AMPLIFICADOR OPERACIONAL

AMPOP

Prof. Marcos Fergütz

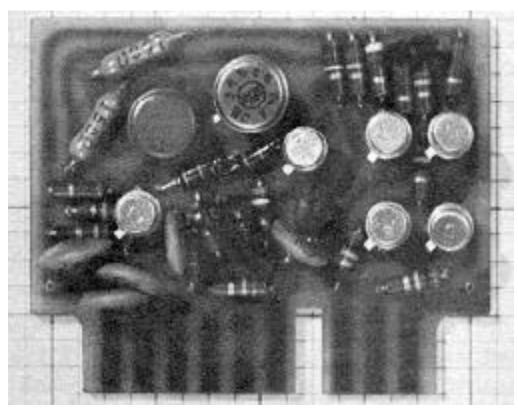
Maio/2018

FONTE: FIGURAS DO GOOGLE.COM.BR

ORIGEM

- CIRCUITO QUE REALIZA OPERAÇÕES MATEMÁTICAS (SOMA, SUBTRAÇÃO, INTEGRAÇÃO, DIFERENCIAÇÃO) COM SINAIS ANALÓGICOS (TENSÃO);
- UTILIZADOS EM COMPUTADORES ANALÓGICOS

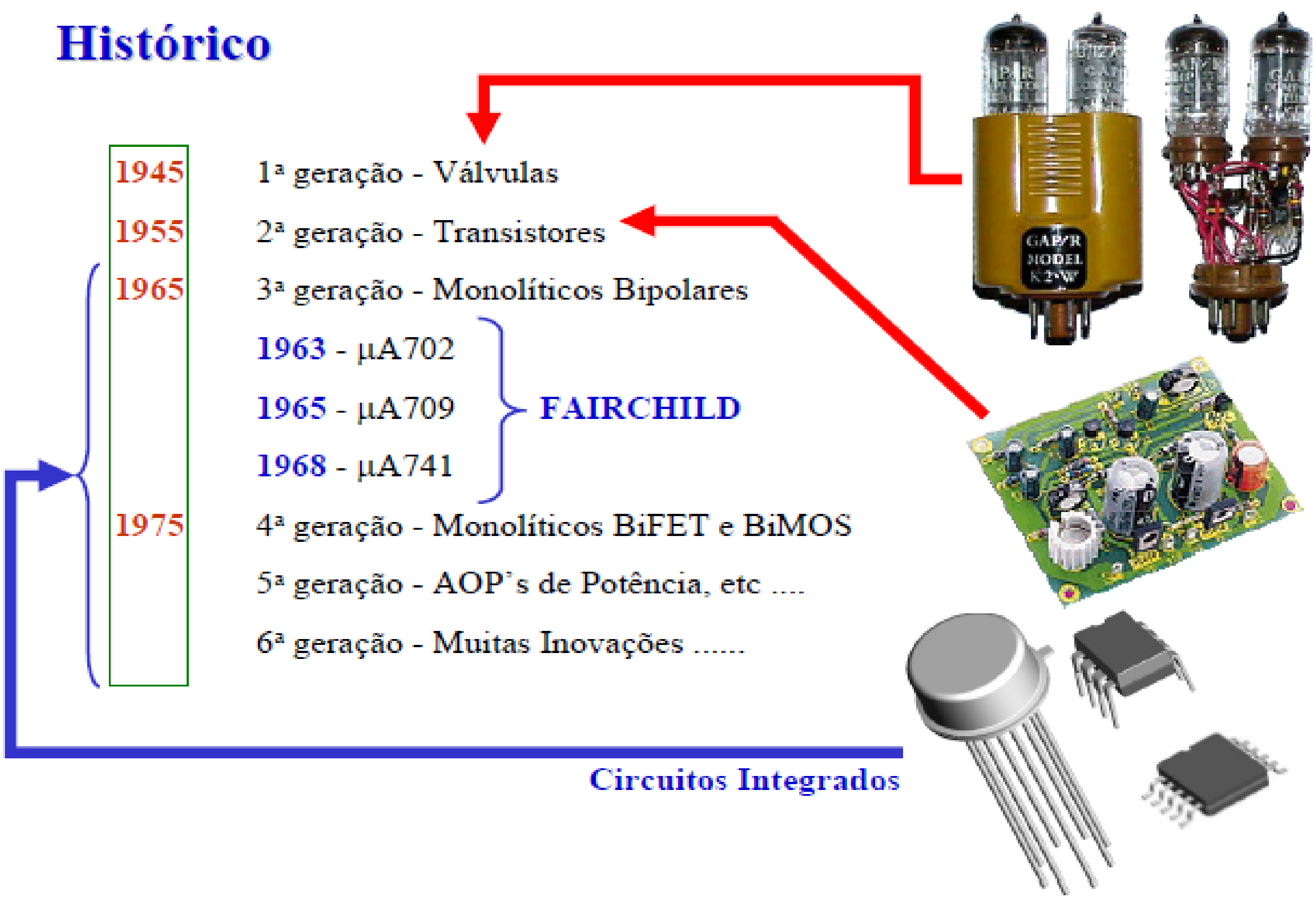
válvulas



Discreto à transistor

integrado

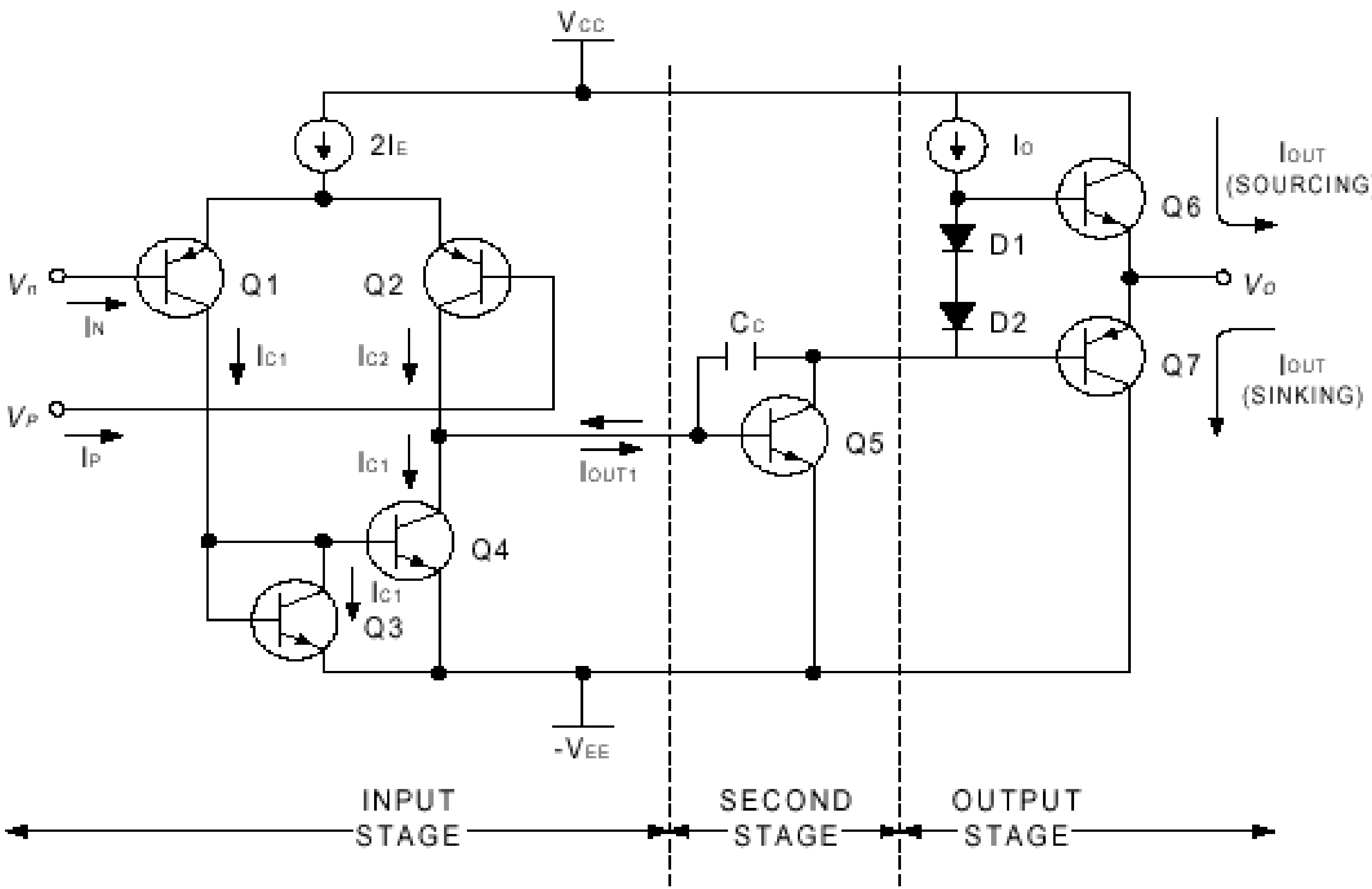
HISTÓRICO



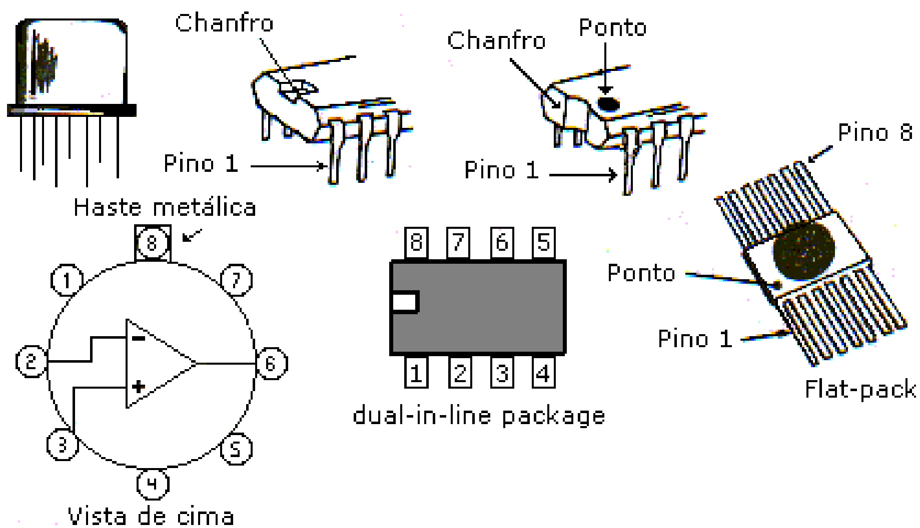
Histórico
1945
1955
1965
1975
1ª geração - Válvulas
2ª geração - Transistores
