

Aula de Eletrônica

Amplificadores Operacionais

Prof. Dr. Ricardo Luiz Barros de Freitas

Amplificadores Operacionais

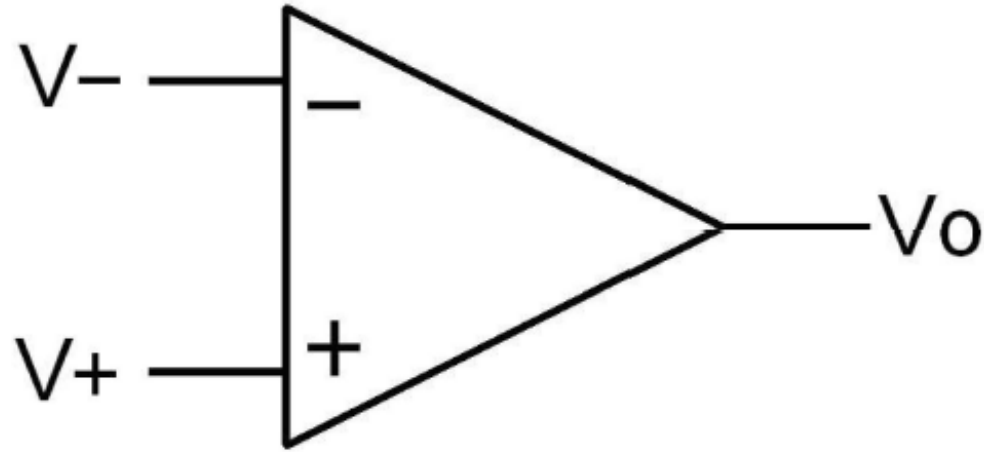
- É muito difícil enumerar a totalidade das aplicações desse fantástico componente denominado Amplificador Operacional.
- De modo geral, podemos dizer que suas aplicações estão presentes nos?
 - sistemas eletrônicos de controle industrial
 - na instrumentação industrial
 - na instrumentação médica (eletromedicina ou bioeletrônica)
 - nos equipamentos de telecomunicações
 - nos equipamentos de áudio
 - nos sistema de aquisição de dados
 - etc.

Amplificadores Operacionais

- O Amplificador Operacional (AOP) é um amplificador multiestágio com entrada diferencial cujas características se aproximam das de um amplificador ideal.
- As características ideais de um AOP são:
 - Impedância de entrada infinita;
 - Impedância de saída nula;
 - Ganho de tensão infinito;
 - Resposta de frequência infinita;
 - Insensibilidade à temperatura.

Amplificadores Operacionais

- **Simbologia:**



- V_- - entrada inversora;
- V_+ - entrada não-inversora;
- V_o - saída.

Amplificadores Operacionais

- **Descrição Básica de um AOP:**
- O AOP possui duas entradas e uma saída, que possui um valor múltiplo da diferença entre as duas entradas.
- O fator A é o ganho de tensão do Amplificador Operacional, ou seja, a relação entre a tensão de entrada diferencial e a de saída do dispositivo:

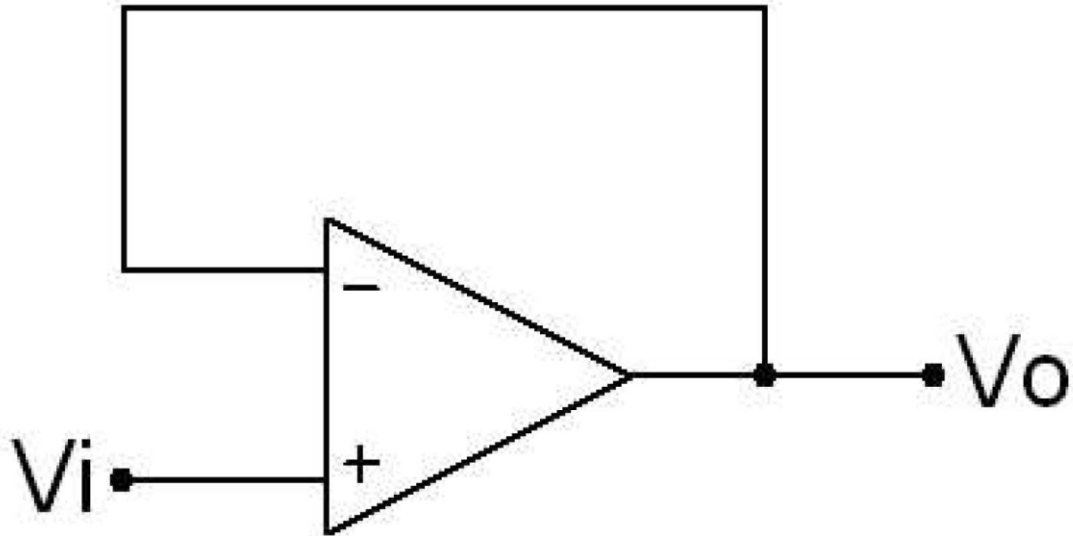
$$V_o = A.(V_+ - V_-)$$

Amplificadores Operacionais

- **Circuitos Básicos com AOP:**
- Vamos estudar alguns circuitos que utilizam AOP e suas principais características, além de algumas considerações práticas para o uso do AOP.

Amplificadores Operacionais

- **Seguidor de Tensão (buffer):**
- O seguidor unitário, mostrado abaixo, fornece um ganho unitário (1) sem inversão de polaridade ou fase. Portanto a saída possui mesma amplitude, polaridade e fase da entrada.
- O circuito atua como isolador (buffer) de estágios, reforçador de correntes e casador de impedâncias.

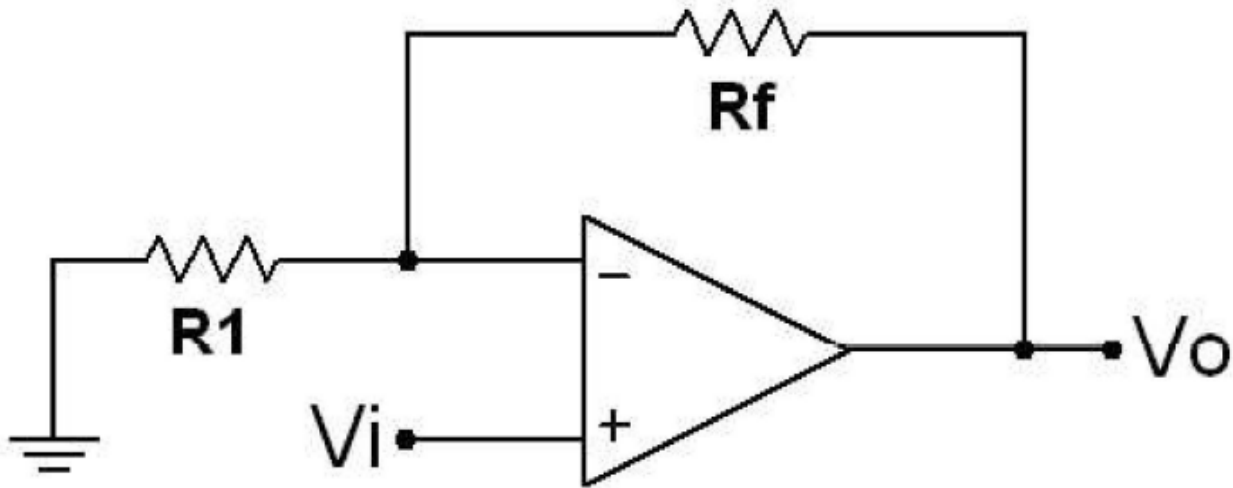


$$V_o = V_i$$

Amplificadores Operacionais

- **Amplificador Não-Inversor:**

- A figura abaixo mostra um circuito com AOP que trabalha como um amplificador não inversor ou multiplicador de ganho constante.
- Observe que a conexão do amplificador inversor é mais utilizada por ser mais estável entre as duas.

