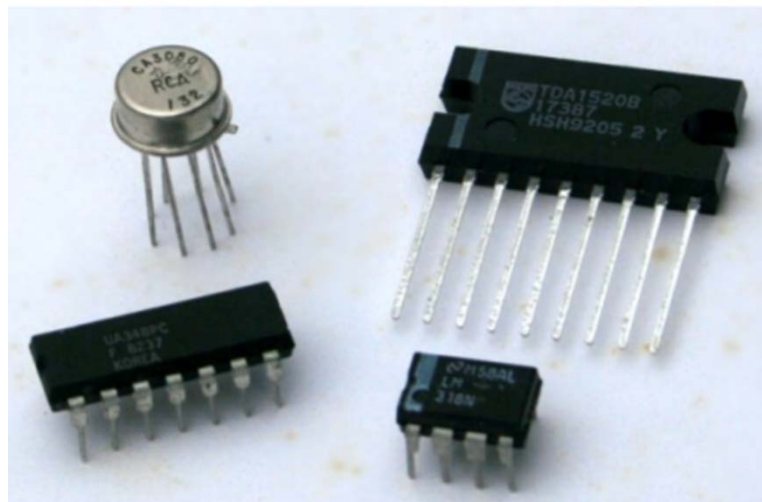
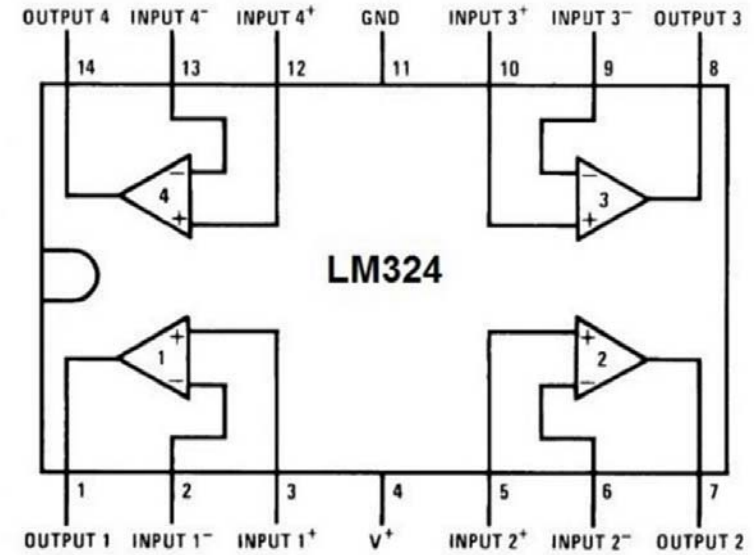
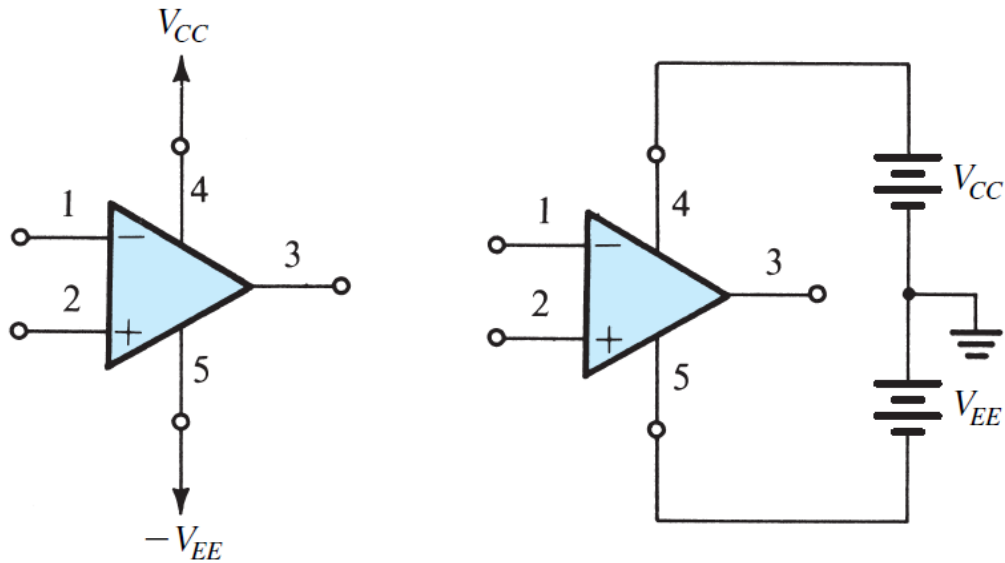


