



PADO
Labs



Circuitos Eletrônicos

Aula 9 - Amplificadores operacionais

Prof. Leonardo Felipe Takao Hirata
leonardo.hirata@hausenn.com.br
<https://github.com/leofthirata>



PADO

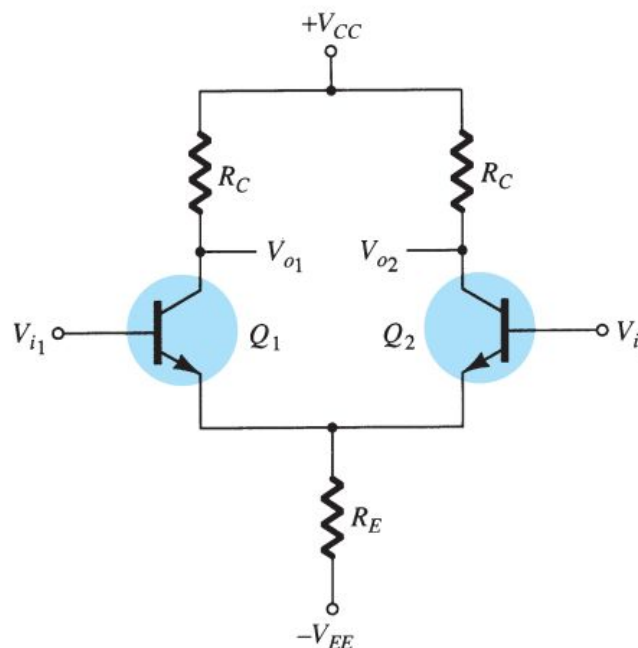
Labs

Amplificador
Operacional

Amplificador Operacional (amp-op)



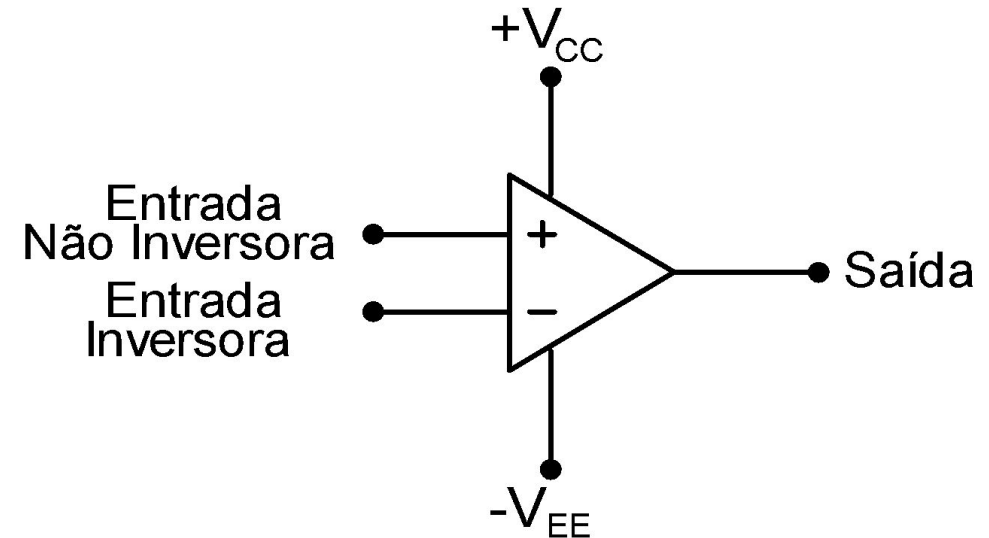
- Usado para amplificação de sinais de baixa amplitude, osciladores, filtros, inversores, e diversos outros circuitos;
- Sua estrutura é composta por uma junção de resistores, capacitores e transistores como a de um amplificador diferencial (figura ao lado).



Características



- Ganho muito alto;
- Impedância de entrada muito alta ($M\Omega$) → correntes de entrada quase nulas;
- Baixa impedância de saída ($< 100 \Omega$);
- A saída é dada por $V_{out} = (V_+ - V_-) * A$, onde V_+ é a tensão na entrada não inversora e V_- é a tensão na entrada inversora.



Exemplo 1

Determine a tensão de saída para os seguintes casos:

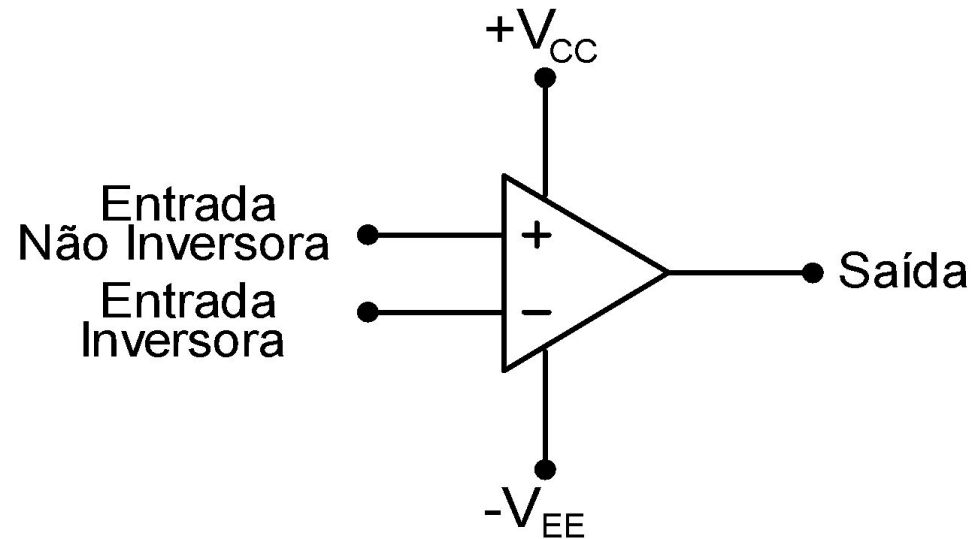
- a) $V_+ = 2.075 \text{ mV}$, $V_- = 2.408 \text{ mV}$;
- b) $V_+ = 1 \text{ V}$, $V_- = 0.987 \text{ V}$;
- c) $V_+ = 4.051 \text{ V}$, $V_- = 4.050 \text{ V}$.

