



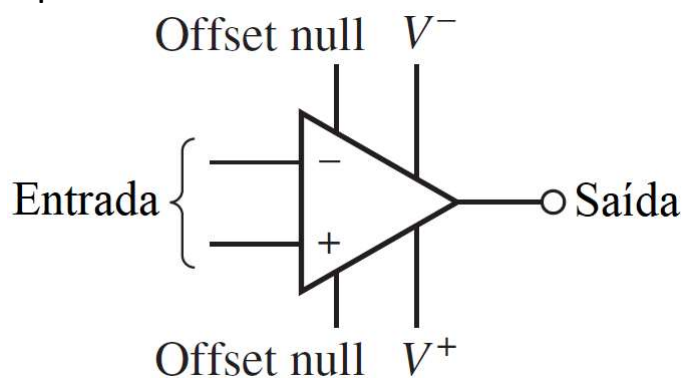
SEL0301 – Circuitos Elétricos I

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação
Prof. Rogério Andrade Flauzino

terça-feira, 4 de maio de 2021

1.1 – Amplificador Operacional

- O amplificador operacional, op-amp, é um elemento eletrônico e possui uma operação que pode se dar em uma faixa linear.

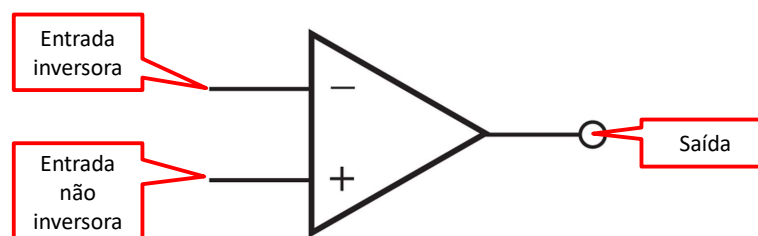


1.1 – Amplificador Operacional

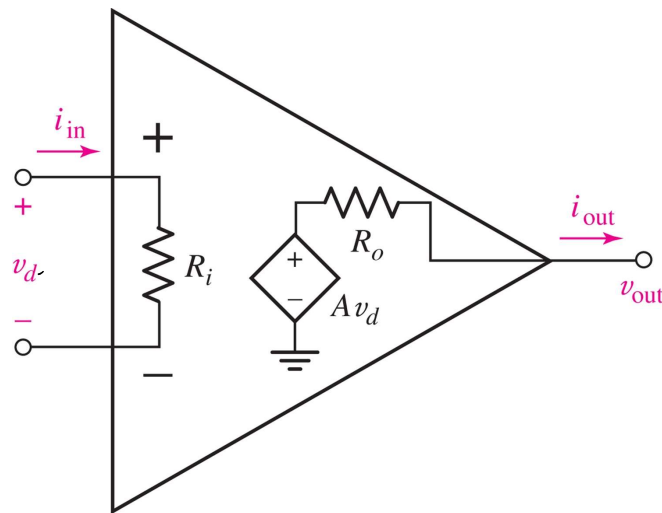
- O amplificador operacional é um elemento ativo, ou seja, recebe alimentação externa.
- A alimentação é feita por meio dos terminais V^+ e V^-
- A alimentação do op-amp é fator de restrição da saída, ou seja, a faixa de valores da saída estará entre V^- e V^+ .
- Dentro dessa faixa de valores o op-amp estará operando dentro da região linear e atuando como amplificador.

1.1 – Amplificador Operacional

- Esquemáticamente é representado da seguinte maneira:



1.2 – Circuito Eléctrico Equivalente



1.2 – Circuito Eléctrico Equivalente

Valores típicos

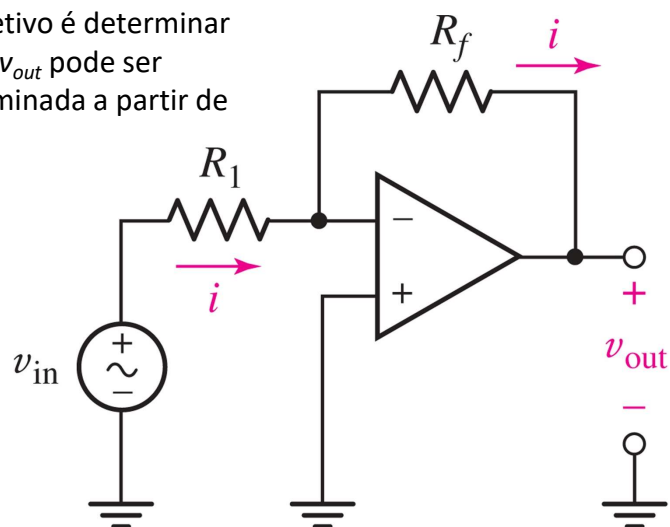
Part Number	$\mu A741$	LM324	LF411	AD549K	OPA690
Description	General purpose	Low-power quad	Low-offset, low-drift JFET input	Ultralow input bias current	Wideband video frequency op amp
Open loop gain A	2×10^5 V/V	10^5 V/V	2×10^5 V/V	10^6 V/V	2800 V/V
Input resistance	2 M Ω	*	1 T Ω	10 T Ω	190 k Ω
Output resistance	75 Ω	*	~ 1 Ω	~ 15 Ω	*
Input bias current	80 nA	45 nA	50 pA	75 fA	3 μ A
Input offset voltage	1.0 mV	2.0 mV	0.8 mV	0.150 mV	± 1.0 mV
CMRR	90 dB	85 dB	100 dB	100 dB	65 dB
Slew rate	0.5 V/ μ s	*	15 V/ μ s	3 V/ μ s	1800 V/ μ s