# OpAmp características

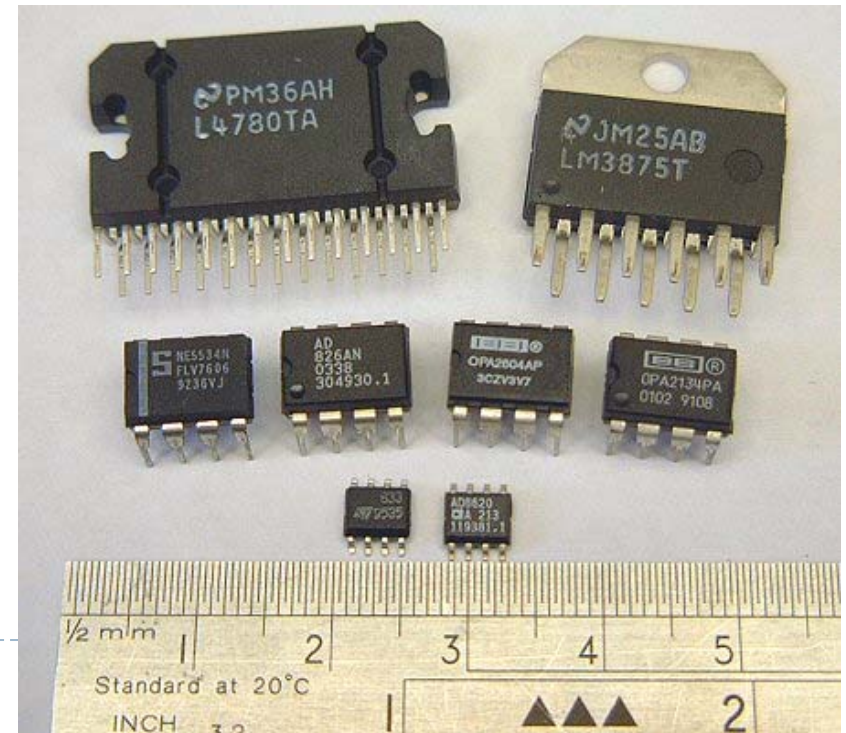


- tem duas entradas e uma saída.
- Alimentação simétrica (positiva e negativa) - alguns componentes aceitam alimentação assimétrica.

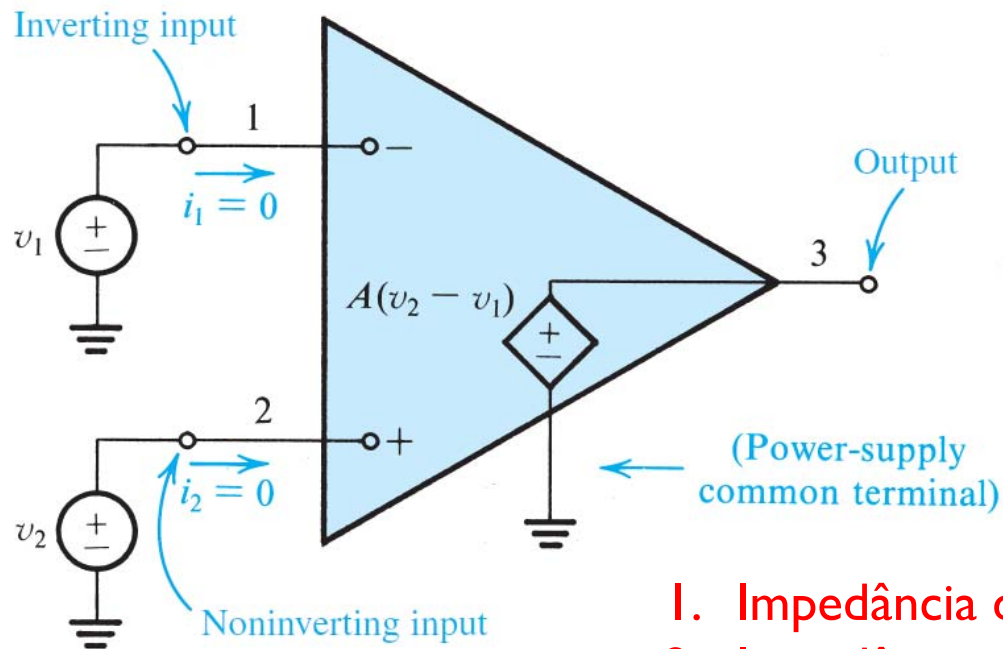
# OpAmp características



VDAELT



# Amp-op ideal



1. Impedância de entrada infinita
2. Impedância de saída nula
3. Ganho zero de modo comum ou, rejeição infinita de modo comum
4. Ganho infinito de malha aberta  $A$
5. Largura de banda infinita