Dados:

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$V_{EE} = 0$$

$$A = 1000$$



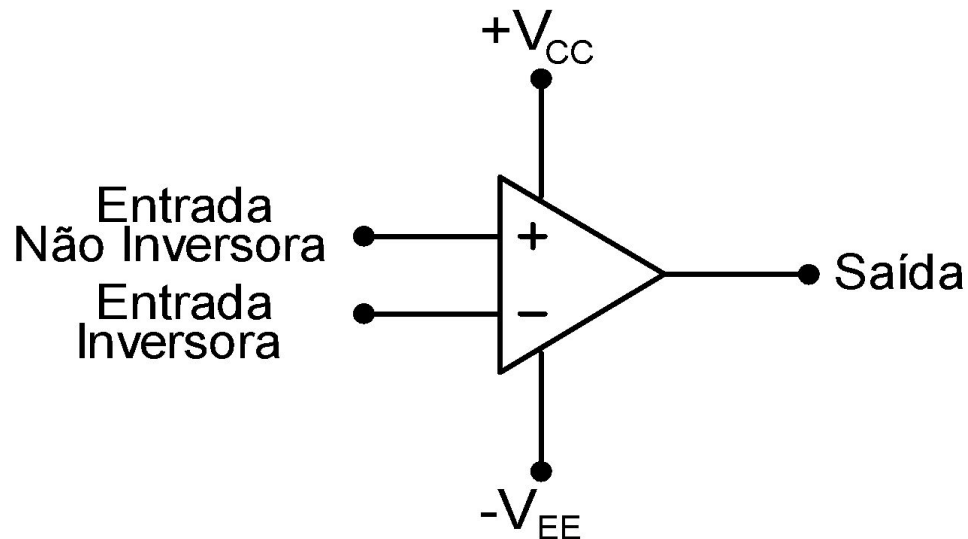
Amp-op ideal x LM741



Característica	Símbolo	Ideal	LM741C
Ganho de tensão em malha aberta	A_{VOL}	Infinito	100.000
Frequência de ganho unitário	$f_{unidade}$	Infinito	1 MHz
Resistência de entrada	R_{in}	Infinito	2 M Ω
Resistência de saída	R_{out}	Zero	75 Ω
Corrente de polarização de entrada	$I_{in(bias)}$	Zero	80 nA
Corrente de offset de entrada	$I_{in(off)}$	Zero	20 nA
Tensão de offset de entrada	$V_{in(off)}$	Zero	2 mV
Razão de rejeição de modo comum	CMRR	Infinito	90 dB

Amp-op como comparador

- Como o ganho do amplificador é muito alto, pode-se dizer que:
 - Se $V_+ > V_-$, $V_{out} = V_{CC}$;
 - Se $V_- < V_+$, $V_{out} = -V_{EE}$.



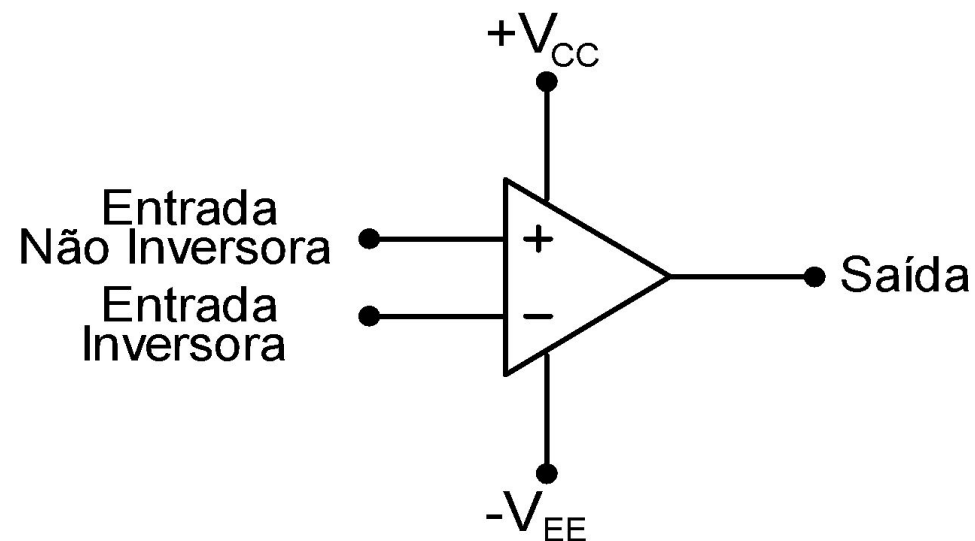
Exemplo 2

Determine a tensão de saída para os seguintes casos:

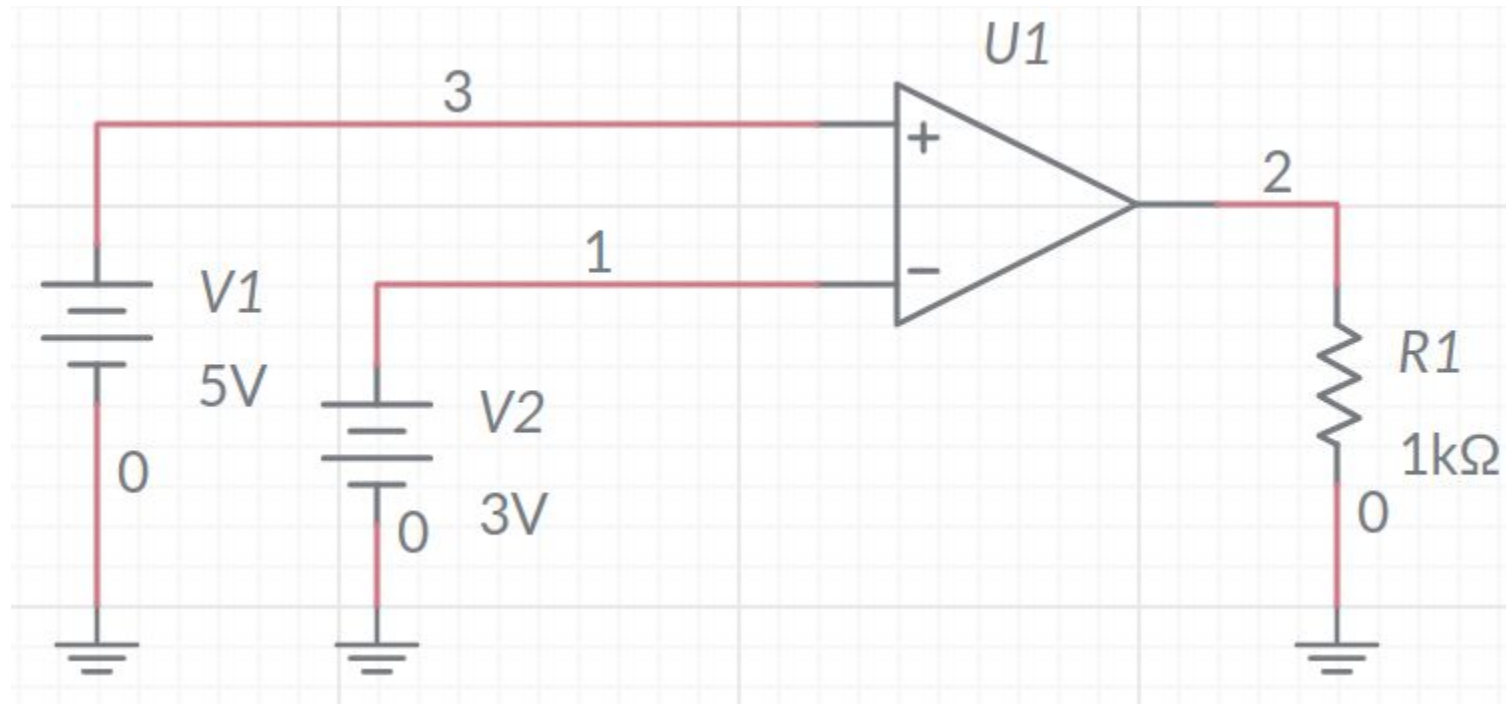
- a) $V_+ = 2 \text{ V}$, $V_- = 1 \text{ V}$;
- b) $V_+ = 1 \text{ V}$, $V_- = 0.9 \text{ V}$;
- c) $V_+ = 4.05 \text{ V}$, $V_- = 4.1 \text{ V}$.

Dados:

$$V_{CC} = 9 \text{ V}$$
$$V_{EE} = -9 \text{ V}$$



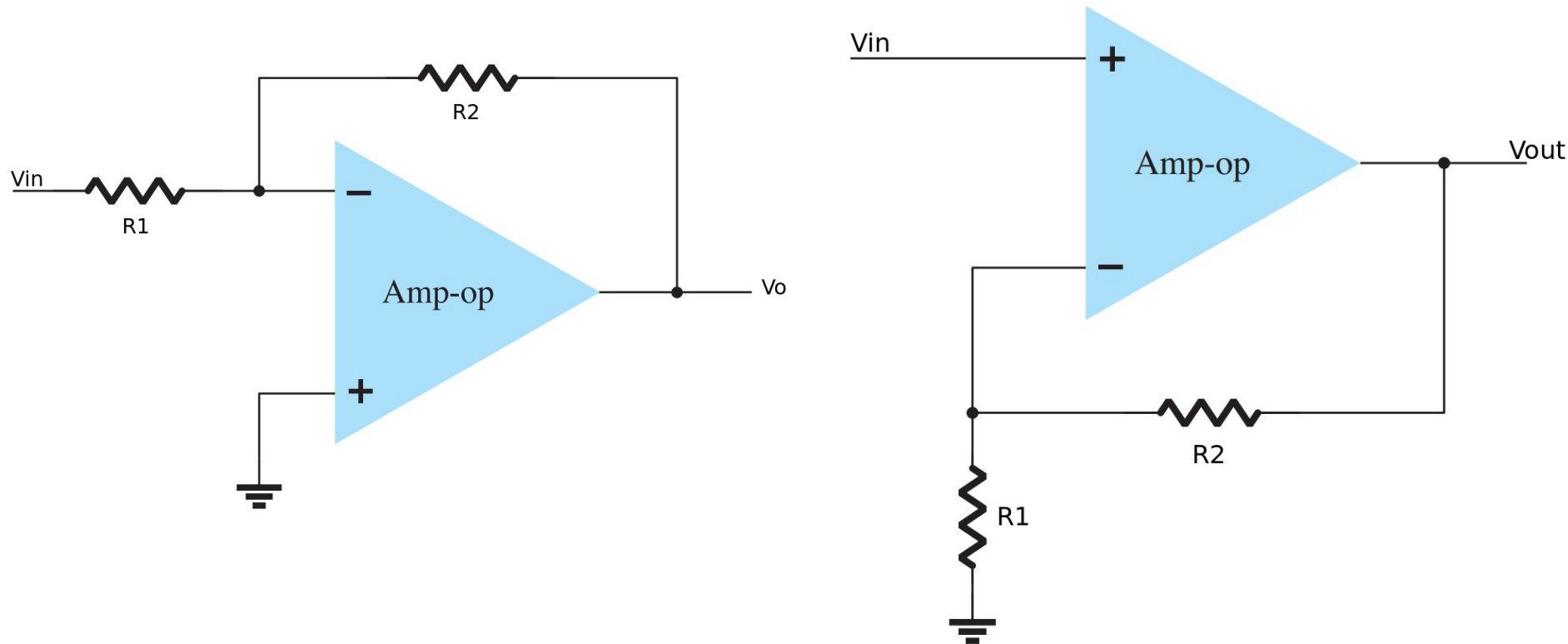
Simulação 1 - Amp-op comparador



Amp-op com realimentação negativa



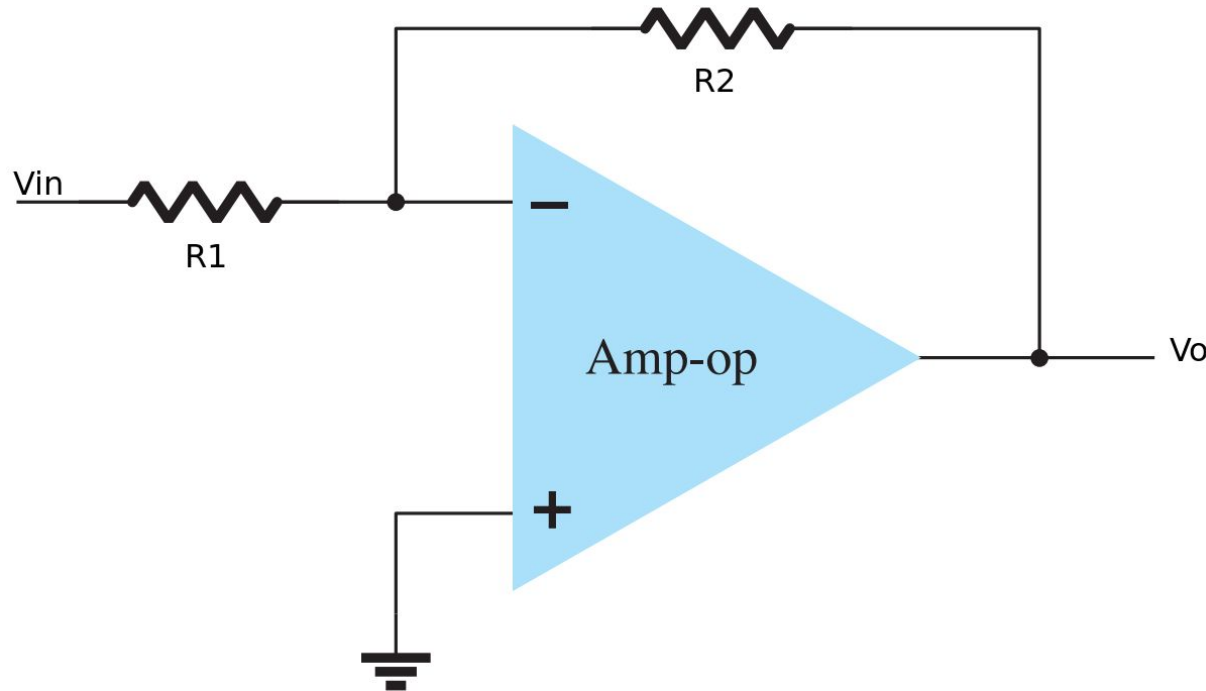
- Usado para amplificação de sinais de baixa amplitude;
- Curto circuito virtual: a tensão de entrada V_+ é igual a tensão de entrada V_- .



Amp-op com realimentação negativa e entrada inversora



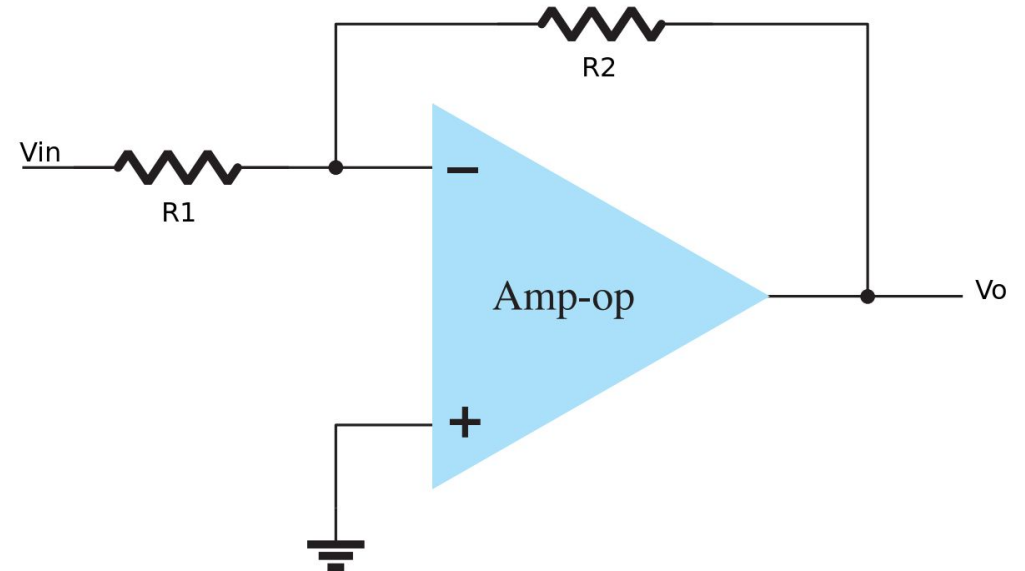
- A saída é dada por $V_{out} = - (R2/R1) * V_{in}$.