3ª geração - Monolíticos Bipolares
1963 - µA702
1965 - µA709
1968 - µA741
FAIRCHILD
4ª geração - Monolíticos BiFET e BiMOS
5ª geração - AOP's de Potência, etc ....
6ª geração - Muitas Inovações ......
Circuitos Integrados

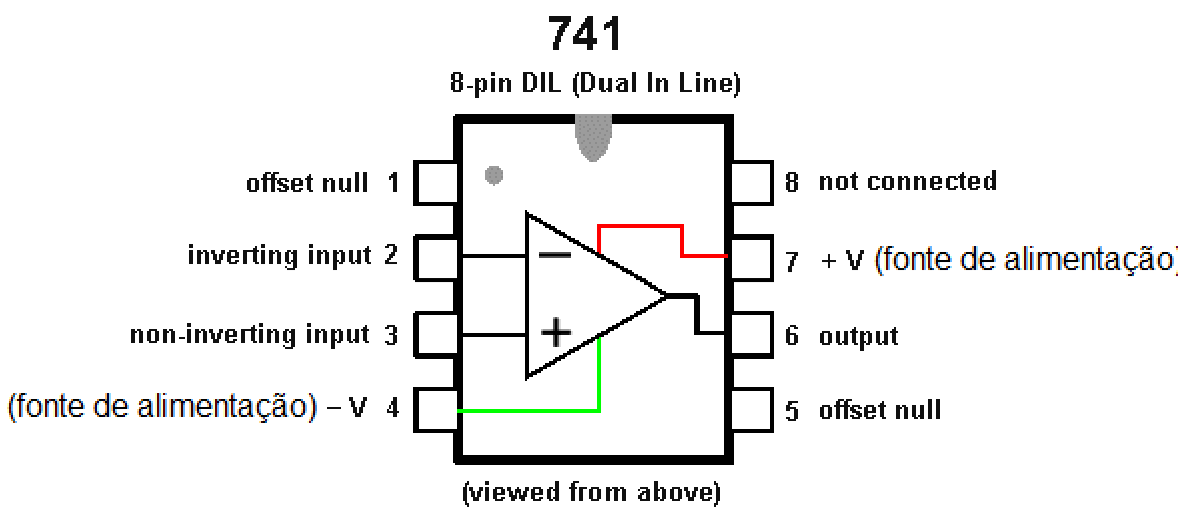
CIRCUITO INTERNO

(ESQUEMÁTICO)