1.3 – Op-Amp Ideal

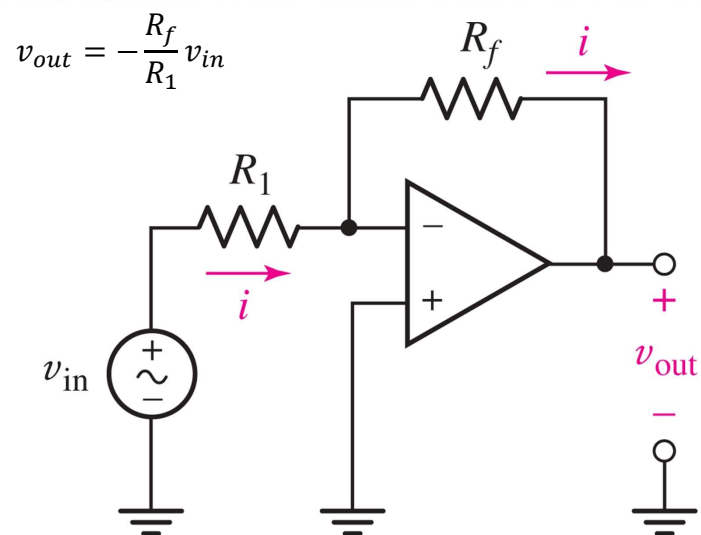
- O amplificador operacional ideal possui os seguintes atributos:
 - Resistência de entrada: Infinita
 - Ganho: Infinito
 - Resistência de saída: Zero

1.4 – Amplificador Inversor

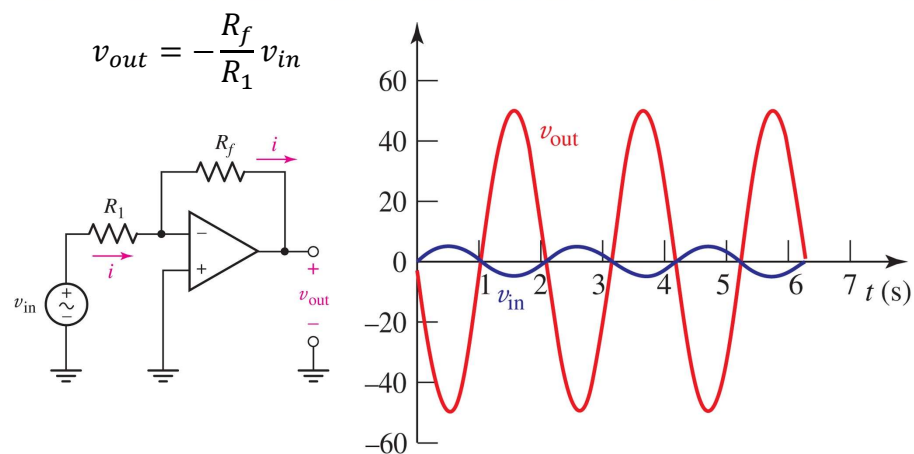
O objetivo é determinar como v_{out} pode ser determinada a partir de v_{in} .



1.4 – Amplificador Inversor

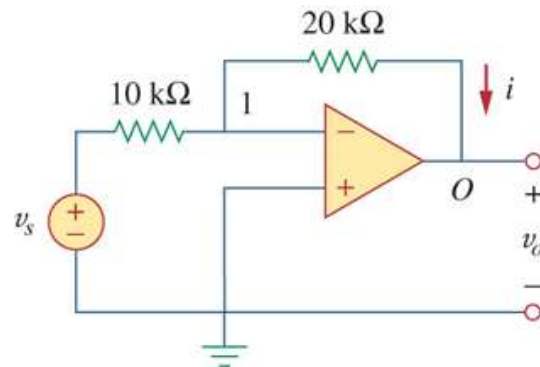


1.4 – Amplificador Inversor



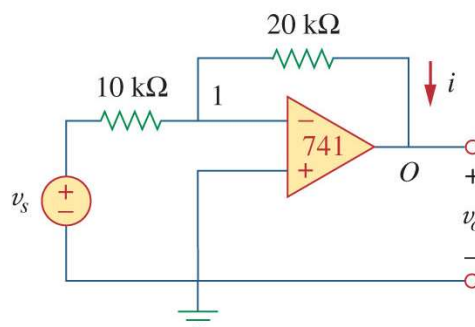
1.4 – Amplificador Inversor

Exemplo: Determinar o ganho do seguinte amplificador:



1.4 – Amplificador Inversor

Exemplo: Determinar o ganho do seguinte amplificador considerando que o amp-op é um LM741