# Amp-op real

**Ex: LM741**

## CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS BÁSICAS:

Tensão de alimentação (polarização):  $V_{+max} = +22\text{ V}$  e  $V_{-min} = -22\text{ V}$

Máxima corrente de saída:  $I_{osat} = 25\text{ mA}$

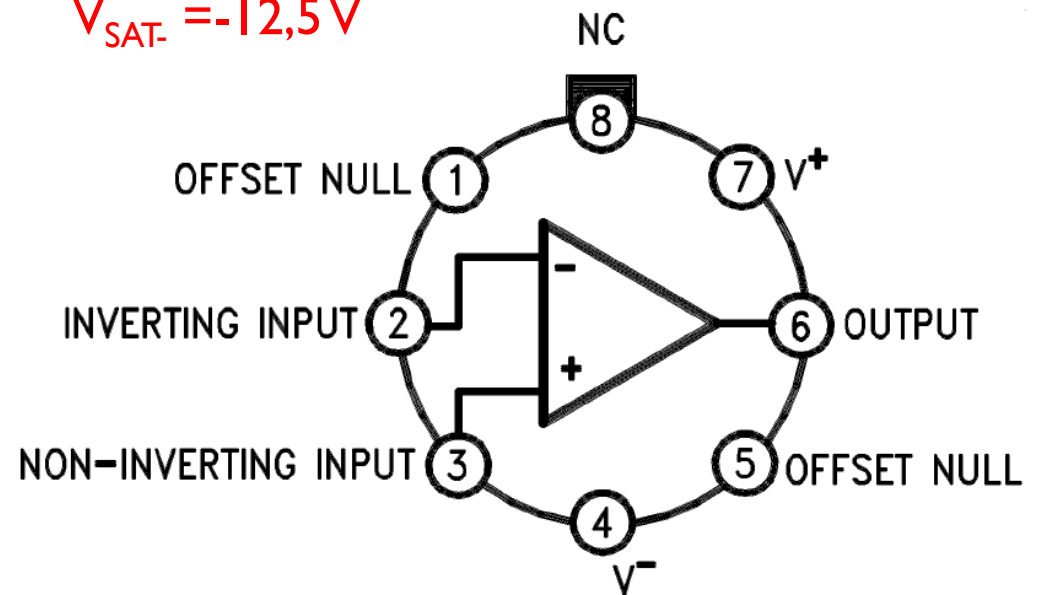
Tensão de saída:  $-15\text{ V} < V_o < +15\text{ V}$

Corrente de alimentação (sem carga):  $I_e$  e  $I_s = 1,7\text{ mA}$

Tensão de saturação:  $V_{sat+} = +13,5\text{ V}$       $V_{SAT-} = -12,5\text{ V}$