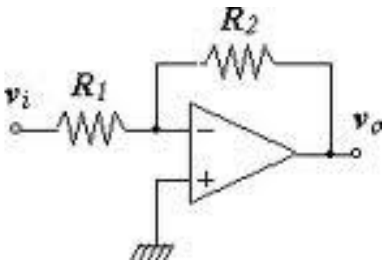


ENCAPSULAMENTO E PINAGEM

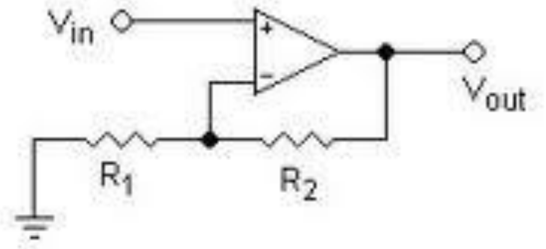




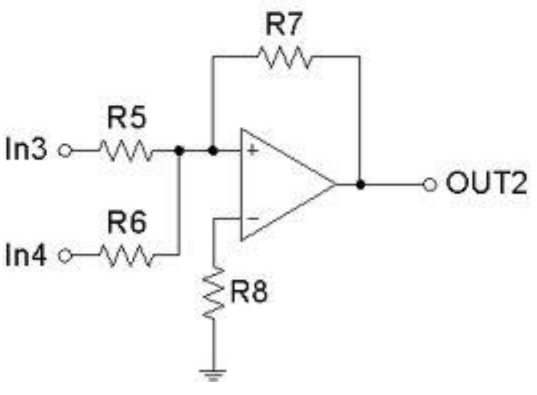
CIRCUITOS APLICATIVOS



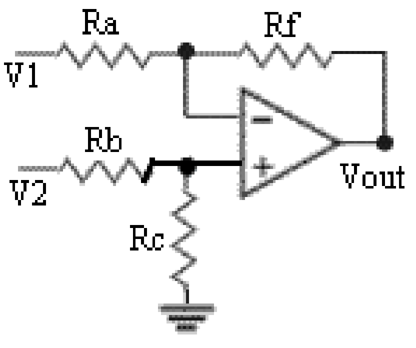
INVERSOR



NÃO-INVERSOR



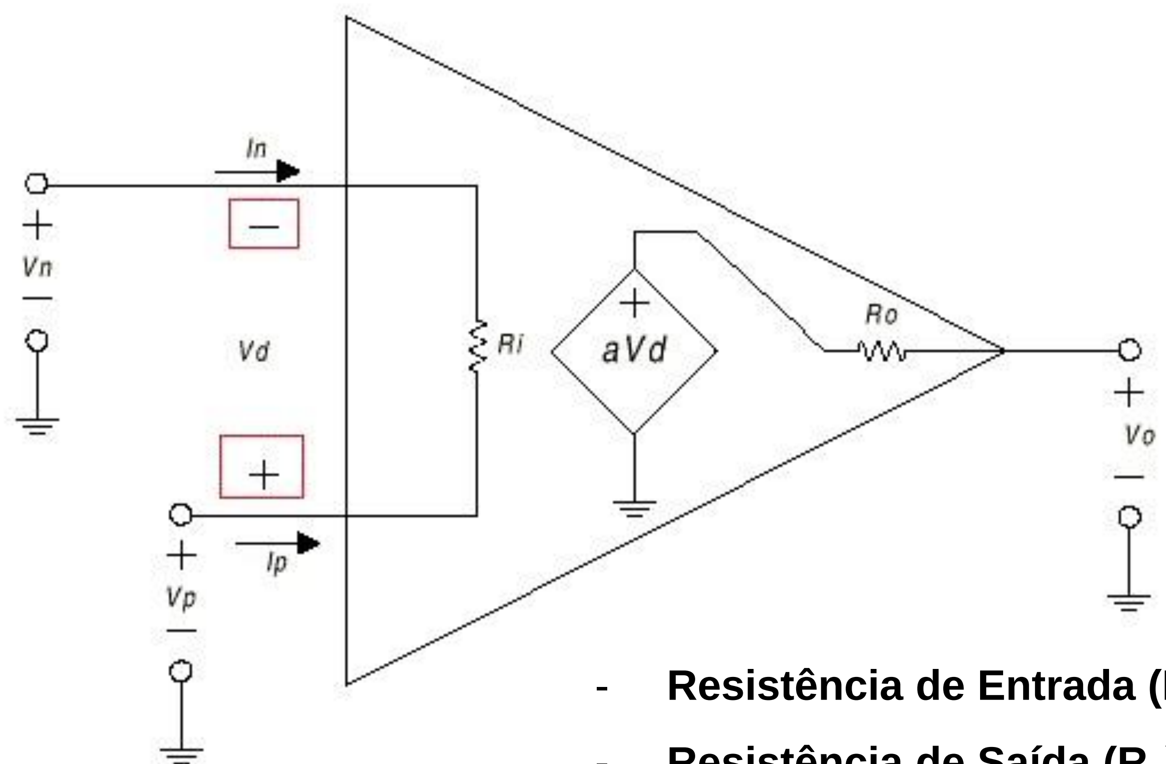
SOMADOR



DIFERENCIAL
(SUBTRATOR)