Part Number

μA741

Description

General purpose

Open loop gain A

2×10^5 V/V

Input resistance

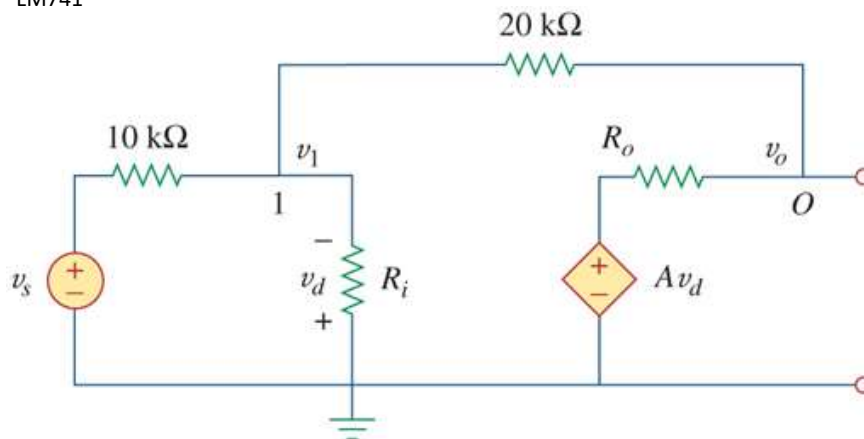
2 MΩ

Output resistance

75 Ω

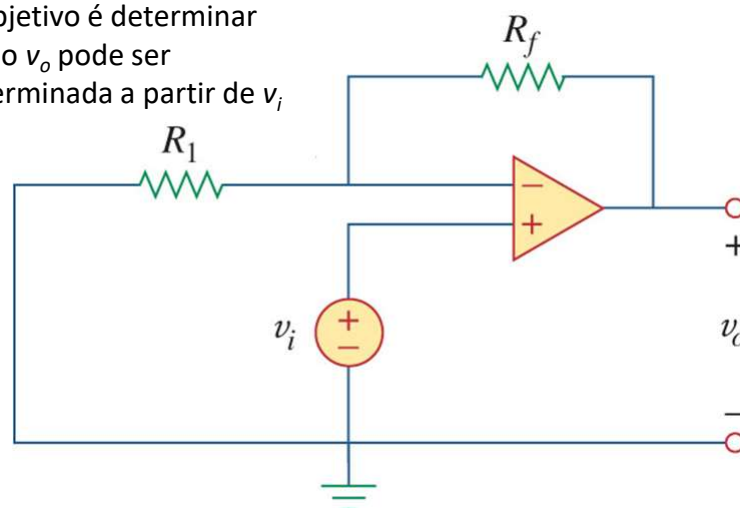
1.4 – Amplificador Inversor

Exemplo: Determinar o ganho do seguinte amplificador considerando que o amp-op é um LM741

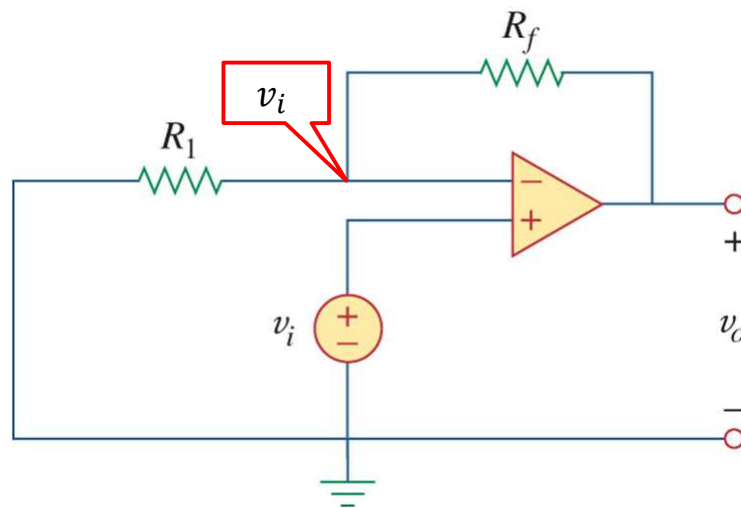


1.5 – Amplificador Não-Inversor

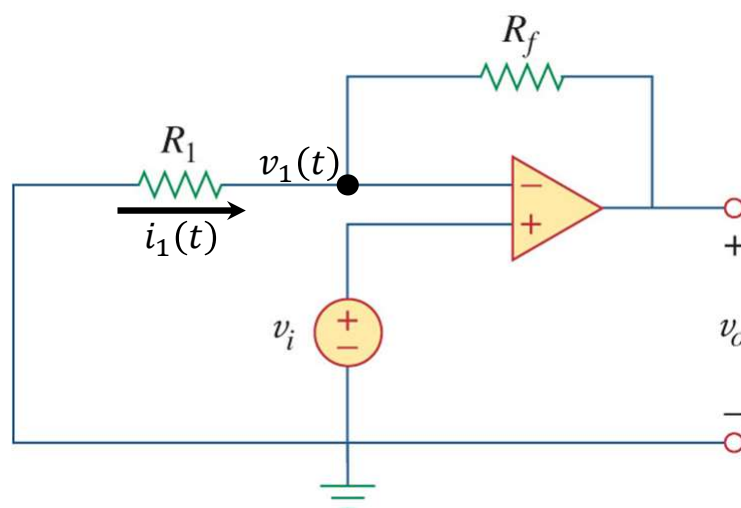
O objetivo é determinar como v_o pode ser determinada a partir de v_i