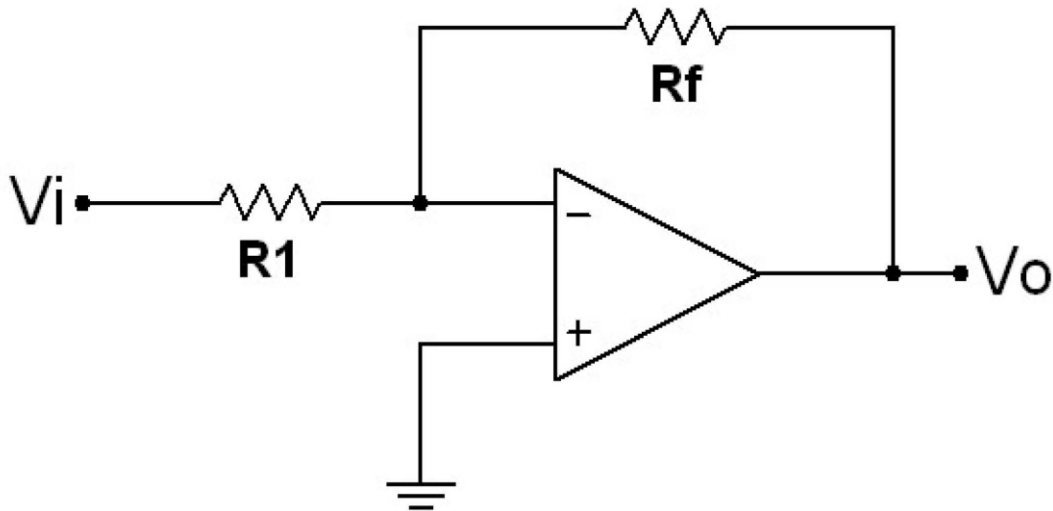


$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) V_i$$

Amplificadores Operacionais

- **Amplificador Inversor:**

- O amplificador de ganho constante mais amplamente utilizado é o amplificador inversor, mostrado abaixo.
- A saída é obtida pela multiplicação da entrada por um ganho (fator A) constante, fixado pelo resistor de entrada R_1 e o resistor de realimentação R_f .
- Essa saída também é invertida em relação à entrada.

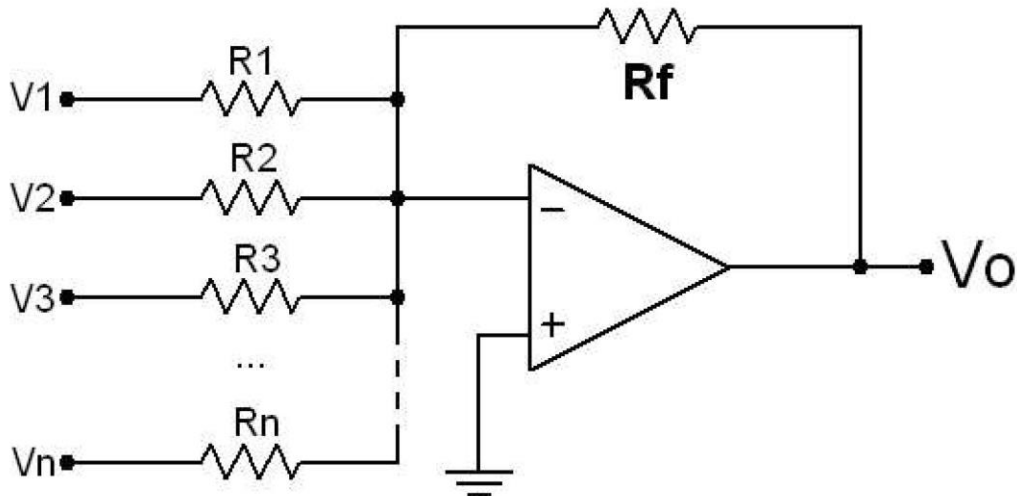


$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_i$$

Amplificadores Operacionais

- **Amplificador Somador:**

- O circuito abaixo mostra um circuito amplificador somador de n entradas que fornece um meio de somar algebricamente (adicionando) n tensões, cada uma multiplicada por um fator de ganho constante.
- Em outras palavras, cada entrada adiciona uma tensão à saída, multiplicada pelo seu correspondente fator de ganho.



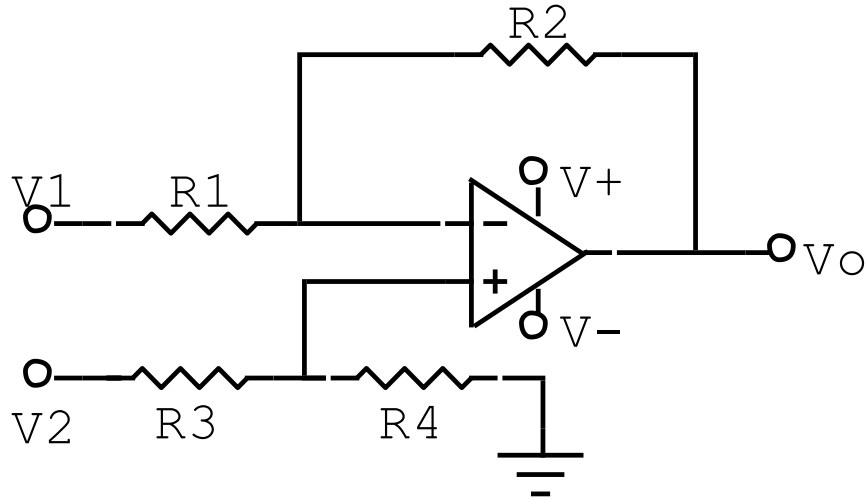
$$V_o = -\sum_{i=1}^n \left(\frac{R_f}{R_i} V_i \right) = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3 + \dots + \frac{R_f}{R_n} V_n \right)$$

Se $R_1=R_2=R_3=R$ então:

$$V_o = -\frac{R_F}{R} (V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n)$$

Amplificadores Operacionais

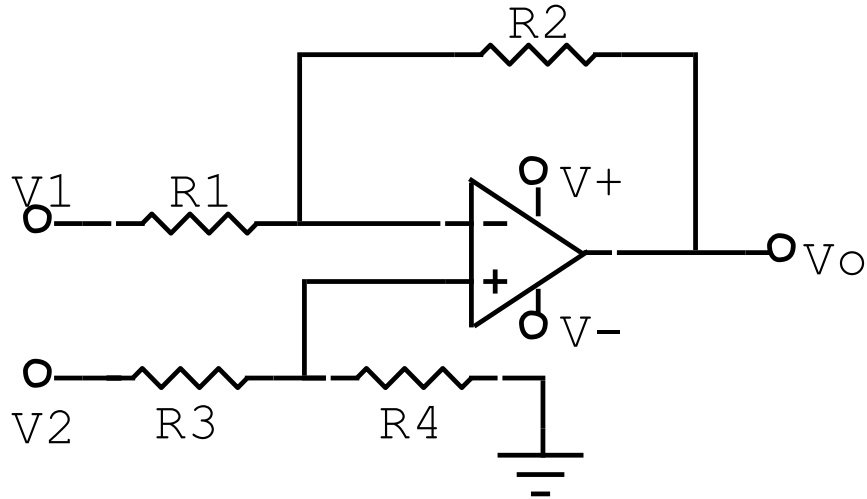
- **Amplificador Diferencial ou Subtrator:**
- Este circuito permite que se obtenha na saída uma tensão igual à diferença entre os sinais aplicados, multiplicada por um ganho.



$$V_O = \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(\frac{1 + \frac{R_1}{R_2}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} V_2 - V_1 \right)$$

Amplificadores Operacionais

- **Amplificador Diferencial ou Subtrator:**
- Este circuito permite que se obtenha na saída uma tensão igual à diferença entre os sinais aplicados, multiplicada por um ganho.



$$V_O = \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(\frac{1 + \frac{R_1}{R_2}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} V_2 - V_1 \right)$$