MODELAMENTO

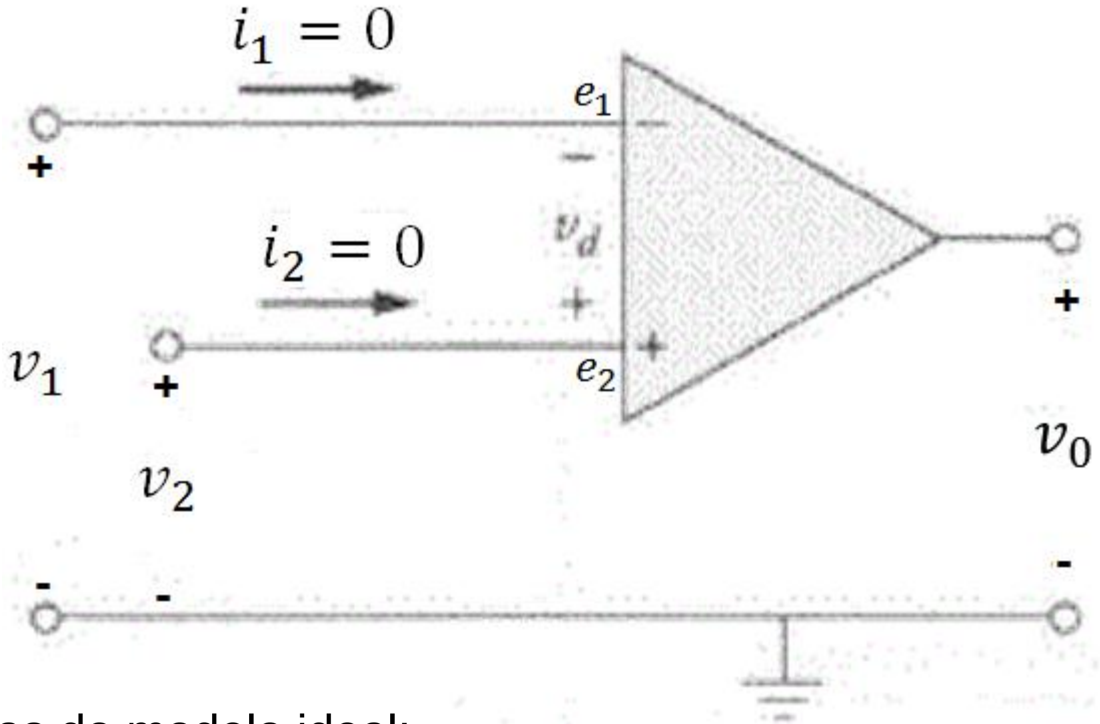
- REAL



- **Resistência de Entrada (R_i) 10^6 a 10^{13} Ω**
- **Resistência de Saída (R_o) 10 a 100 Ω**
- **Ganho de Malha Aberta (a) 10^5 a 10^8**

MODELAMENTO

- IDEAL



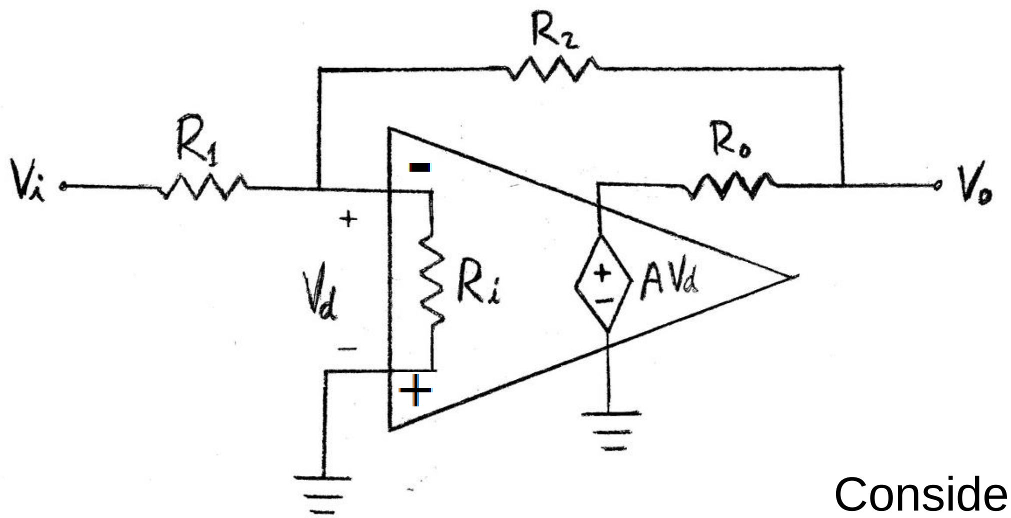
- Características do modelo ideal:

$$i_1 = 0 \qquad i_2 = 0$$

$$e_1 = e_2$$

- **Resistência de Entrada (R_i) ∞**
- **Resistência de Saída (R_o) 0 Ω**
- **Ganho de Malha Aberta (a) ∞**