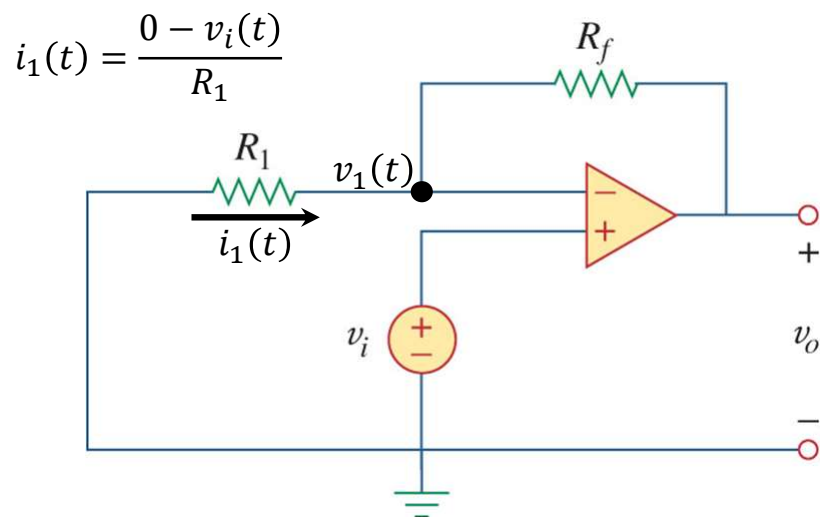
1.5 – Amplificador Não-Inversor



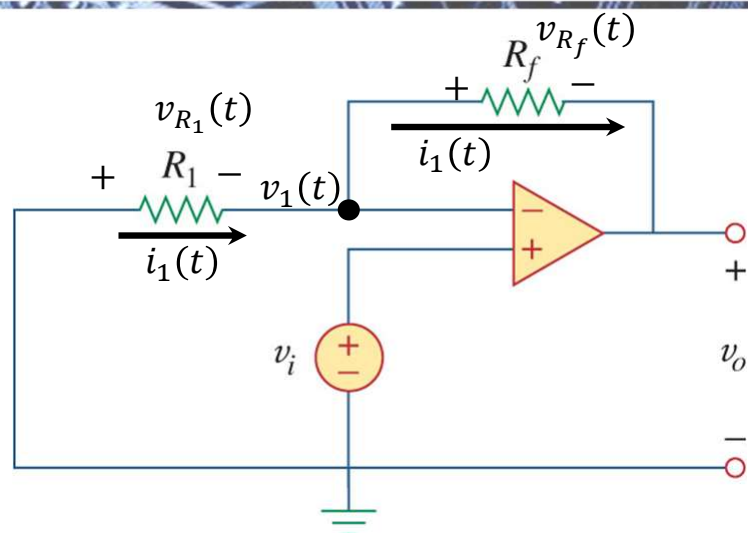
1.5 – Amplificador Não-Inversor



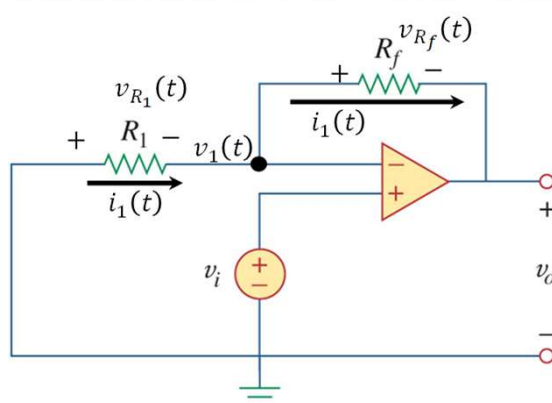
1.5 – Amplificador Não-Inversor



1.5 – Amplificador Não-Inversor



1.5 – Amplificador Não-Inversor

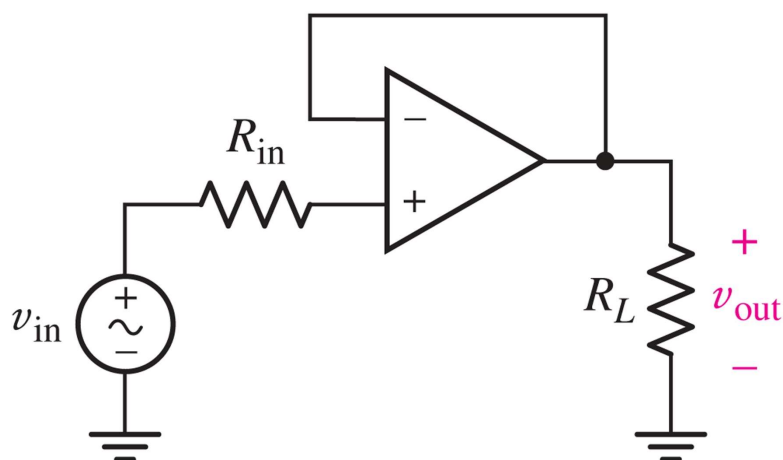


$$\begin{aligned}
 v_{R_1}(t) + v_{R_f}(t) + v_o(t) &= 0 \\
 R_1 i_1(t) + R_f i_1(t) + v_o(t) &= 0 \\
 (R_1 + R_f) i_1(t) + v_o(t) &= 0 \\
 -\frac{R_1 + R_f}{R_1} v_i(t) + v_o(t) &= 0 \\
 v_o(t) &= \frac{R_1 + R_f}{R_1} v_i(t) \\
 \frac{v_o(t)}{v_i(t)} &= \frac{R_1 + R_f}{R_1} \\
 \frac{v_o(t)}{v_i(t)} &= 1 + \frac{R_f}{R_1}
 \end{aligned}$$

$$\frac{v_o(t)}{v_i(t)} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

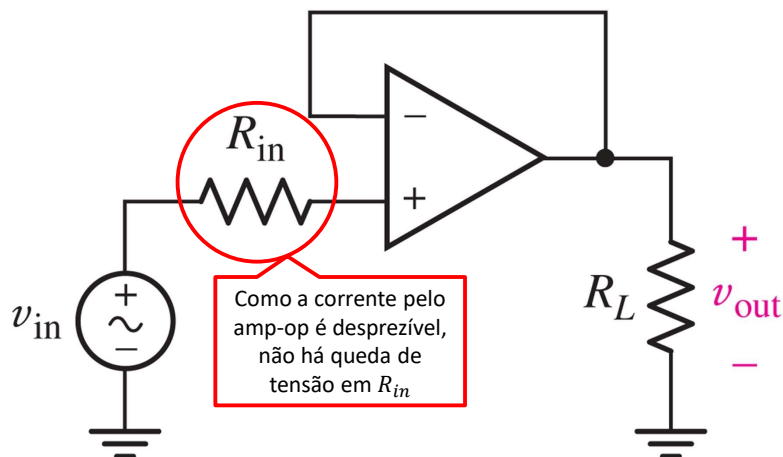
1.5 – Amplificador Não-Inversor

Amplificador seguidor de tensão ou amplificador com ganho unitário.