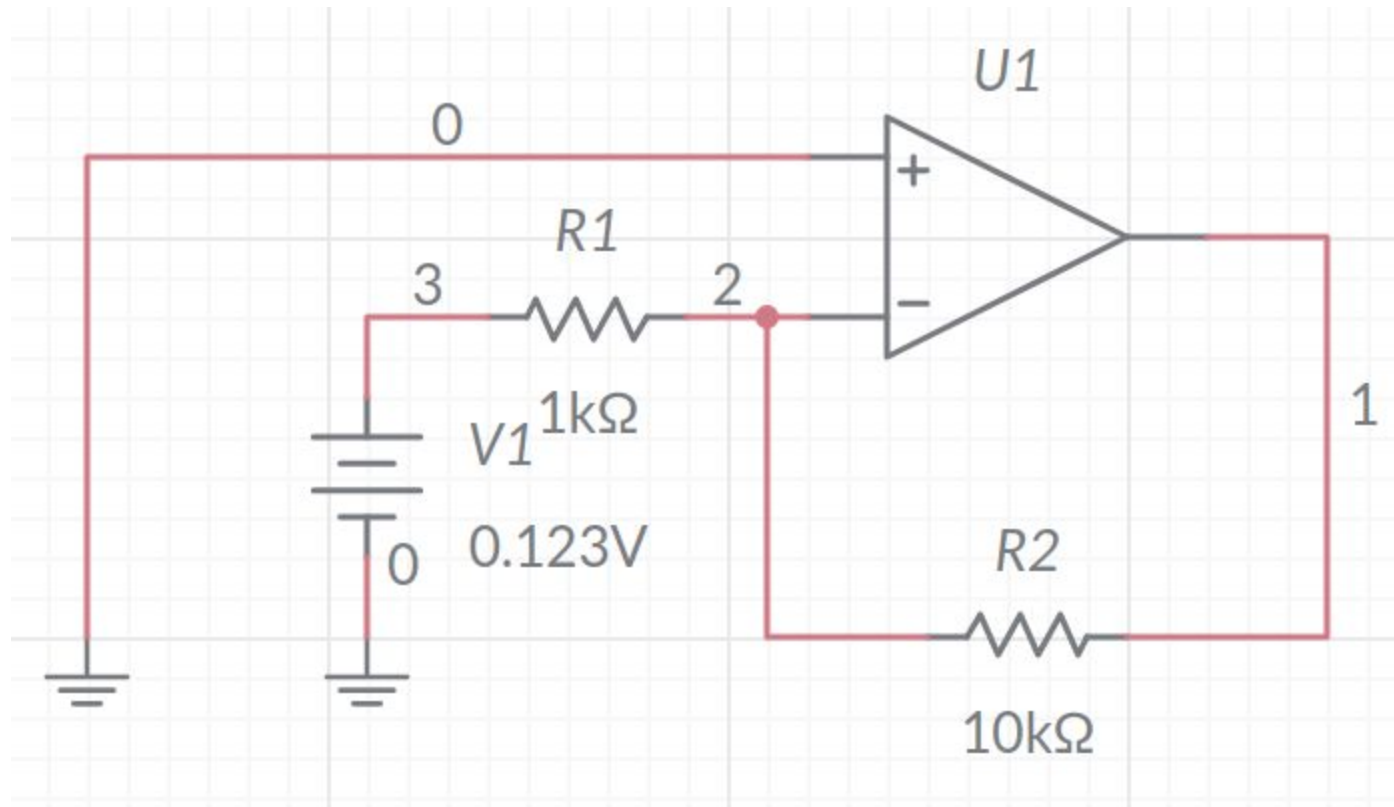
Exemplo 2

Considere $R1 = 5 \text{ k}\Omega$, $R2 = 100 \text{ k}\Omega$ e $V_{in} = 150 \text{ mV}$. Determine:

- a) A tensão na entrada inversora;
- b) A tensão de saída V_o .