AMPOP INVERSOR – MODELO REAL



Equação nodal no terminal (+):

$$\frac{V_i - V_d}{R_1} = \frac{V_d}{R_i} + \frac{V_d - V_o}{R_2} \quad (1)$$

Equação nodal em *Vo*:

$$\frac{V_o - V_d}{R_2} + \frac{V_o - A.V_d}{R_o} = 0 \quad (2)$$

Considerando os seguintes parâmetros:

$$R_1 = R_2 = 1x10^3\Omega \quad R_i = 10^8\Omega \ , R_0 = 10\Omega \ e \ \ A = 10^5$$

Ajustando as equações, tem-se:

$$\frac{V_i}{R_1} - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_i}\right)V_d = -\frac{V_o}{R_2} \quad (3)$$

e

$$\left(\frac{A}{R_o} + \frac{1}{R_2}\right)V_d = \left(\frac{1}{R_o} + \frac{1}{R_2}\right)V_o \quad (4)$$

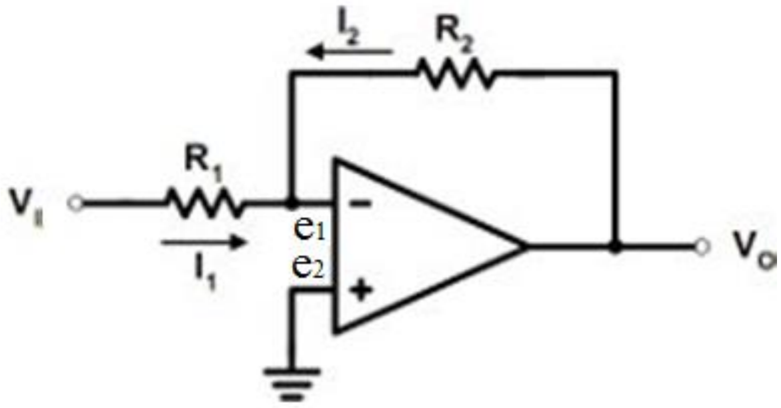
Substituindo os parâmetros nas equações 3 e 4, tem-se:

$$V_i = 2{,}00001.V_d - V_0 \quad (5) \quad e \quad V_d = 1{,}0099998x10^{-5}xV_0$$

Substituindo a equação 6 em 5, tem-se:

$$V_o = -1{,}0000202xV_i$$

AMPOP INVERSOR – MODELO IDEAL



Aplicando análise nodal na porta inversora, tem-se:

$$\frac{V_i - e_1}{R_1} + \frac{V_0 - e_1}{R_2} = 0$$

Sendo $e_1 = e_2 = 0V$, então:

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2} \quad , ou \qquad V_o = -\frac{R_2}{R_1} x V_i \quad (1)$$

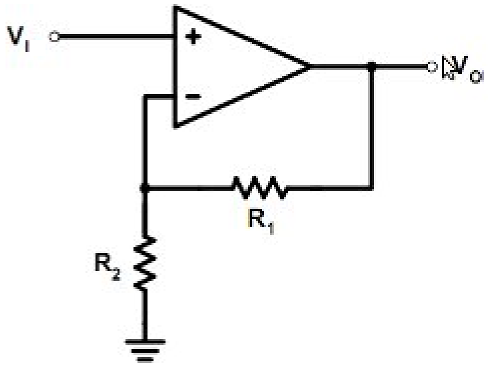
Utilizando os parâmetros: $R_1 = R_2 = 1x10^3\Omega$ em 1, tem-se:

$$V_o = -V_i$$

Comparando com o resultado do modelo real: $V_o = -1{,}0000202xV_i$

Observa-se que o erro se dá na 5ª casa decimal, o que, para a maioria das aplicações, pode ser desprezado. Portanto, utiliza-se o modelo ideal, para facilitar a análise dos circuitos.