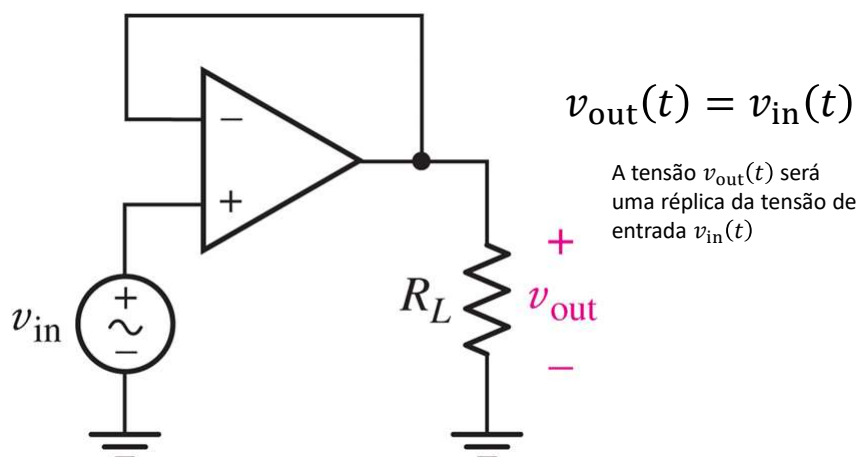
1.5 – Amplificador Não-Inversor

Amplificador seguidor de tensão ou amplificador com ganho unitário.

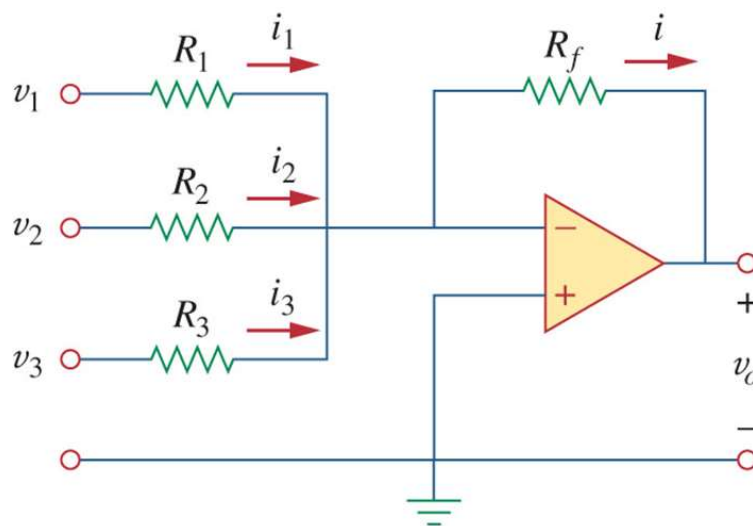


1.5 – Amplificador Não-Inversor

Amplificador seguidor de tensão ou amplificador com ganho unitário.



1.6 – Amplificador Somador



1.6 – Amplificador Somador

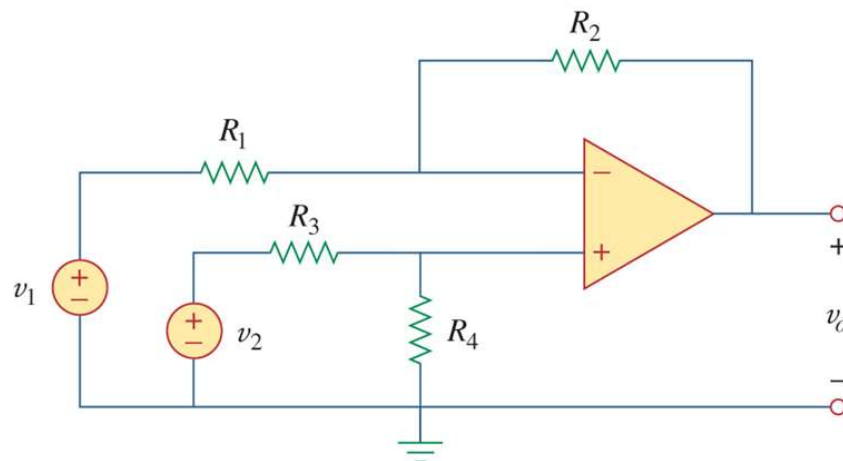
- A corrente que flui por R_f será dada por:

$$i = \frac{v_1 - 0}{R_1} + \frac{v_2 - 0}{R_2} + \frac{v_3 - 0}{R_3}$$

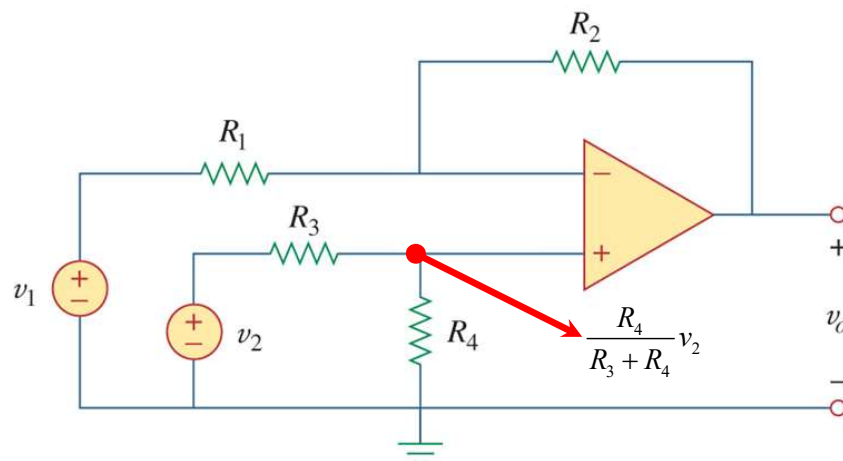
- E a tensão v_o será portanto:

$$v_o = -R_f \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} \right)$$

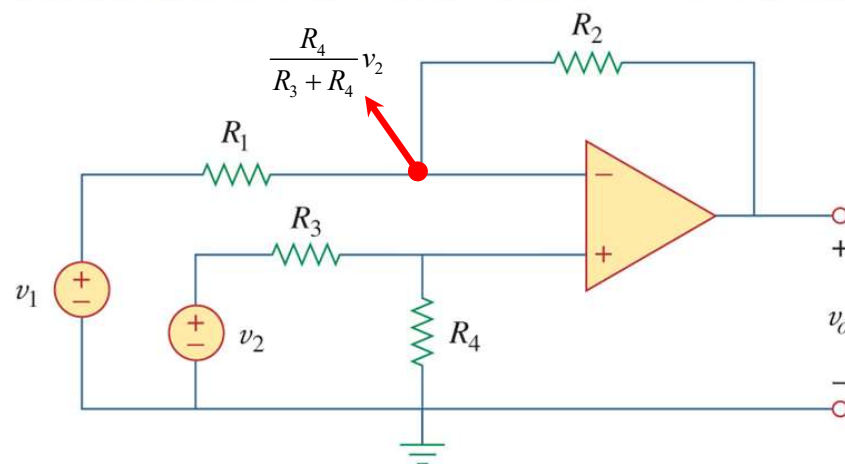
1.6 – Amplificador da Diferença



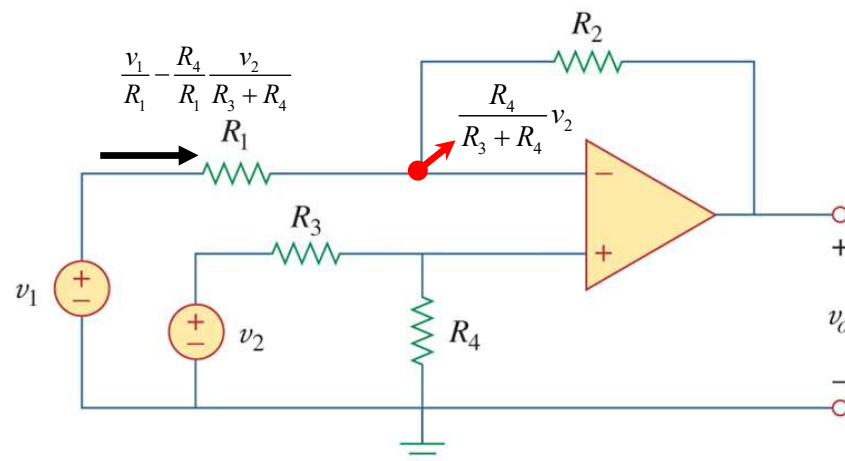
1.6 – Amplificador da Diferença



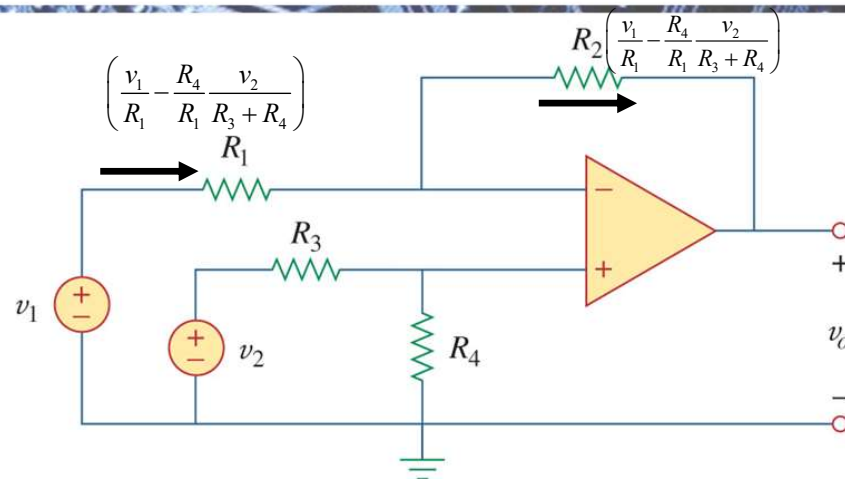
1.6 – Amplificador da Diferença



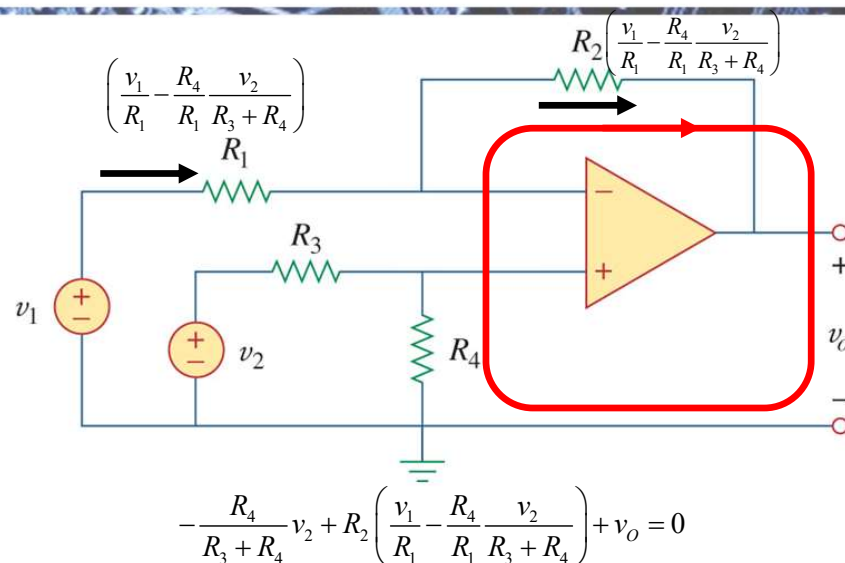
1.6 – Amplificador da Diferença



1.6 – Amplificador da Diferença



1.6 – Amplificador da Diferença



1.6 – Amplificador da Diferença

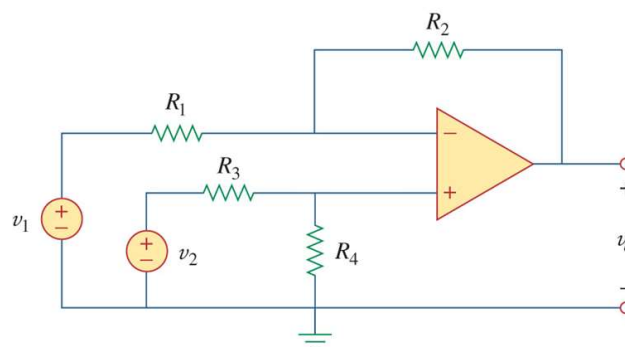
$$-\frac{R_4}{R_3 + R_4}v_2 + R_2 \left(\frac{v_1}{R_1} - \frac{R_4}{R_1} \frac{v_2}{R_3 + R_4} \right) + v_o = 0$$