Mínima resistência de carga:  $2\text{ k}\Omega$

A típico: 200.000



- Sempre consultar folha de dados

# Ganho amp-op

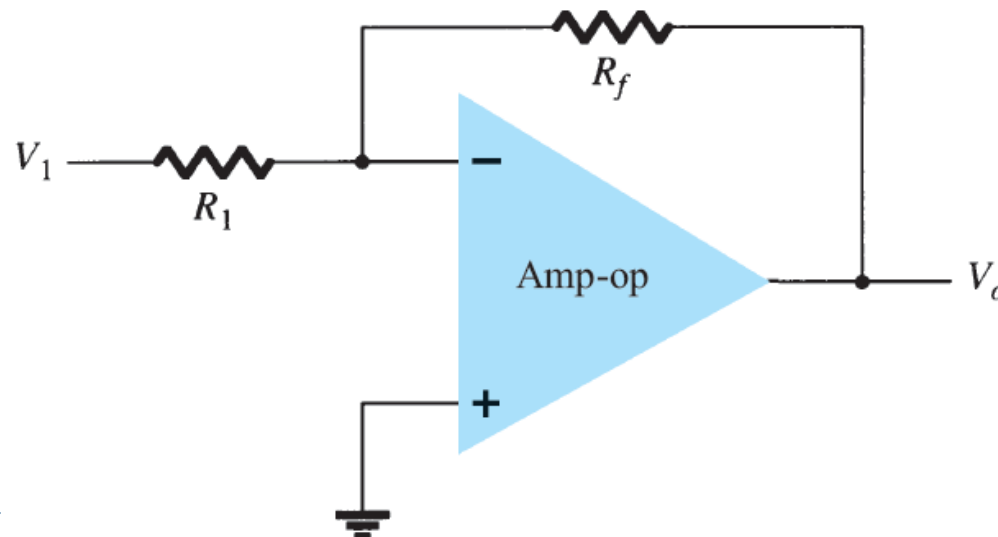
---

- Amp-ops podem ser conectados em configurações de malha aberta ou de malha fechada.
- **Malha aberta:** uma configuração sem realimentação do retorno da saída do amp-op à sua entrada. O ganho do amp-op de malha aberta geralmente excede 100.000.
- **Malha fechada:** uma configuração que tem um caminho de realimentação negativo do retorno de saída do amp-op à sua entrada.
- **Realimentação negativa** reduz o ganho e melhora muitas características do amp-op.
- O ganho da malha fechada é sempre inferior ao ganho da malha aberta.

# Amp-op inversor

---

- O sinal de entrada é aplicado à **entrada inversora (-)**.
- A **entrada não inversora (+)** está aterrada.
- O **resistor de realimentação** ( $R_f$ ) está conectado da saída à entrada negativa (inversora), fornecendo *realimentação negativa*.





# Ganho do amp-op inversor

O ganho é estabelecido utilizando-se resistores externos:

$R_f$  and  $R_1$

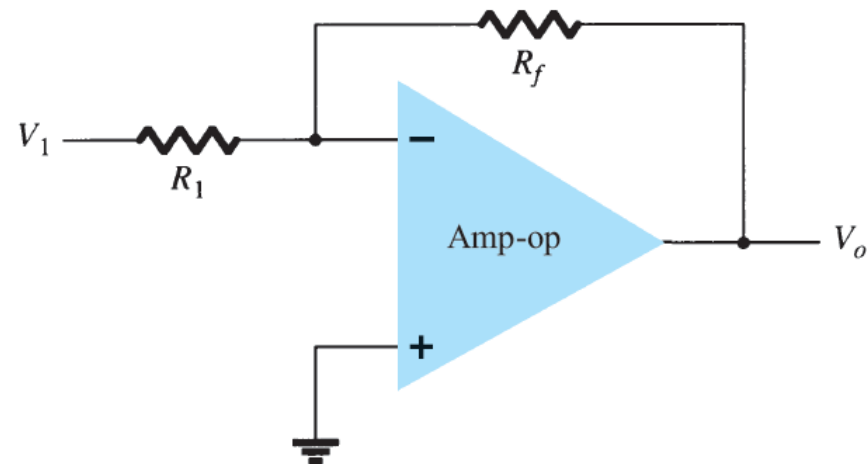
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f}{R_1}$$

O ganho pode ser estabelecido para qualquer valor manipulando-se os valores de  $R_f$  e  $R_1$ .

Ganho da unidade ( $A_v = 1$ ):