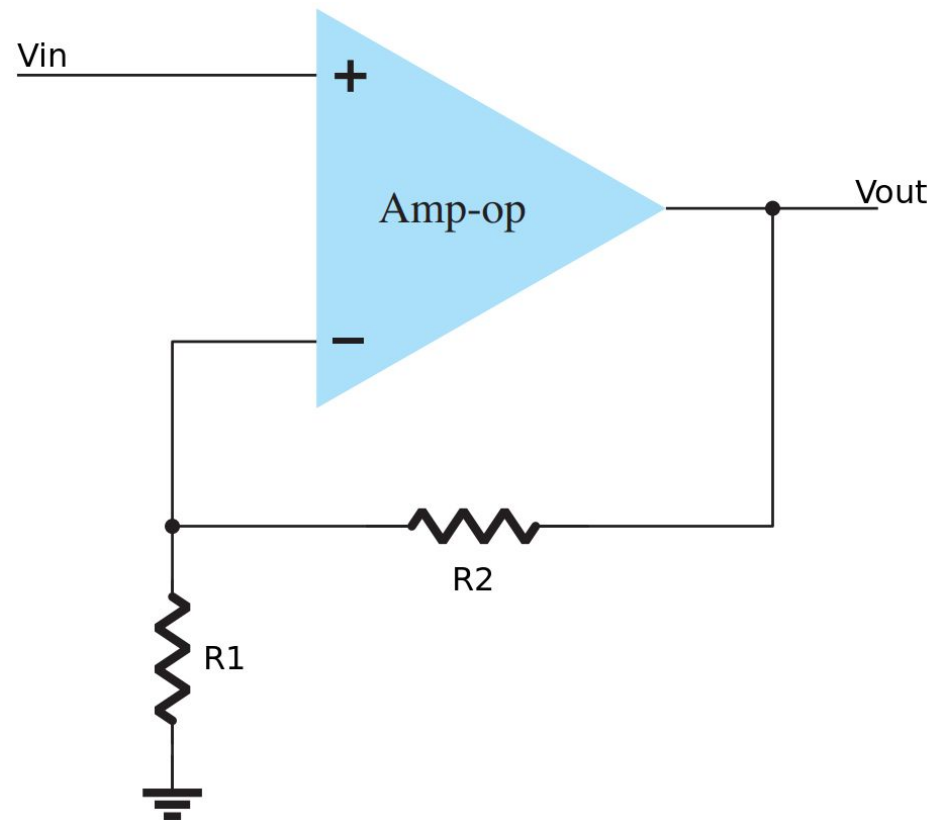
Simulação 2 - Amp-op com realimentação negativa e entrada inversora



Amp-op com realimentação negativa e entrada não inversora



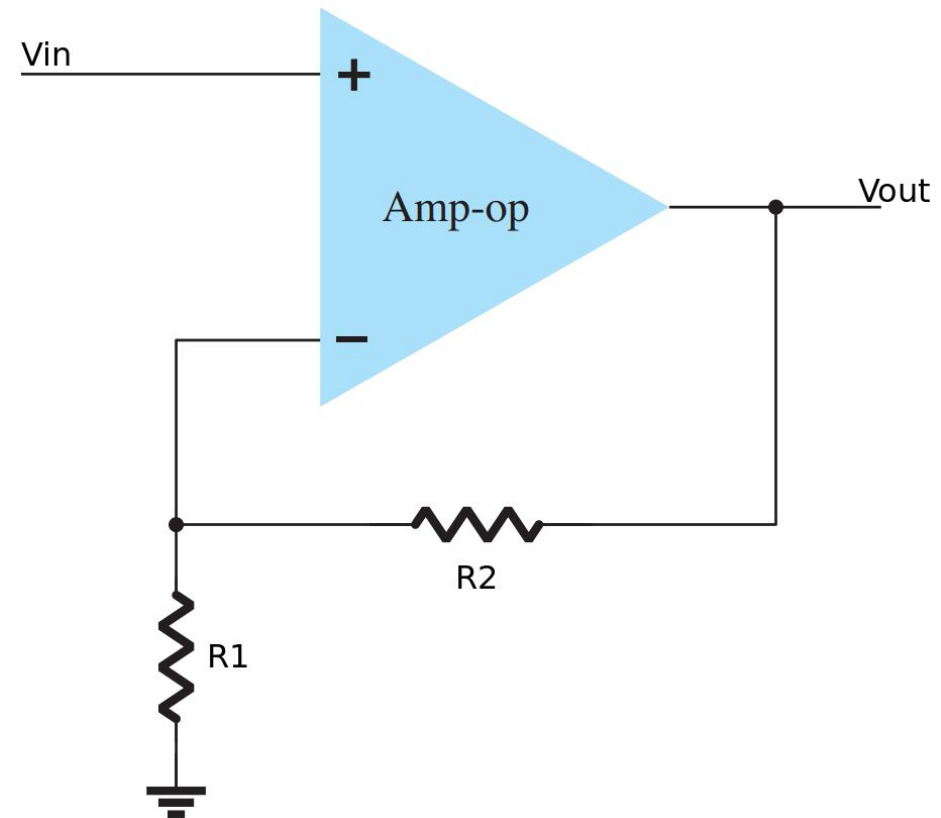
- A saída é dada por $V_{out} = (1 + R2/R1) * V_{in}$.