Circuito Não Inversor



Análise Nodal em (-):

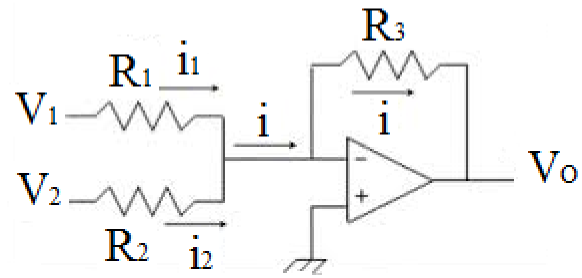
$$\frac{V_i}{R_2} + \frac{V_i - V_o}{R_1} = 0$$

$$\frac{V_i}{R_2} + \frac{V_i}{R_1} = \frac{V_o}{R_1}$$

$$\frac{V_o}{\cancel{R_1}} = \left(\frac{R_1 + R_2}{\cancel{R_1} x R_2}\right) V_i$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_i$$

Circuito Somador Inversor



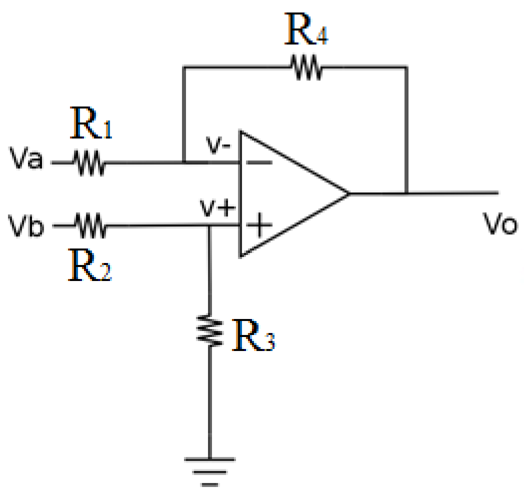
Análise Nodal em (-):

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_o}{R_3} = 0$$

$$\frac{V_0}{R_3} = -\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}\right)$$

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

Circuito Subtrator



Aplicando Divisor de Tensão em (+):

$$V_+ = \frac{R_3}{R_2 + R_3} . V_b \qquad (1)$$

Análise Nodal em (-):

$$\frac{V_a - V_-}{R_1} + \frac{V_0 - V_-}{R_4} = 0$$

$$\frac{V_a}{R_1} + \frac{V_0}{R_4} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_4}\right) V_- \Rightarrow \quad \frac{V_0}{R_4} = \left(\frac{R_1 + R_4}{R_1 . R_4}\right) V_- - \frac{V_a}{R_1}$$

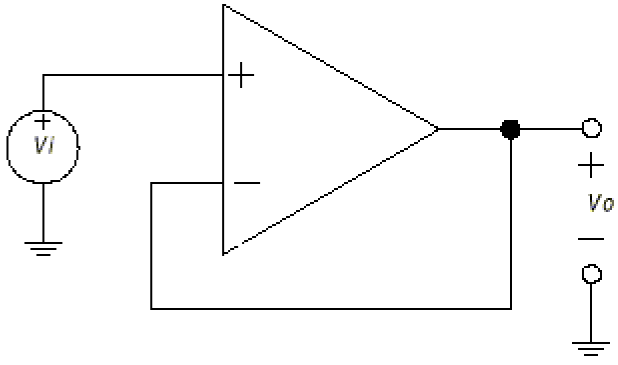
$$V_0 = \cancel{R_4} . \left(\frac{R_1 + R_4}{R_1 . \cancel{R_4}}\right) V_- - \frac{R_4}{R_1} V_a \Rightarrow \quad V_0 = \left(\frac{R_1 + R_4}{R_1}\right) V_- - \frac{R_4}{R_1} V_a \ (2)$$ $\Rightarrow$ Sendo: $V_+ = V_- \Rightarrow$

Substituindo 1 em 2 => $V_0 = \left(\frac{R_1 + R_4}{R_1}\right) . \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_b - \frac{R_4}{R_1} V_a \Rightarrow$ $\boxed{V_0 = \frac{R_3}{R_1}\left(\frac{R_1 + R_4}{R_2 + R_3}\right) V_b - \frac{R_4}{R_1} V_a}$

$$R_1 = R_2 \ \ e \ \ R_3 = R_4 \Rightarrow \quad V_0 = \frac{R_4}{R_1} V_b - \frac{R_4}{R_1} V_a \qquad R_1 = R_4 \ \ e \ \ R_2 = R_3 \Rightarrow V_0 = V_b - V_a$$

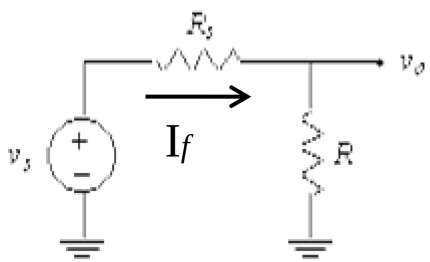
$$R_3 = \infty \Rightarrow \ R_3 \gg R_2 \Rightarrow \quad V_0 = \frac{\cancel{R_3}}{R_1}\left(\frac{R_1 + R_4}{\cancel{R_3}}\right) V_b - \frac{R_4}{R_1} V_a \Rightarrow V_0 = \left(\frac{R_1 + R_4}{R_1}\right) V_b - \frac{R_4}{R_1} V_a$$