$$R_f = R_1$$

$$A_v = \frac{-R_f}{R_1} = -1$$

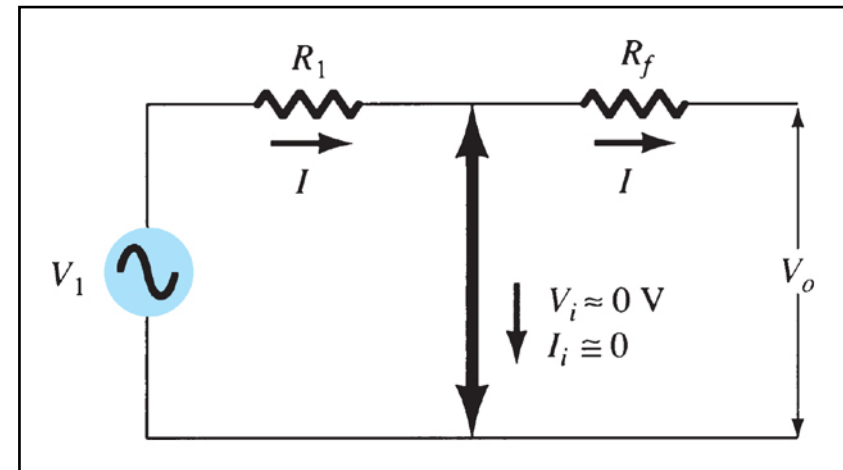
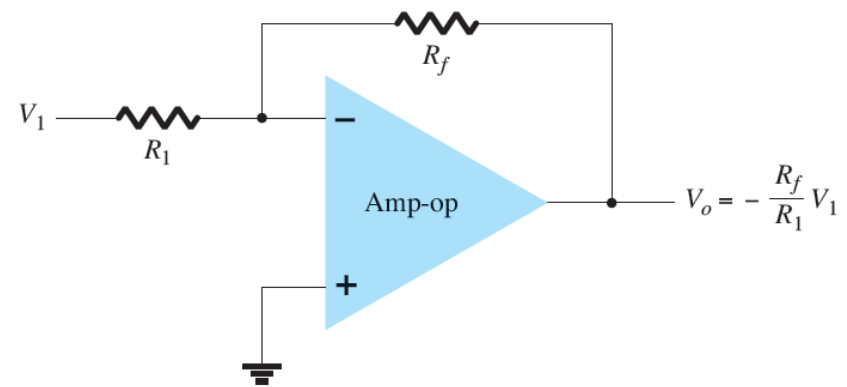


O sinal negativo denota uma fase de deslocamento de  $180^\circ$  entre a entrada e a saída.

# Terra virtual

**Terra virtual:** um termo utilizado para descrever a condição na qual  $V_i \cong 0 \text{ V}$  (na entrada inversora) quando a entrada não inversora está aterrada.

- O amp-op tem uma impedância de entrada tão alta que mesmo com um ganho alto não há corrente de entrada.



# Circuitos com amp-op comuns

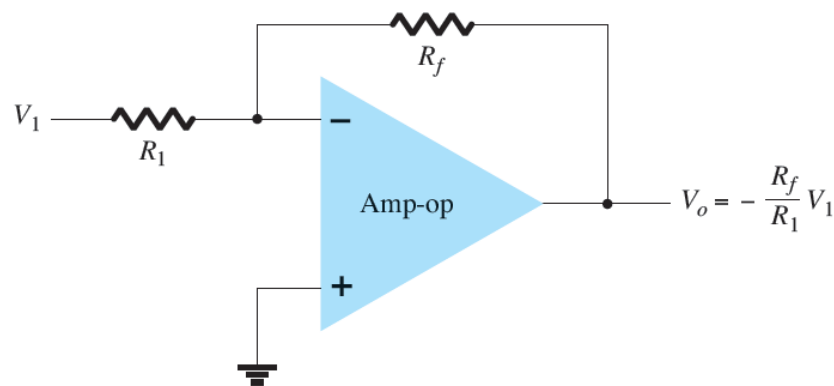
---

- **Amplificador inversor**
- **Amplificador não inversor**
- **Seguidor unitário**
- **Amplificador somador**
- **Integrador**
- **Diferenciador**