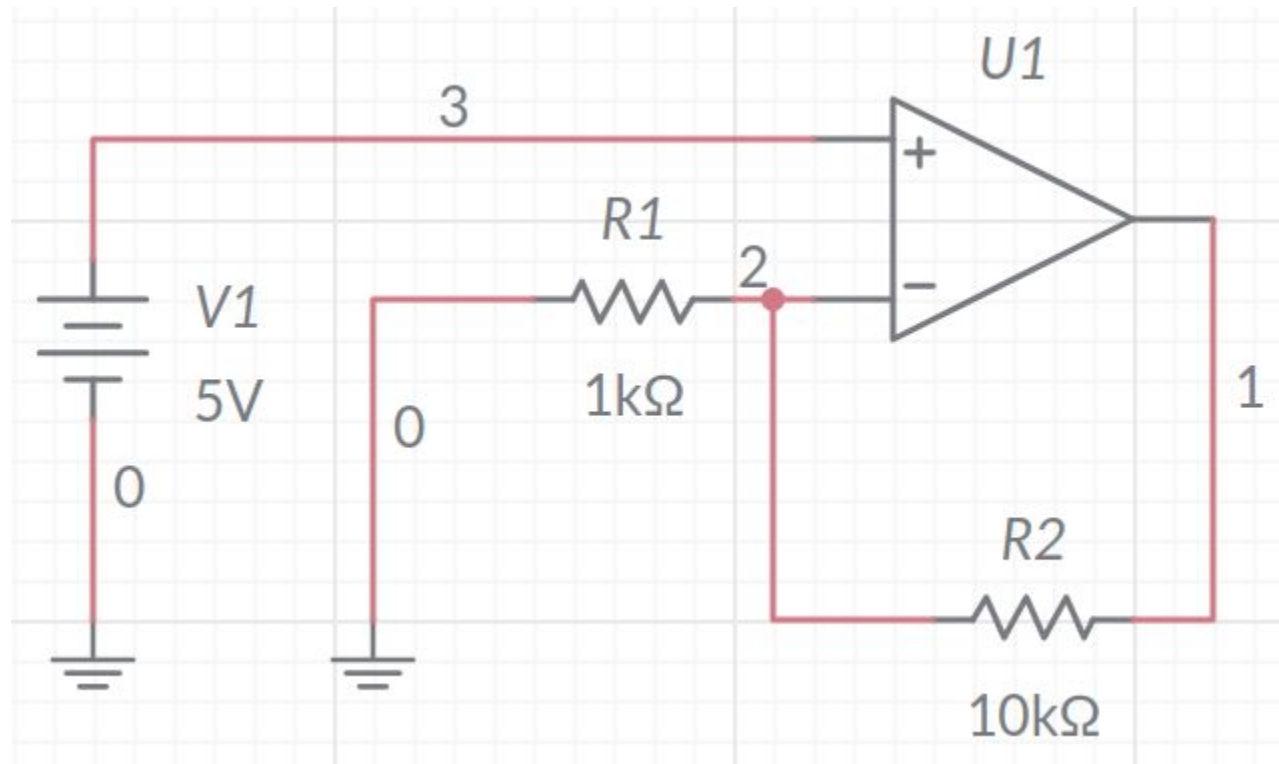
Exemplo 3

Considere $R1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R2 = 50 \text{ k}\Omega$ e $V_{in} = 500 \text{ mV}$. Determine:

- a) A tensão na entrada inversora;
- b) A tensão de saída V_{out} .



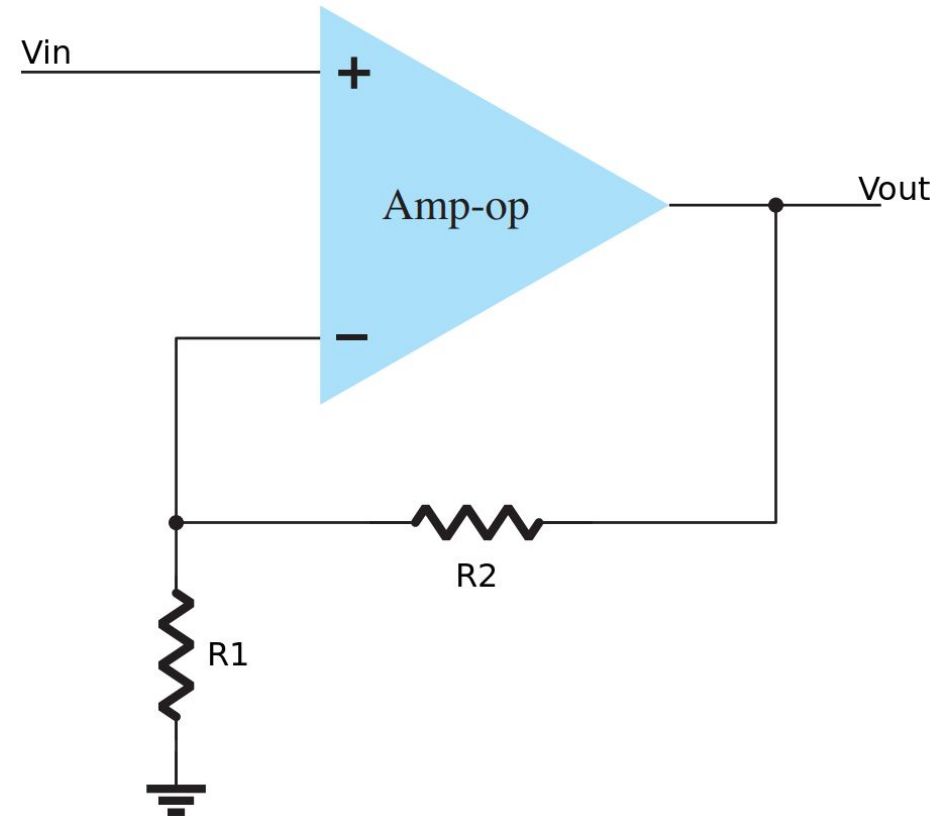
Simulação 3 - Amp-op com realimentação negativa e entrada não inversora



Exemplo 3

Considere $R1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R2 = 50 \text{ k}\Omega$ e $V_{in} = 500 \text{ mV}$. Determine:

- a) A tensão na entrada inversora;
- b) A tensão de saída V_{out} .