$$-\frac{R_4}{R_3 + R_4}v_2 + v_1 \frac{R_2}{R_1} - \frac{R_2 R_4}{R_1} \frac{v_2}{R_3 + R_4} + v_o = 0$$

$$-\frac{R_4}{R_3 + R_4}v_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + v_1 \frac{R_2}{R_1} + v_o = 0$$

$$v_o = v_2 \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} - v_1 \frac{R_2}{R_1}$$

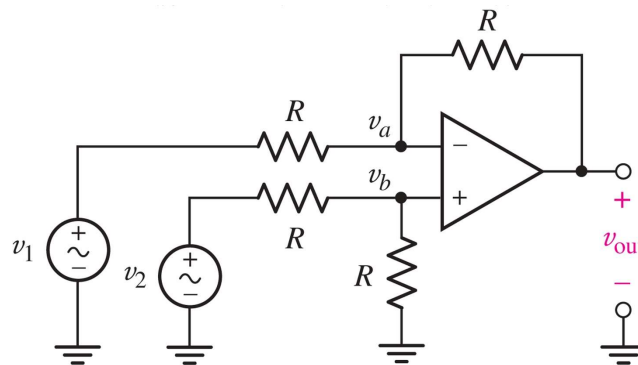
1.6 – Amplificador da Diferença



$$v_o = \frac{R_2 (1 + R_1/R_2)}{R_1 (1 + R_3/R_4)} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

1.6 – Amplificador da Diferença

Rejeição de Modo Comum



$$v_o = v_2 - v_1$$

1.6 – Amplificador da Diferença

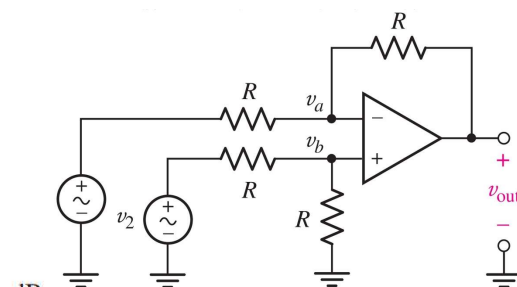
Rejeição de Modo Comum

$$v_1 = v_2 = v_{CM}$$

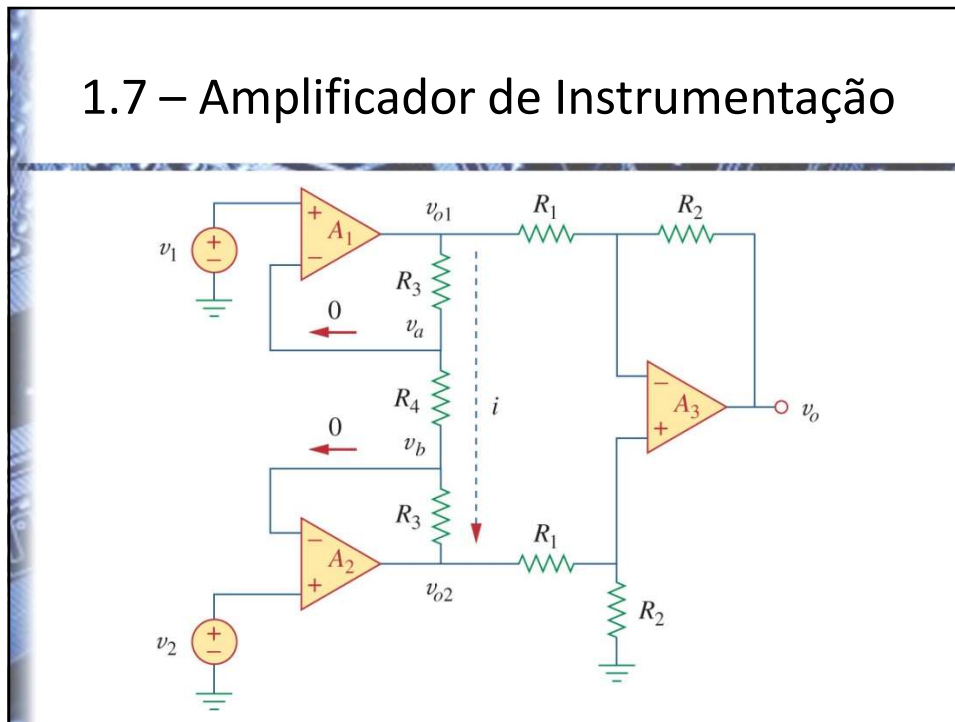
$$A_{CM} = \left| \frac{v_{oCM}}{v_{CM}} \right|$$