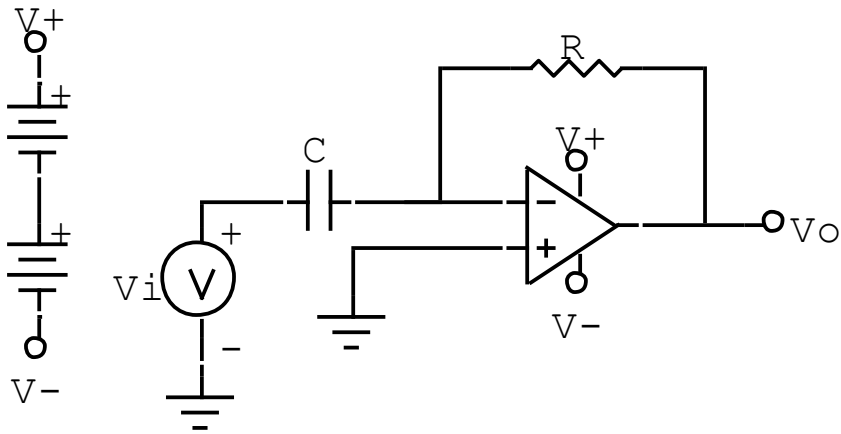
Se $R_1 = R_3$ e $R_2 = R_4$ então:

$$V_O = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Amplificadores Operacionais

- **Amplificador Diferenciador:**

- O diferenciador é um circuito que realiza a operação matemática da diferenciação.
- Ele produz uma tensão de saída proporcional à inclinação da função da tensão de entrada (taxa de variação).



$$V_o = -RC \frac{d}{dt} V_i(t)$$

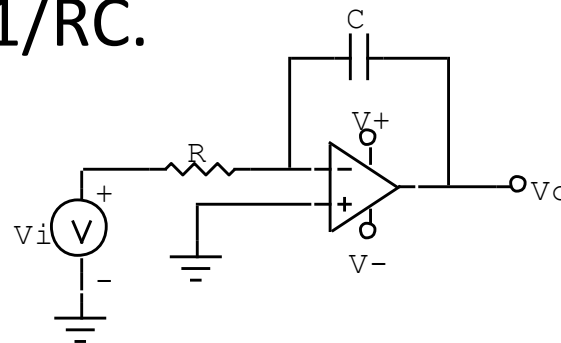
Pode ser configurado como filtro passa-altas.

Amplificadores Operacionais

- **Amplificador Integrador:**

- O integrador é um circuito que executa a operação de integração, que é semelhante à de soma, uma vez que constitui uma soma da área sob a forma de onda ou curva em um período de tempo.
- Se uma tensão fixa for aplicada como entrada para um circuito integrador, a tensão de saída cresce sobre um período de tempo, fornecendo uma tensão em forma de rampa.
- A equação característica do integrador mostra que a rampa de tensão de saída (para uma tensão de entrada fixa) é oposta em polaridade à tensão de entrada e é multiplicada pelo fator $1/RC$.

Pode ser configurado como filtro passa-baixas.



$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i(t) dt$$

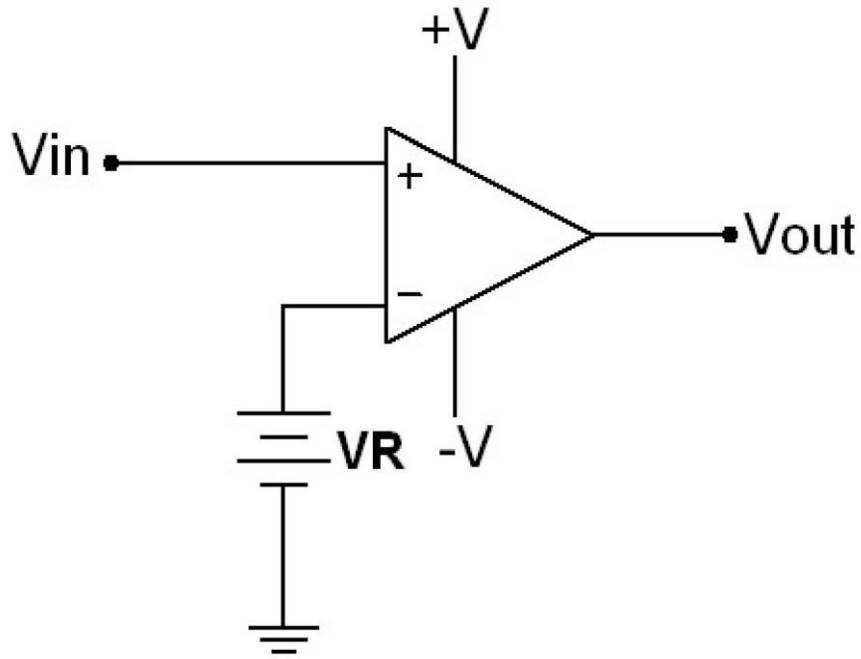
Amplificadores Operacionais

- **Comparadores de Tensão:**

- São circuitos que utilizam AOP em malha aberta, sem realimentação, ou seja, com $A_v \rightarrow \infty$.
- O valor de V_o é determinado apenas pela alimentação do dispositivo.
- Circuitos comparadores farão a comparação entre dois sinais distintos ou entre um sinal distinto e um de referência (VR).
- Se a diferença entre os sinais foi positiva ($V_+ - V_- > 0$), o dispositivo ficará saturado (devido à relação $A_v \rightarrow \infty$) e forçará uma saída $V_o \rightarrow V_+$, caso ocorra o
- inverso, devida a mesma saturação (em sentido inverso), a saída será $V_o \rightarrow V_-$.

Amplificadores Operacionais

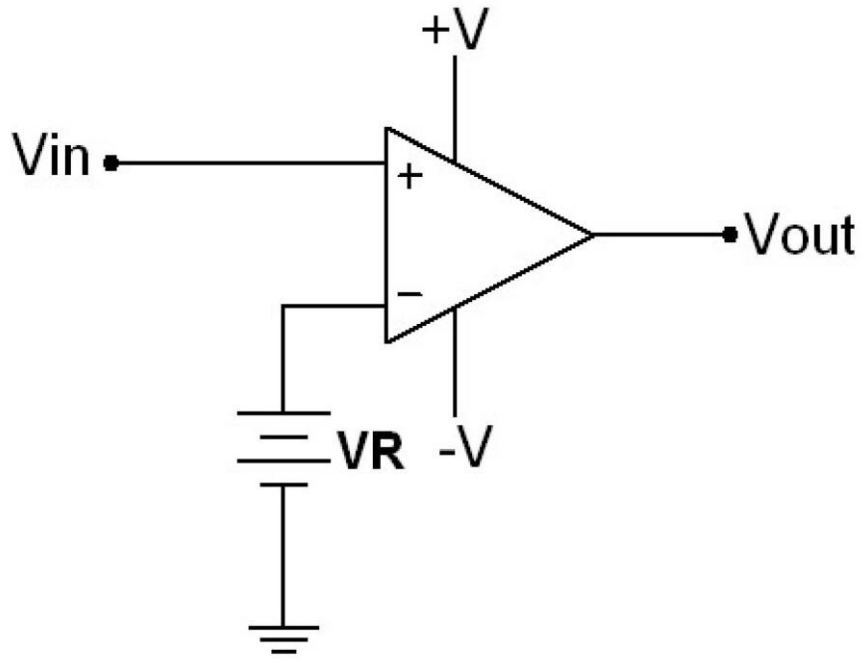
- **Comparadores de Tensão:**



$$se \begin{cases} V_{in} > V_R \Rightarrow V_{out} = +V \\ V_{in} < V_R \Rightarrow V_{out} = -V \end{cases}$$