Solução



Usando a mesma lógica do exemplo anterior,

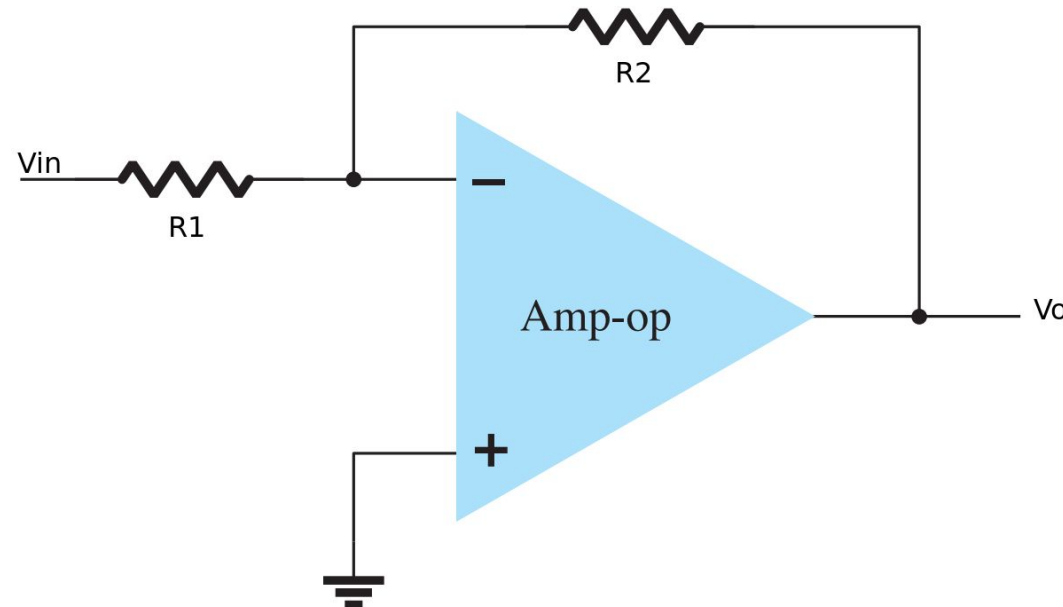
$$I_d = (20 - 2) / 560$$

$$I_d = 32,1428 \text{ mA.}$$

Exemplo 4

Calcule:

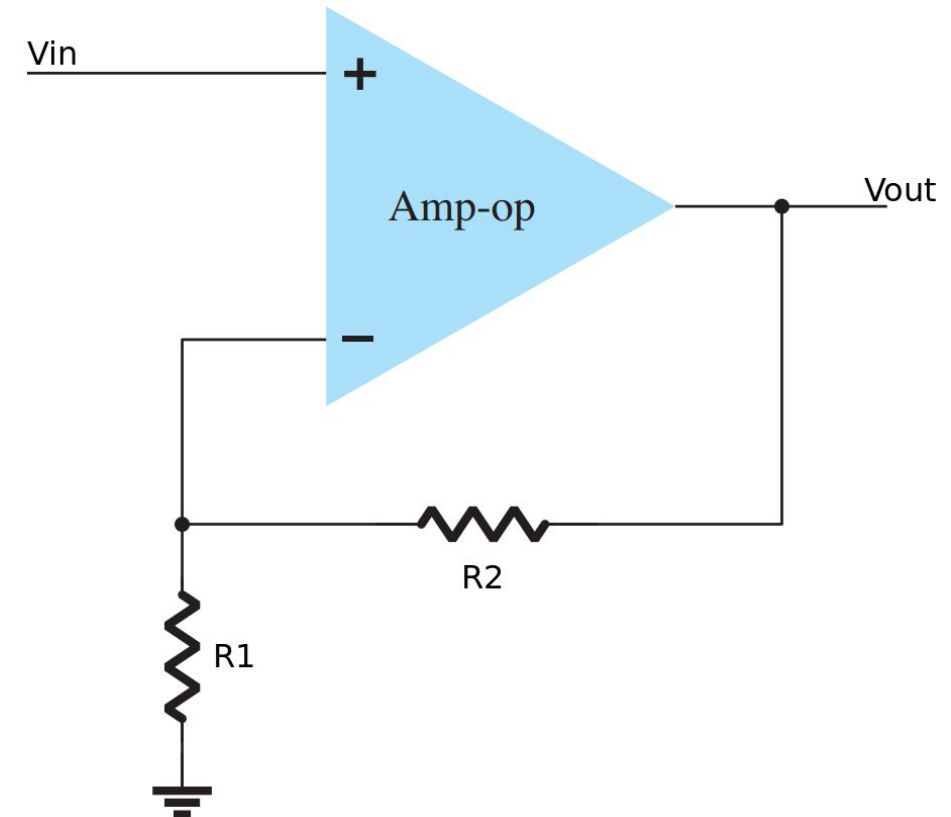
- a) O ganho necessário para que $V_{out} = 5 \text{ V}$ sendo que $V_{in} = 100 \text{ mV}$;
- b) Os valores de $R1$ e $R2$;
- c) Os valores de $R1$ e $R2$ para que a corrente que flui por eles seja de 20 mA .



Exemplo 5

Calcule:

- a) O ganho necessário para que $V_{out} = 5 \text{ V}$ sendo que $V_{in} = 100 \text{ mV}$;
- b) Os valores de $R1$ e $R2$;
- c) Os valores de $R1$ e $R2$ para que a corrente que flui por eles seja de 20 mA .





PADO

Labs

Referências

BOYLESTAD, R. L., NASHELSKY, L., Dispositivos
Eletrônicos, ed. 11, São Paulo, Pearson, 2013, p. 743



PADO
Labs