# Amplificadores inversor/não inversor

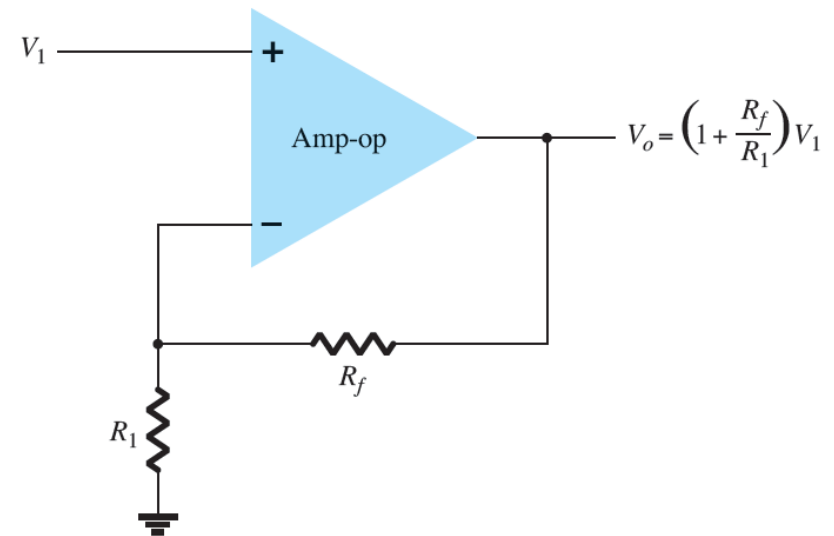
## Amplificador inversor

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_1$$



## Amplificador não inversor

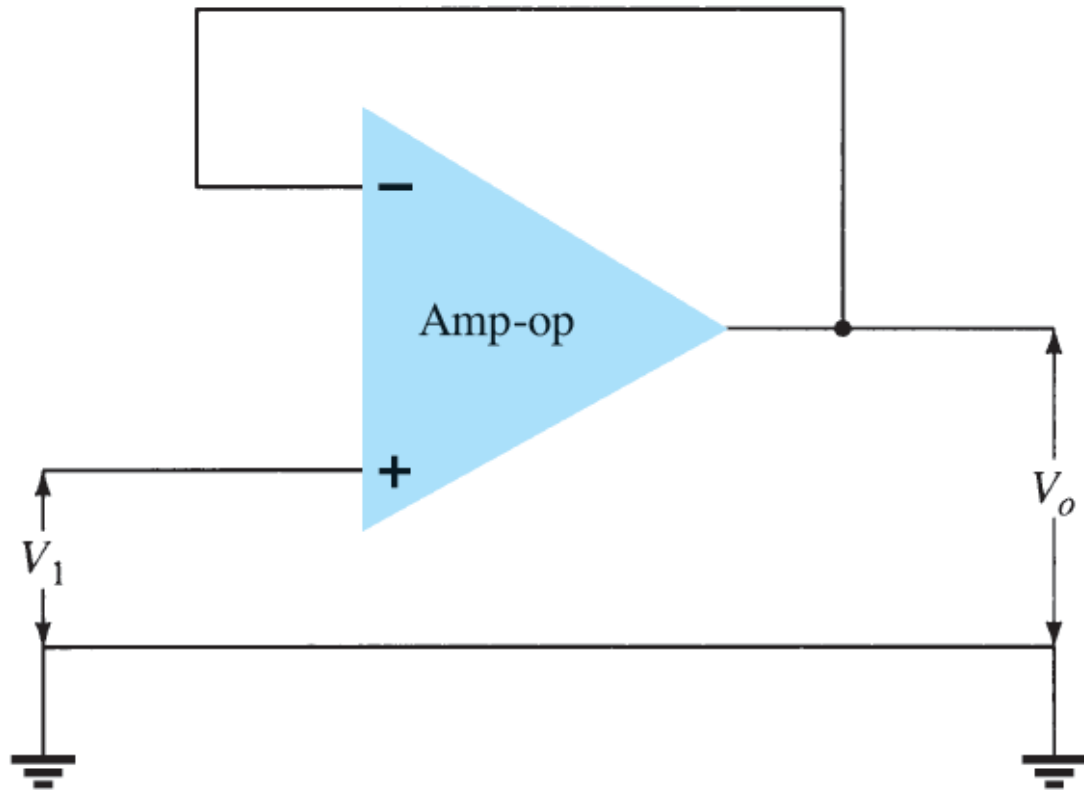
$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_1$$