Amplificadores Operacionais

- **Comparadores de Tensão:**

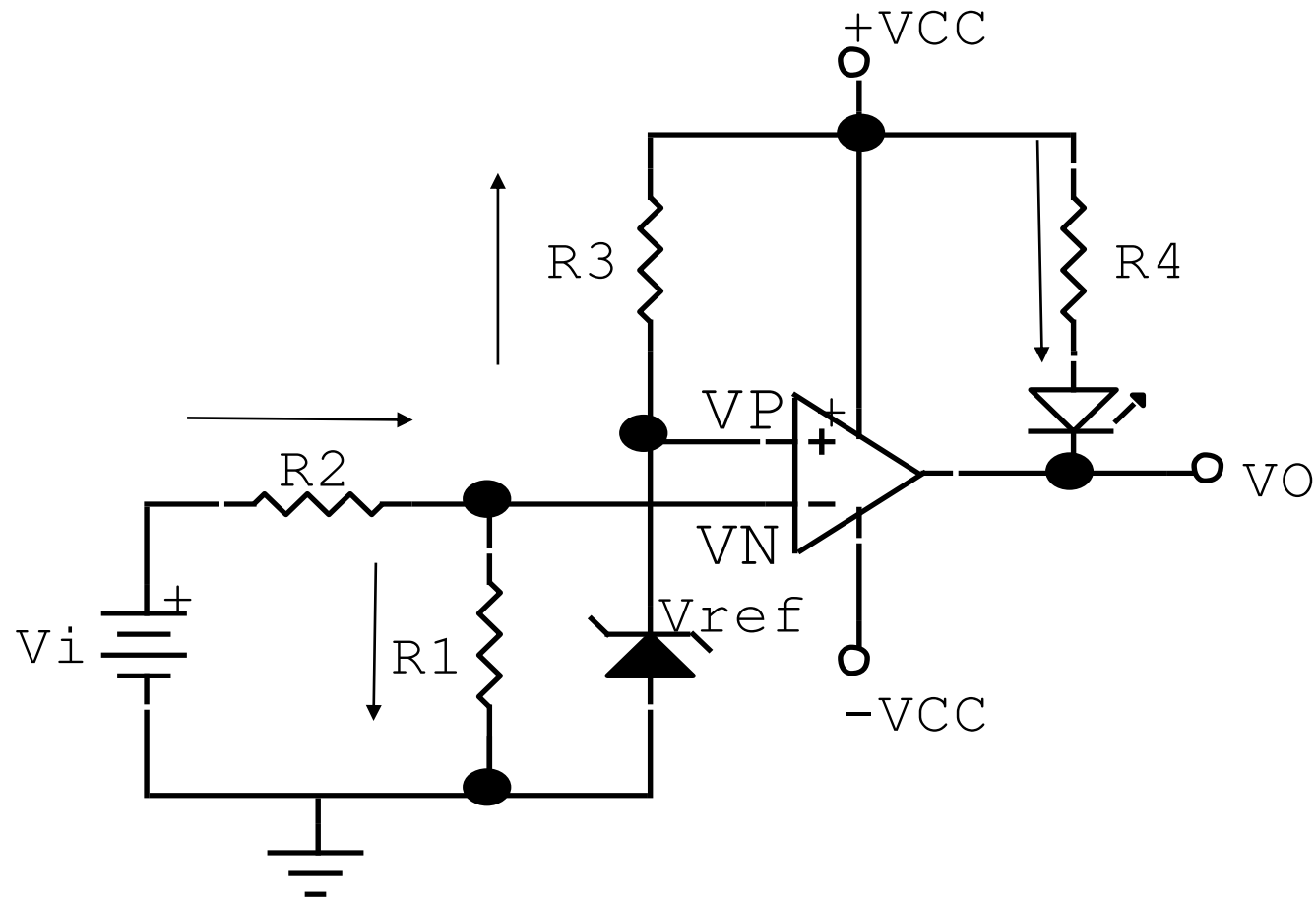


$$se \begin{cases} V_{in} > V_R \Rightarrow V_{out} = +V \\ V_{in} < V_R \Rightarrow V_{out} = -V \end{cases}$$

ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

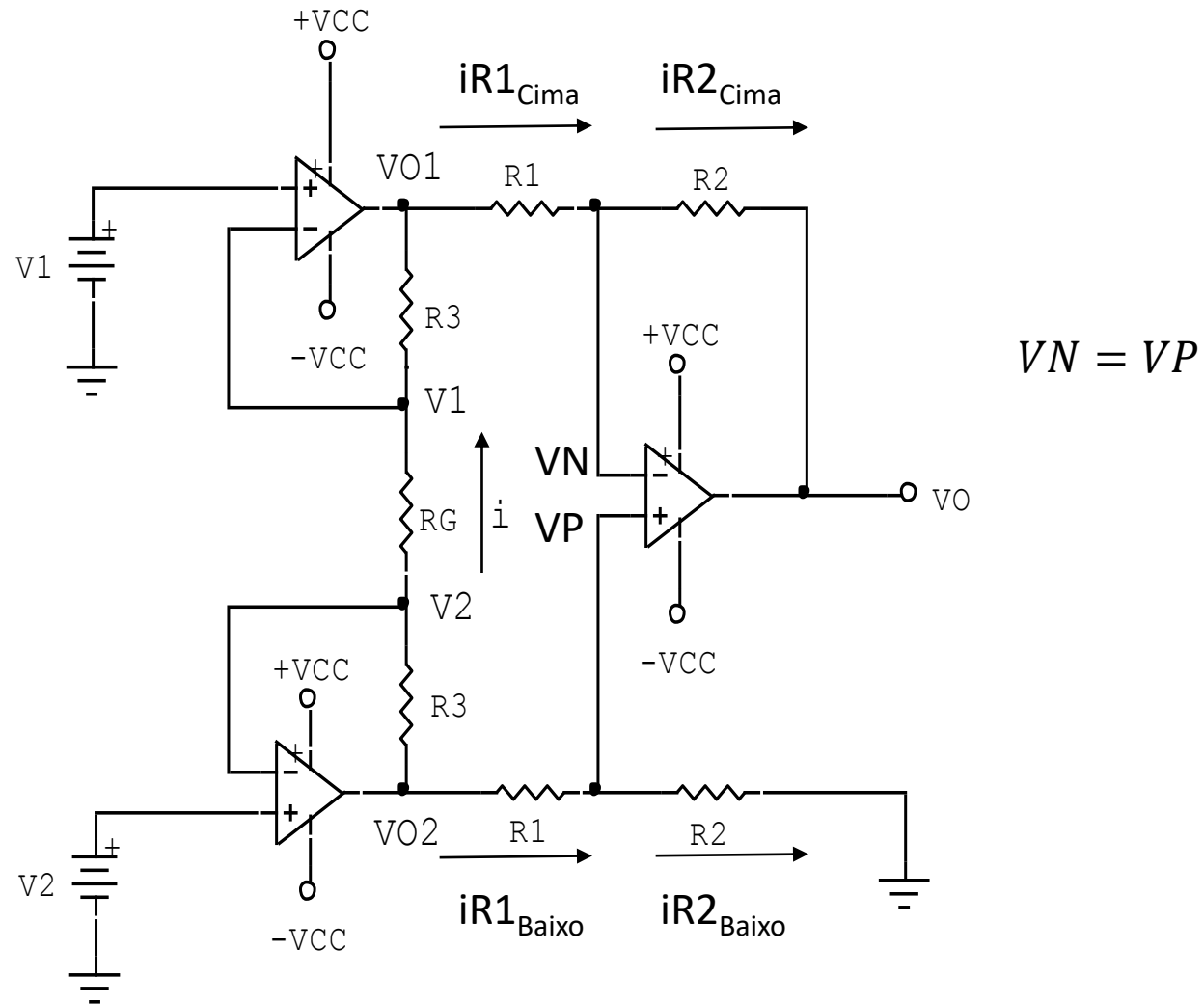
- Detector de Nível:



ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

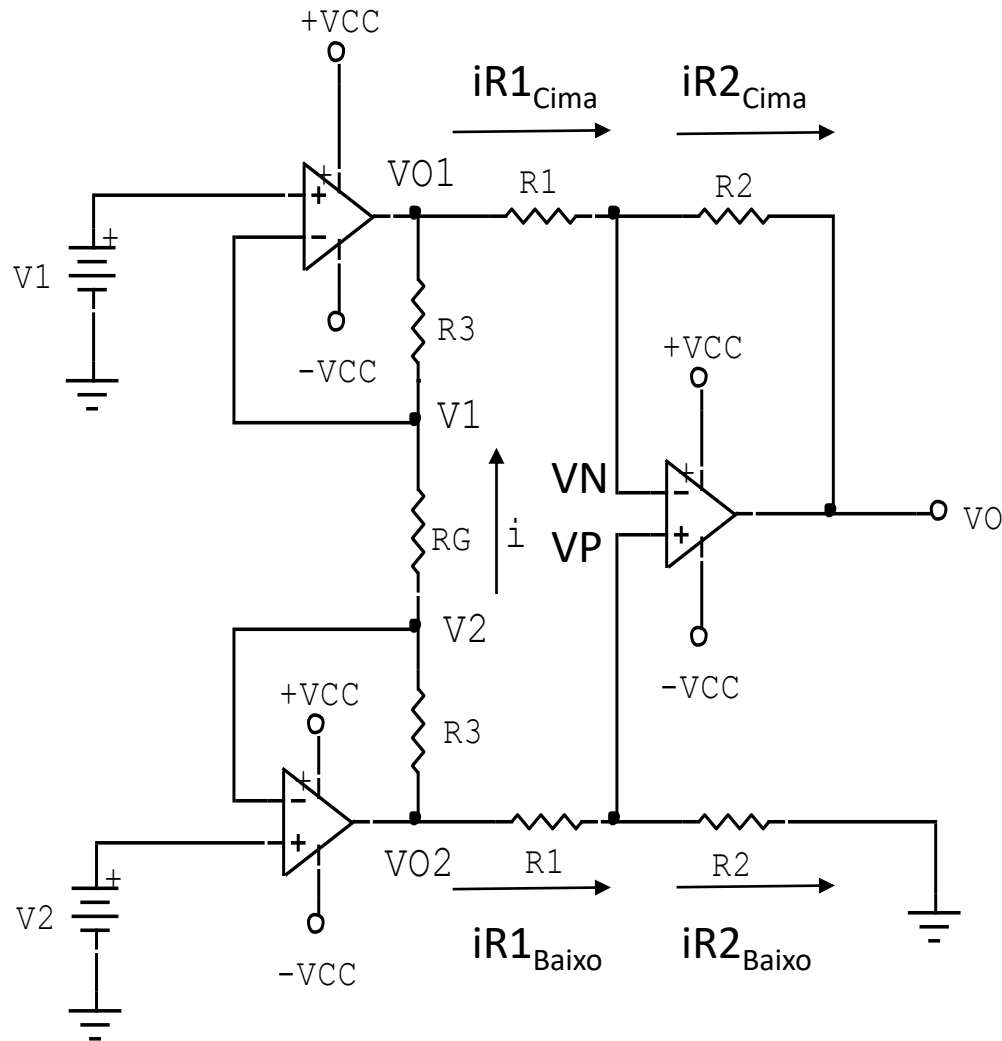
- Amplificador de Instrumentação:



ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

- Amplificador de Instrumentação:



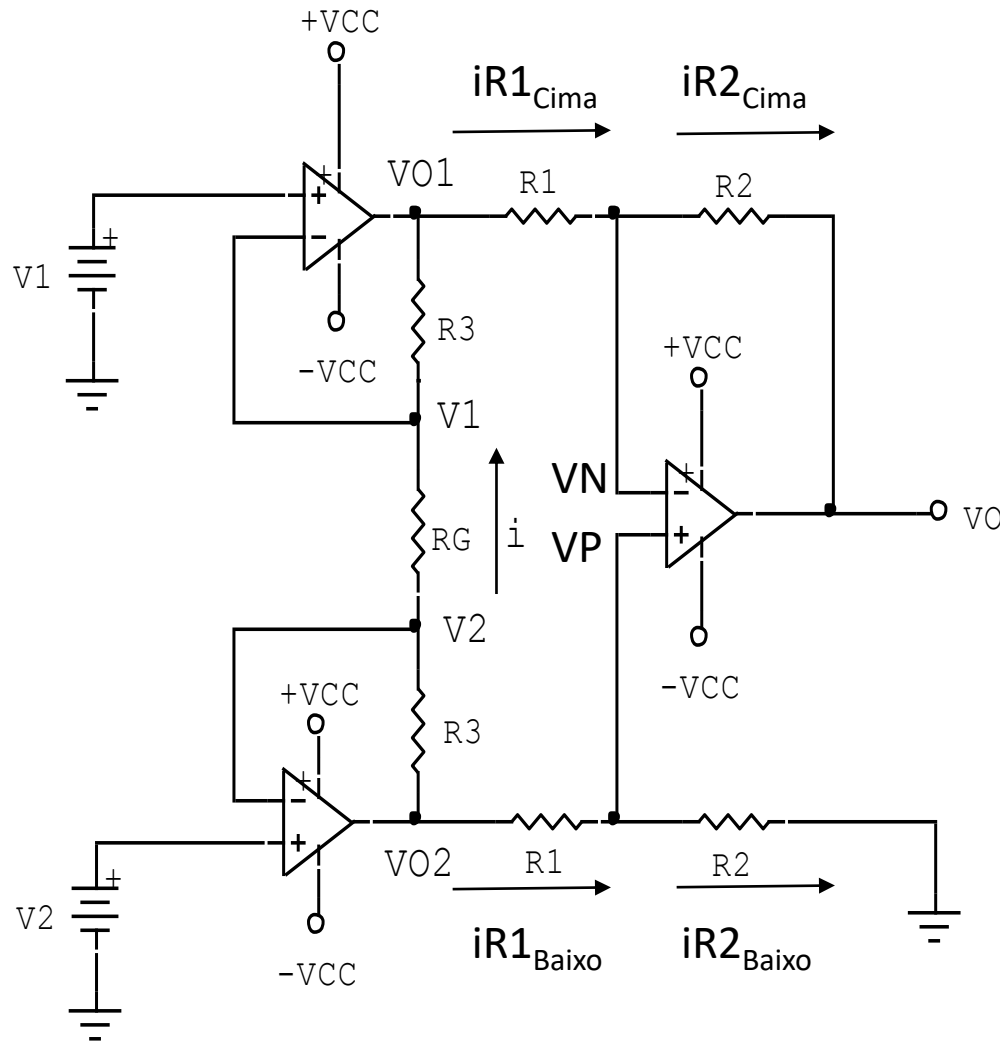
$$V_N = V_P$$

$$\frac{V_O \cdot R_1 + V_{O1} \cdot R_2}{R_2 + R_1} = \frac{V_{O2} \cdot R_2}{R_2 + R_1}$$

ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

- Amplificador de Instrumentação:



$$V_N = V_P$$

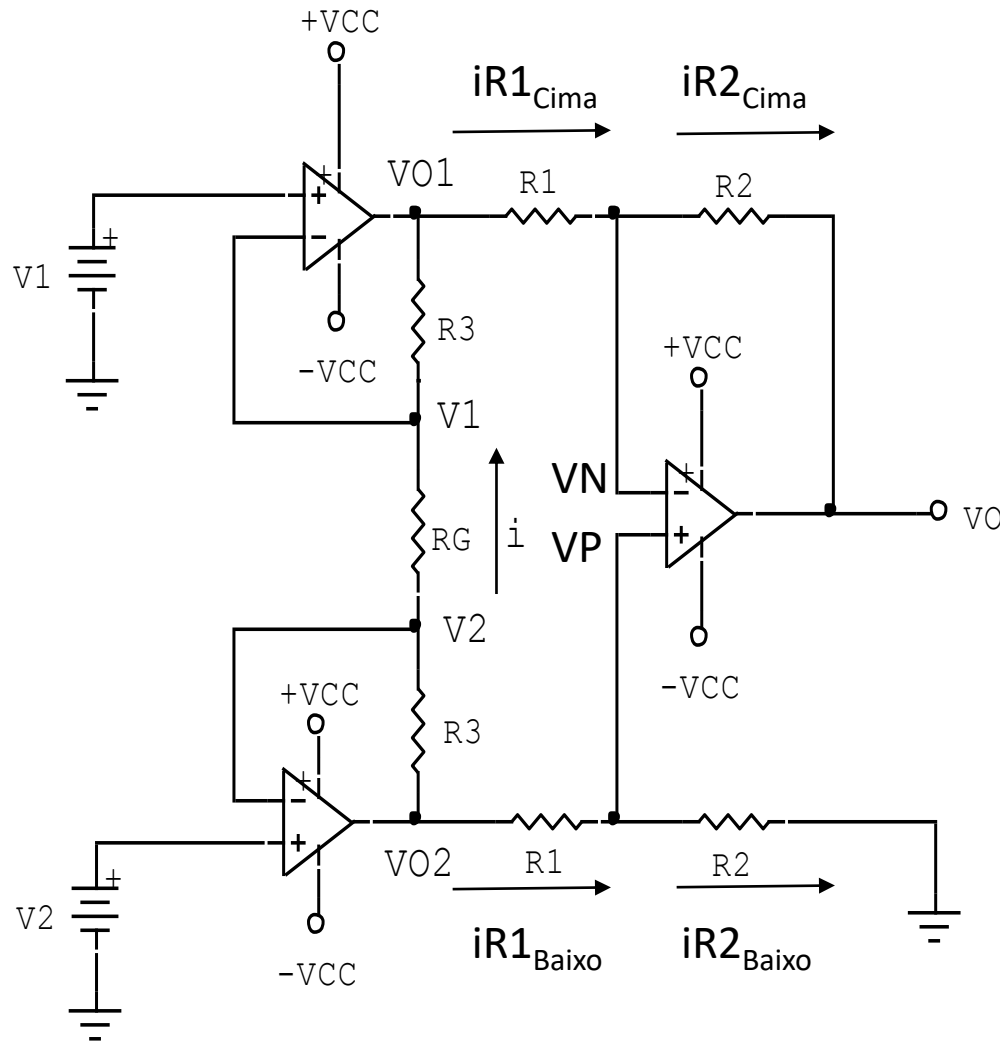
$$\frac{V_O \cdot R_1 + V_{O1} \cdot R_2}{R_2 + R_1} = \frac{V_{O2} \cdot R_2}{R_2 + R_1}$$