- Seguidor de Tensão



$$V_o = V_i$$

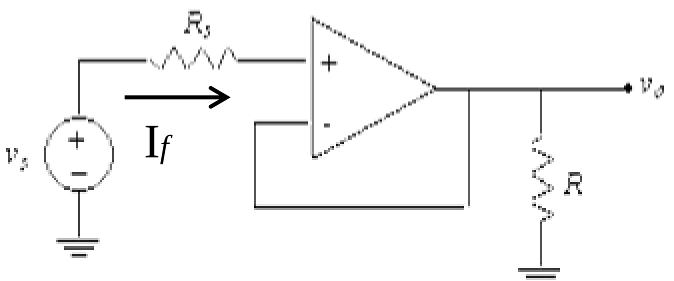
- Carregamento de Circuito:



$$V_o - V_s + R_S . I_f = 0$$

$$V_o = V_s - R_S . I_f$$

R_S carregou a fonte

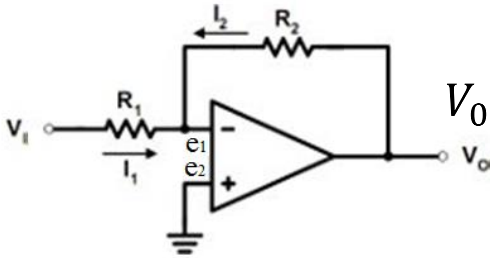


$$I_f = 0A \;\Rightarrow\; V_o = V_s$$

AMPOP “isolou” a entrada da saída, ou seja, R_S não carrega a fonte.

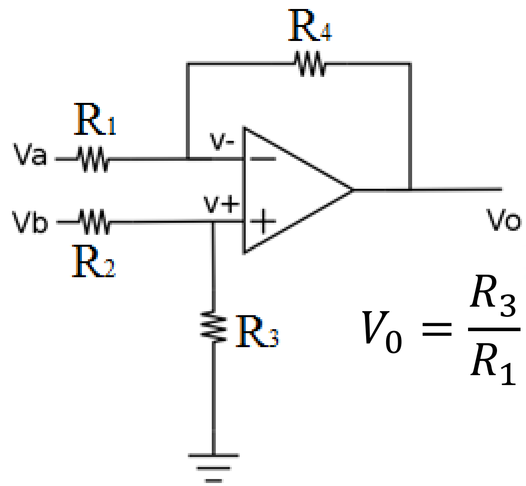
RESUMO

Circuito Inversor



$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$

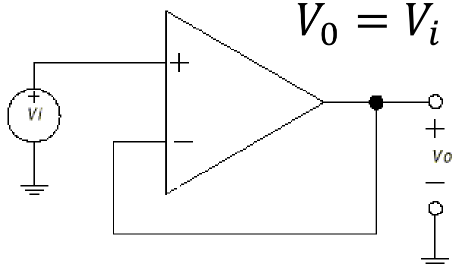
Circuito Subtrator



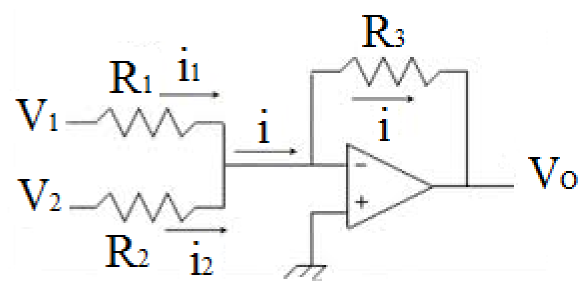
$$V_0 = \frac{R_3}{R_1}\left(\frac{R_1 + R_4}{R_2 + R_3}\right) V_b - \frac{R_4}{R_1} V_a$$

- Seguidor de Tensão

$$V_0 = V_i$$

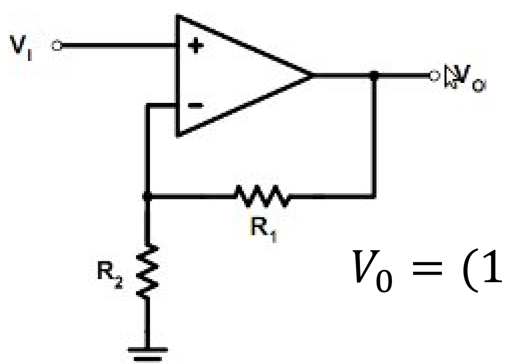


Circuito Somador Inversor



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

Circuito Não Inversor



$$V_0 = (1 + \frac{R_1}{R_2}) V_i$$