# Seguidor unitário

---

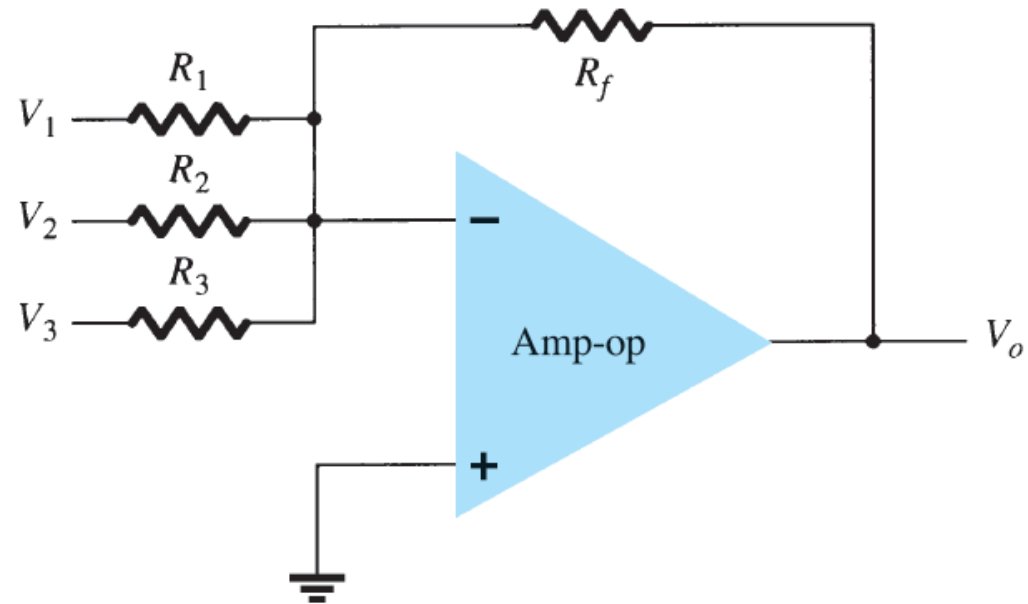
$$V_o = V_1$$



# Amplificador somador

- Pelo fato de o amp-op ter uma alta impedância de entrada, as múltiplas entradas são tratadas como entradas separadas.

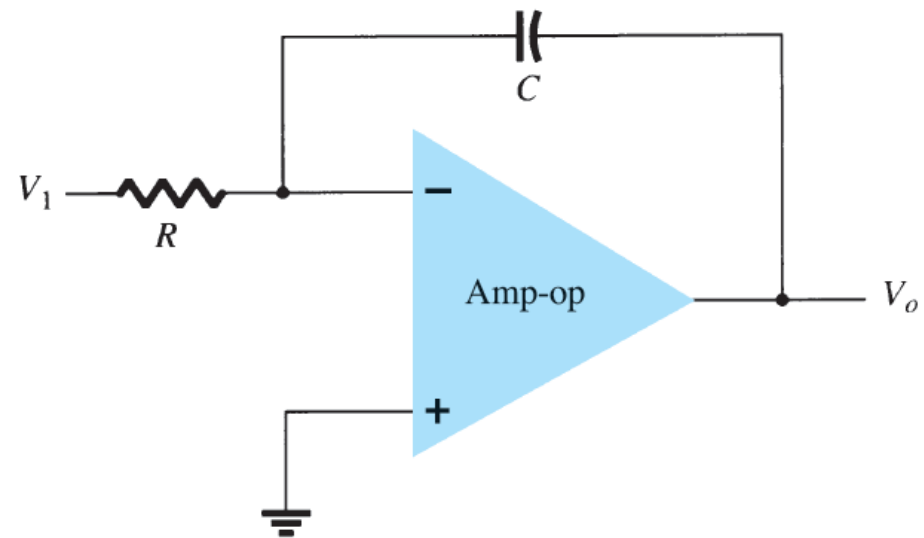
$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3\right)$$



# Integrador

---

- A saída é a integral da entrada, i. e., ela é proporcional à área sob a forma de onda da entrada. Esse circuito é útil nos circuitos de filtro passa-baixas e circuitos condicionados por sensores.