$$V_O = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_{O2} - V_{O1})$$

ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

- Amplificador de Instrumentação:



$$V_N = V_P$$

$$\frac{V_O \cdot R_1 + V_{O1} \cdot R_2}{R_2 + R_1} = \frac{V_{O2} \cdot R_2}{R_2 + R_1}$$

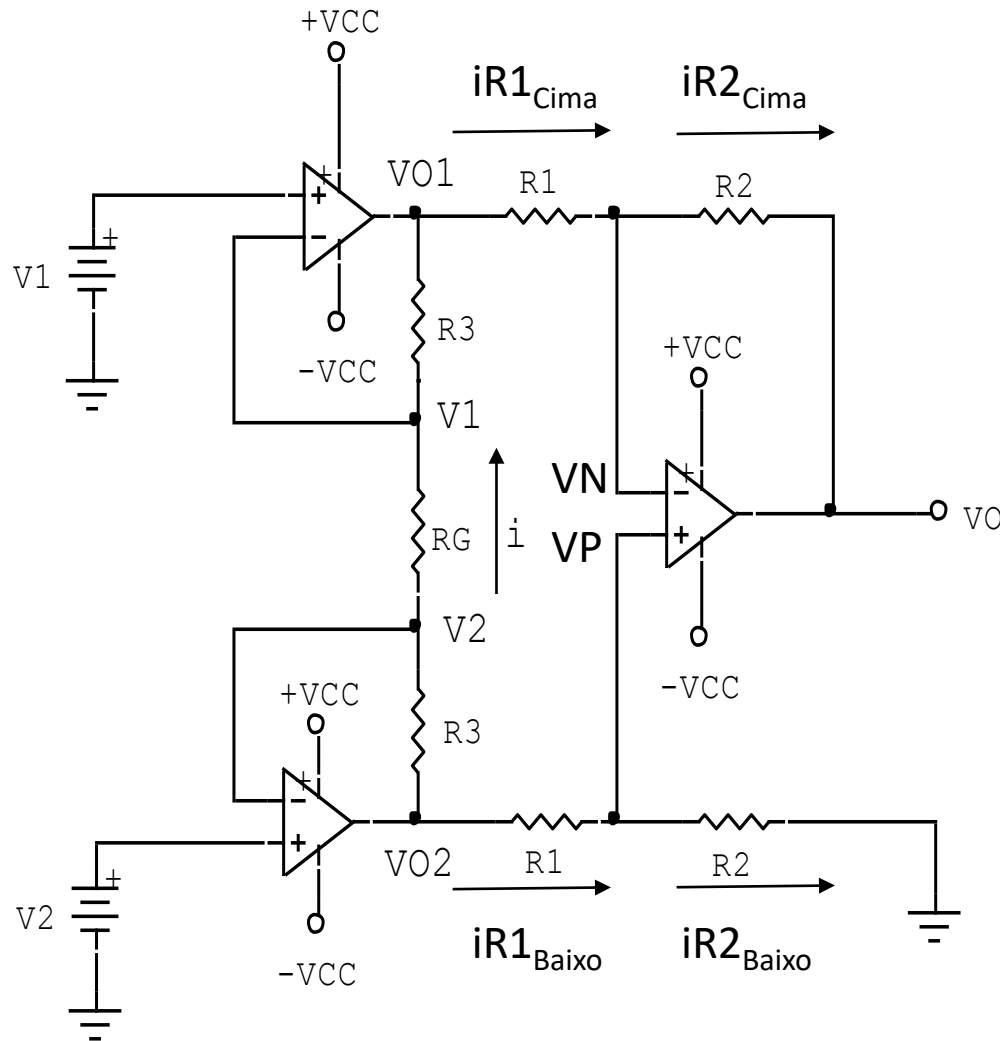
$$V_O = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_{O2} - V_{O1})$$

$$V_{O1} - V_{O2} = (V_1 - V_2) \frac{(2 \times R_3 + R_G)}{R_G}$$

ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

- Amplificador de Instrumentação:



$$VN = VP$$

$$\frac{VO \cdot R1 + VO1 \cdot R2}{R2 + R1} = \frac{VO2 \cdot R2}{R2 + R1}$$

$$VO = \frac{R2}{R1} \cdot (VO2 - VO1)$$

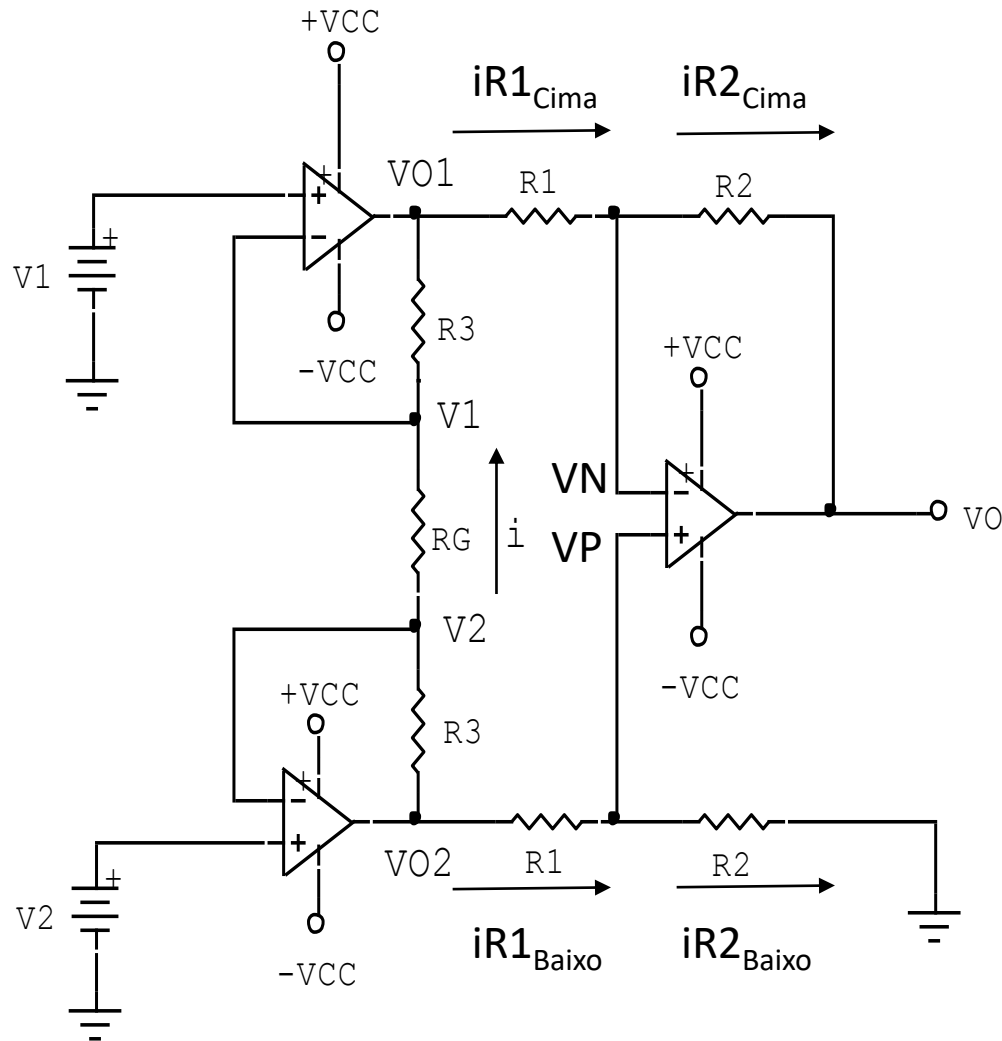
$$VO1 - VO2 = (V1 - V2) \frac{(2 \times R3 + RG)}{RG}$$

$$VO2 - VO1 = (V2 - V1) \frac{(2 \times R3 + RG)}{RG}$$

ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

- Amplificador de Instrumentação:

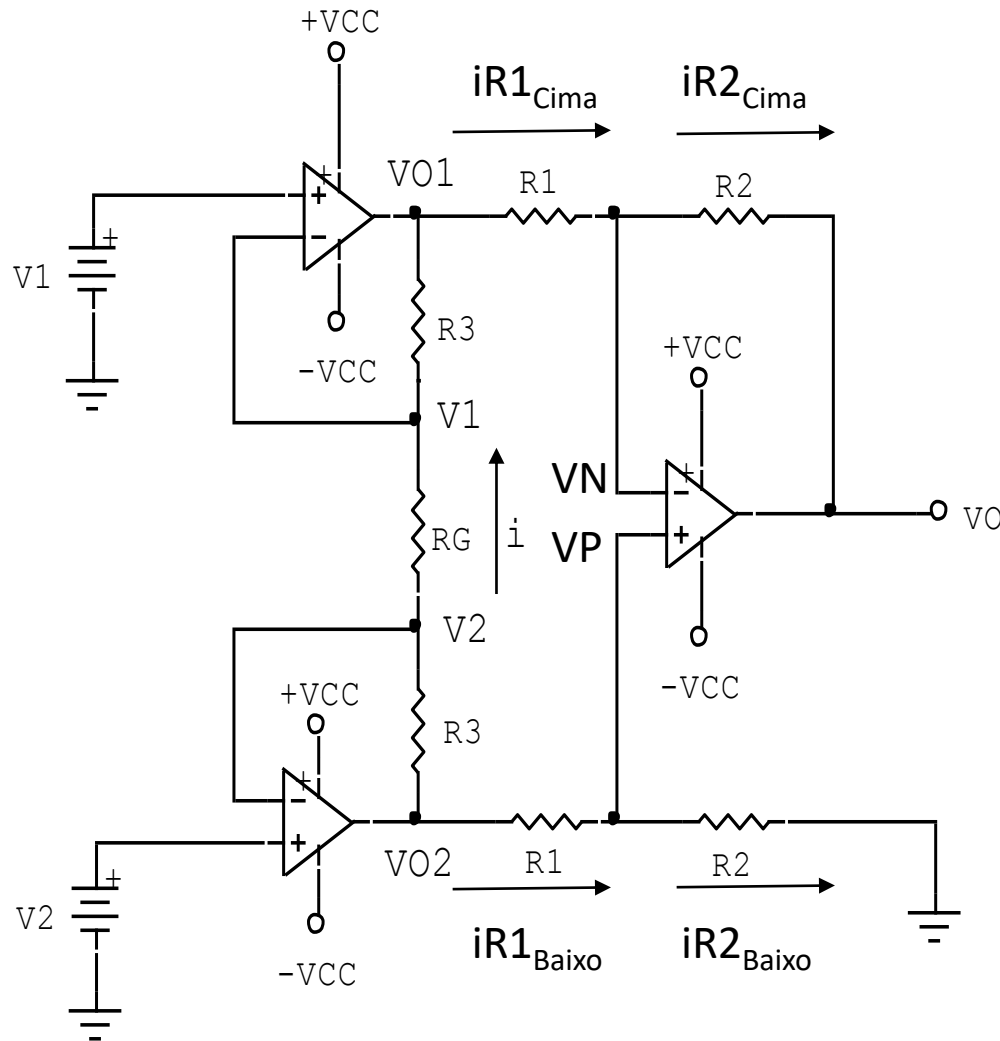


$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_{O2} - V_{O1})$$

ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

- Amplificador de Instrumentação:



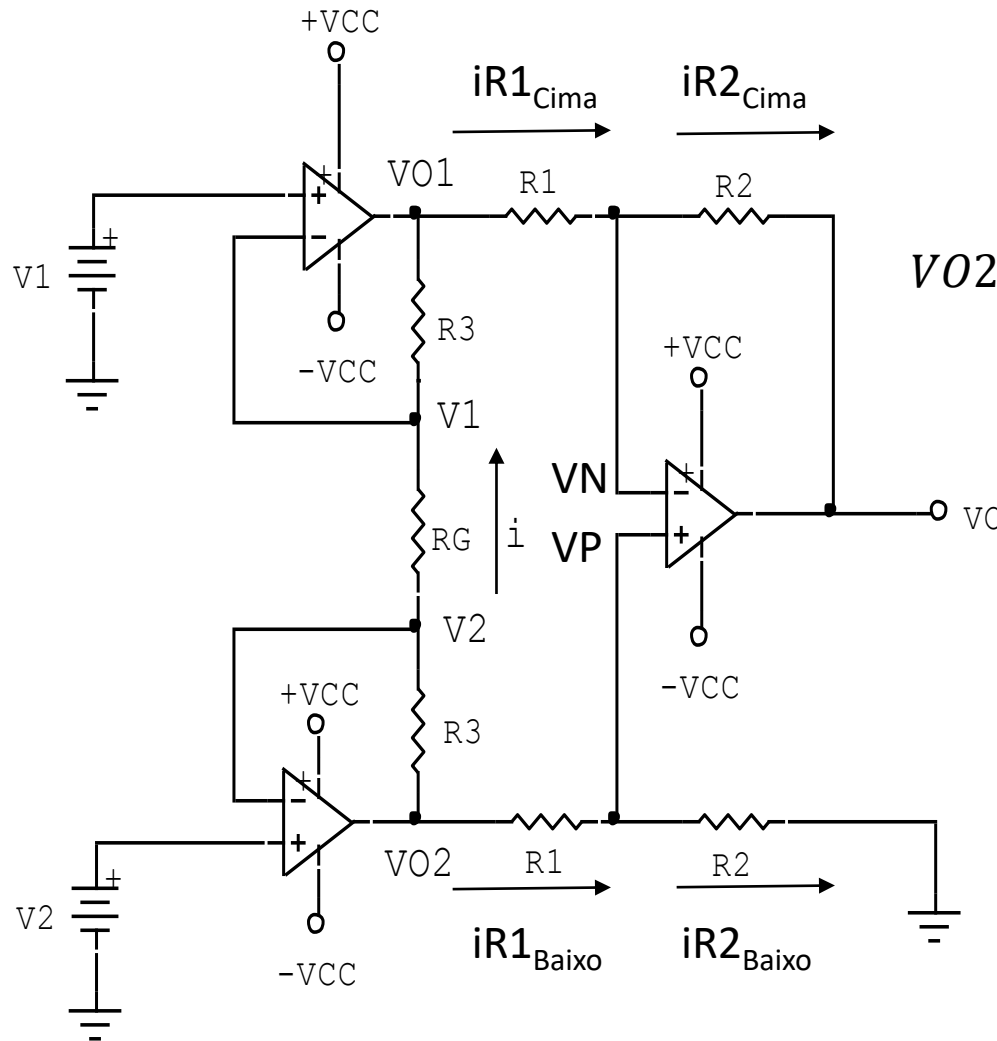
$$V_o = \frac{R2}{R1} (V_{O2} - V_{O1})$$

$$V_{O2} - V_{O1} = (V_2 - V_1) \frac{(2xR3 + RG)}{RG}$$

ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

- Amplificador de Instrumentação:



$$V_o = \frac{R2}{R1} (VO2 - VO1)$$

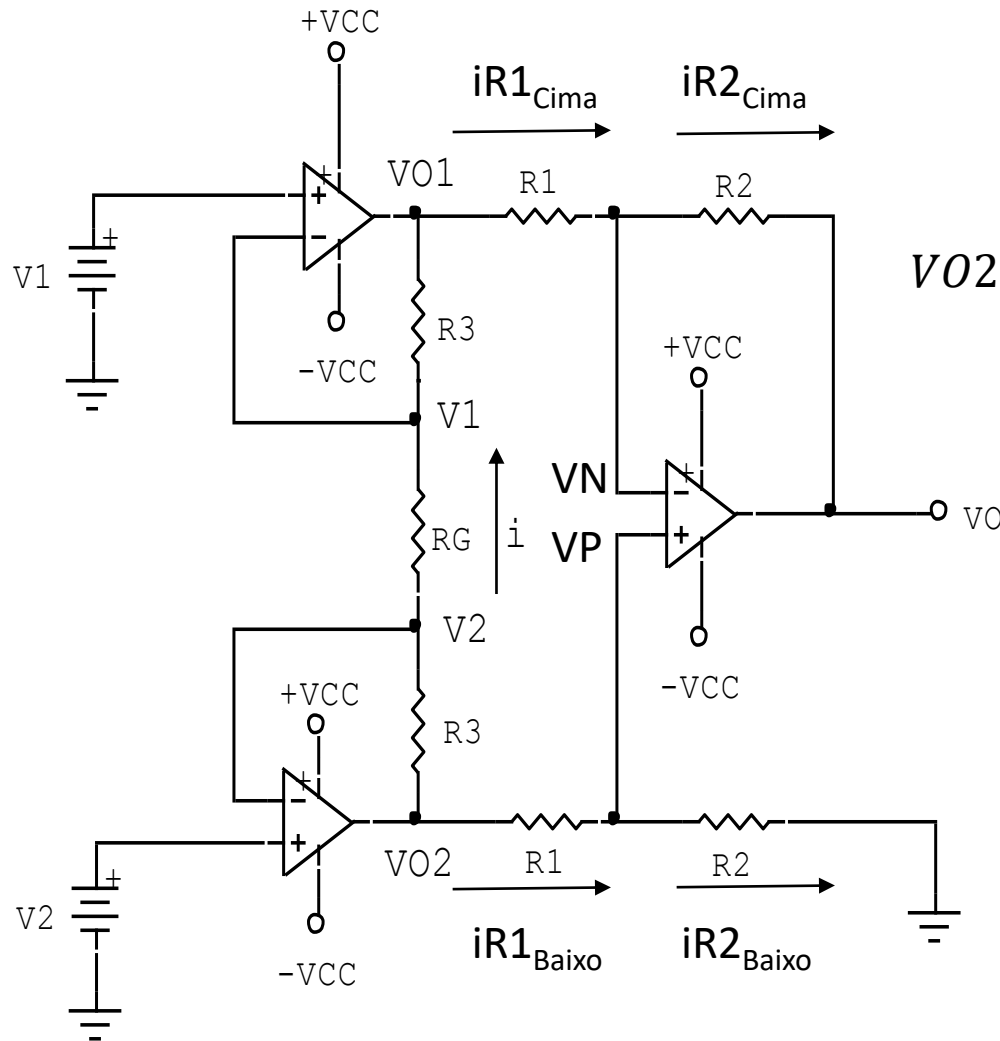
$$VO2 - VO1 = (V2 - V1) \frac{(2xR3 + RG)}{RG}$$

$$V_o = \frac{R2}{R1} \cdot (V2 - V1) \frac{(2xR3 + RG)}{RG}$$

ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

- Amplificador de Instrumentação:



$$V_o = \frac{R2}{R1} (VO2 - VO1)$$

$$VO2 - VO1 = (V2 - V1) \frac{(2xR3 + RG)}{RG}$$

$$V_o = \frac{R2}{R1} \cdot (V2 - V1) \frac{(2xR3 + RG)}{RG}$$

$$V_o = \frac{R2}{R1} \cdot (V2 - V1) \left(\frac{2xR3}{RG} + 1 \right)$$

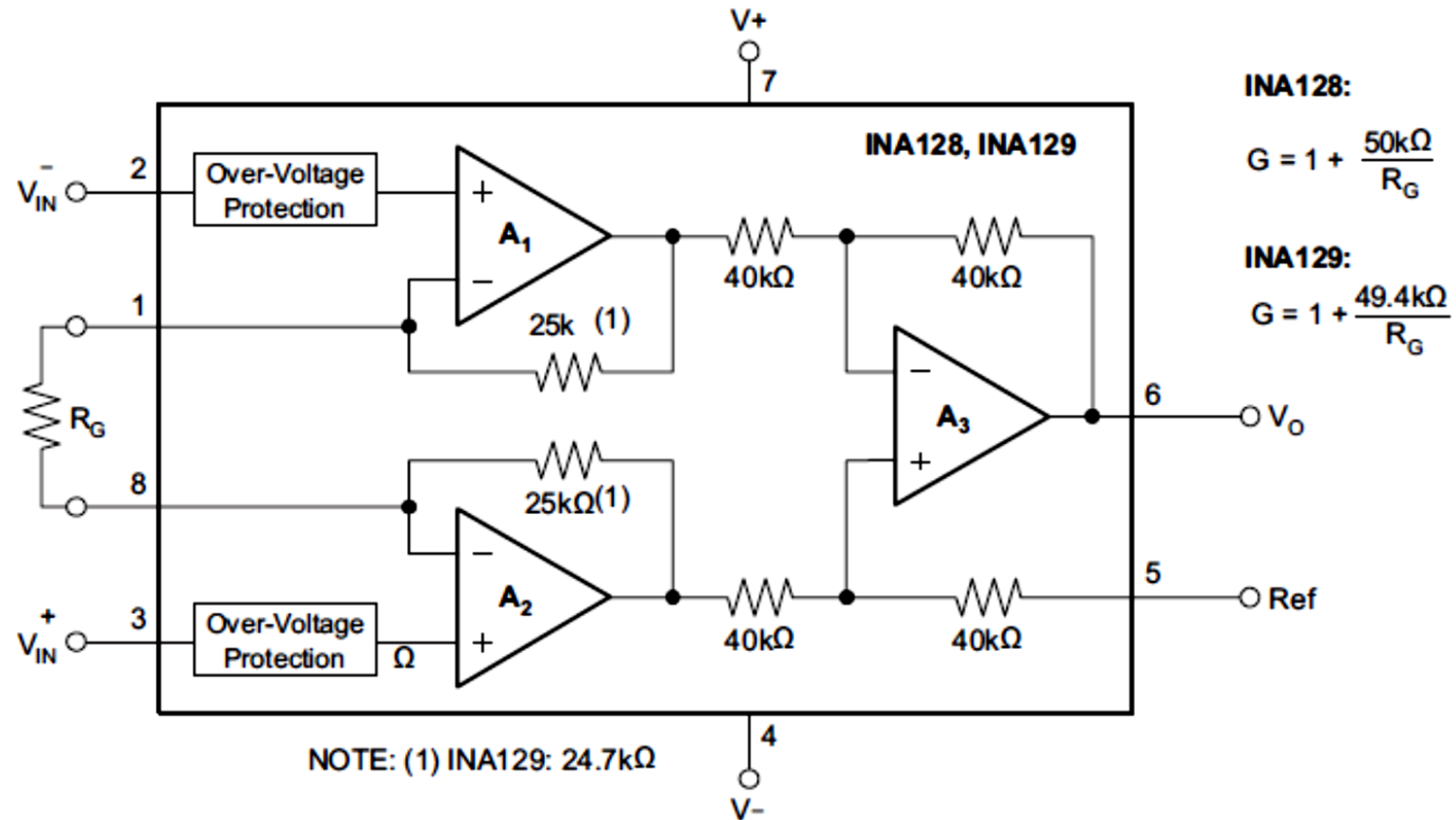
Para $R2 = R1$:

$$V_o = \left(1 + \frac{2xR3}{RG} \right) \cdot (V2 - V1)$$

ELETRÔNICA BÁSICA

Amplificador Operacional

- Amplificador de Instrumentação: INA129



$$V_o = G.(V_{in}^{+} - V_{in}^{-})$$