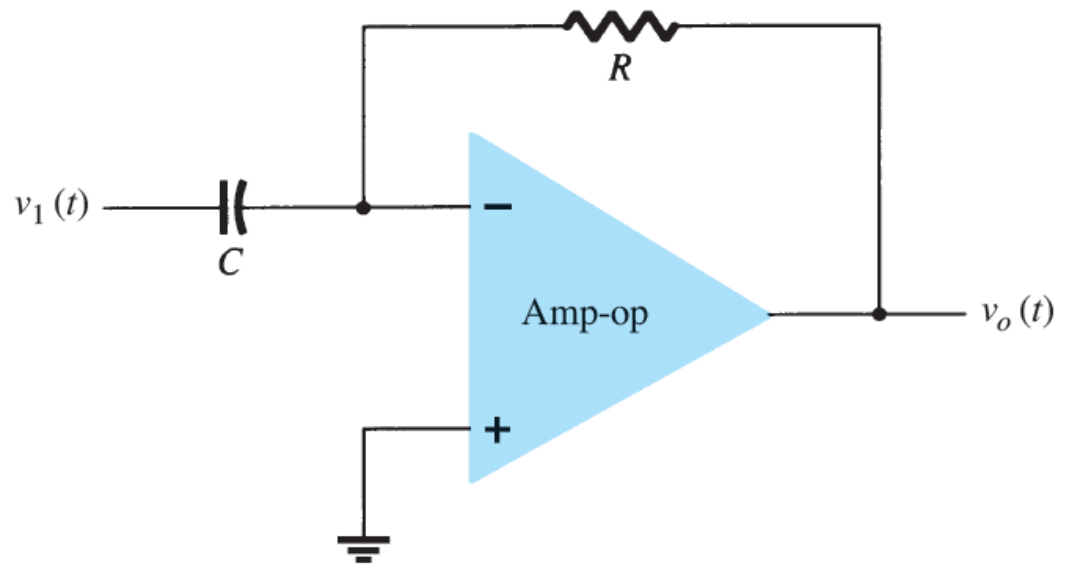


$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int v_1(t) dt$$

# Diferenciador

---

- O diferenciador tira o derivado da entrada. Esse circuito é útil nos circuitos de filtro passa-altas.



$$v_o(t) = -RC \frac{dv_1(t)}{dt}$$



# Parâmetros de offset CC

---

- Mesmo quando a tensão de entrada é zero, um amp-op pode ter um **offset** de saída. Causas do offset:
  - 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

---

## $(V_{IO})$

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

$$V_{o(offset)} = V_{IO} \frac{R_1 + R_f}{R_1}$$

# Parâmetros de frequência

---

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

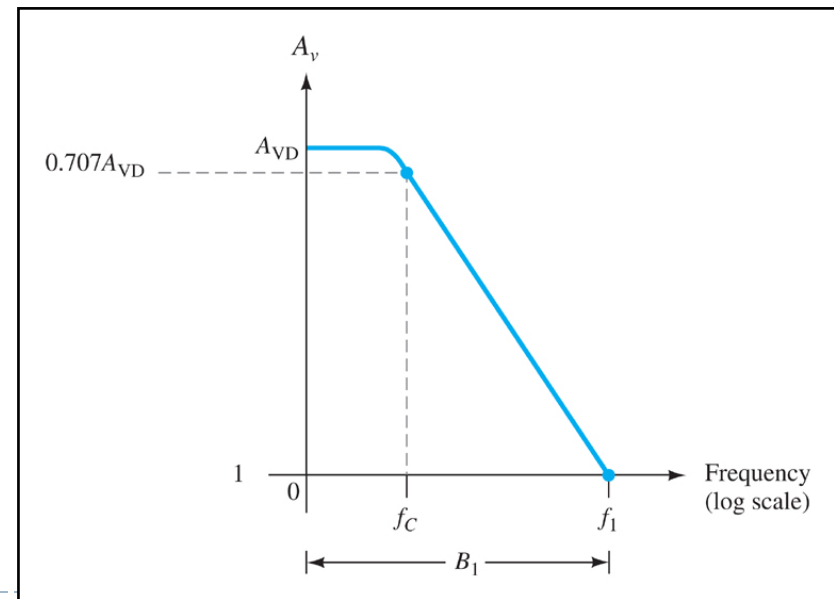
- **Ganho**

- **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.



# Taxa de inclinação (SR)

---

- 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  $V/\mu s$ .

# 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.

# Dados gerais do amp-op

---

- Outras taxas de amp-op encontradas em folhas de dados são:
  - **Especificações absolutas**
  - **Características elétricas**
  - **Desempenho**

# Especificações absolutas

---

- Estas são as especificações típicas para o amp-op:

**Tabela 10.2** Valores máximos absolutos.

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



# Características elétricas

**Tabela 10.3** Características elétricas do  $\mu A741$ :  $V_{CC} = \pm 15 \text{ V}$ ,  $T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

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	$\pm 12$	$\pm 13$		V
$V_{OM}$ Oscilação máxima de pico da tensão de saída	$\pm 12$	$\pm 14$		V
$A_{VD}$ Amplificação de tensão diferencial para grandes sinais	20	200		V/mV
$r_i$ Resistência de entrada	0,3	2		M $\Omega$
$r_o$ Resistência de saída		75		$\Omega$
$C_i$ 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

- Observe: essas taxas são para condições específicas de circuito, e elas frequentemente incluem valores máximos, mínimos e típicos.

# 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.