$$CMRR \equiv \left| \frac{A}{A_{CM}} \right|$$

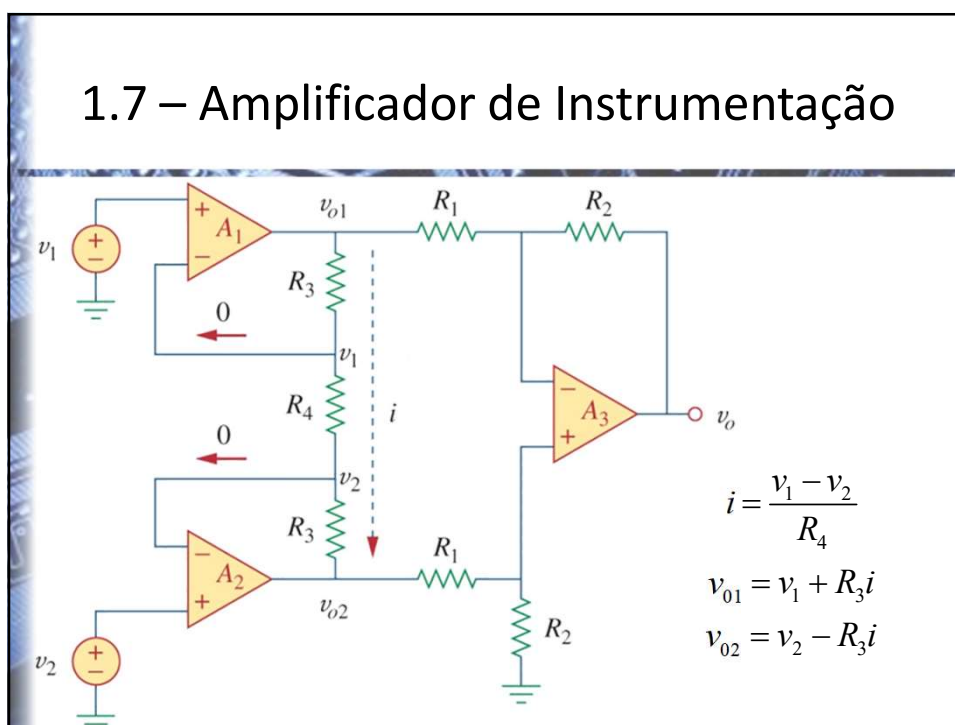
$$CMRR_{(dB)} \equiv 20 \log_{10} \left| \frac{A}{A_{CM}} \right| \text{ dB}$$



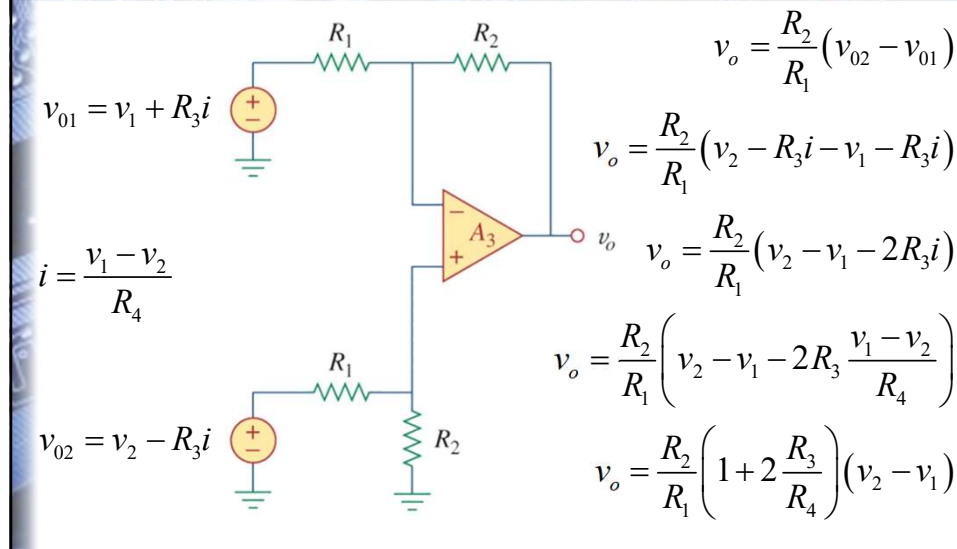
1.7 – Amplificador de Instrumentação



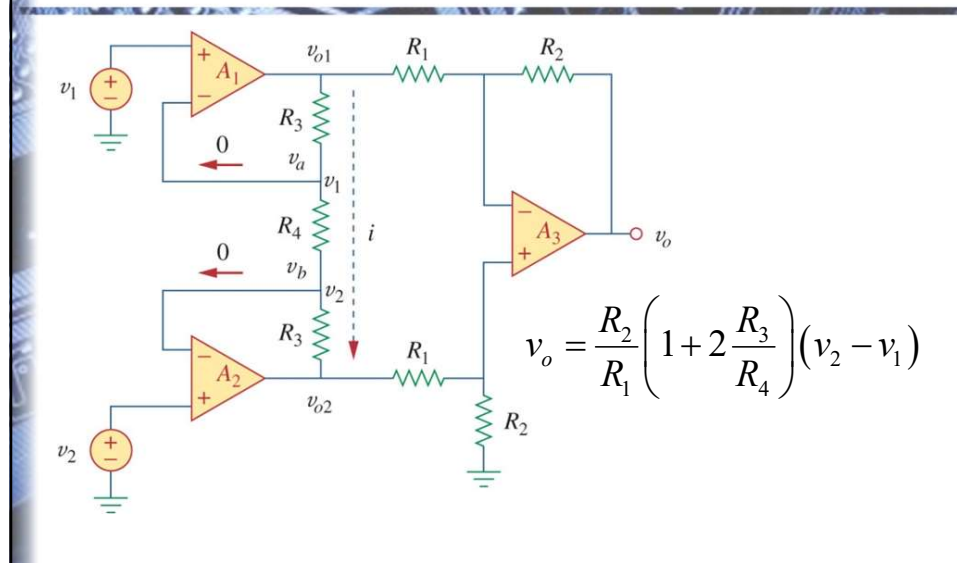
1.7 – Amplificador de Instrumentação



1.7 – Amplificador de Instrumentação



1.7 – Amplificador de Instrumentação

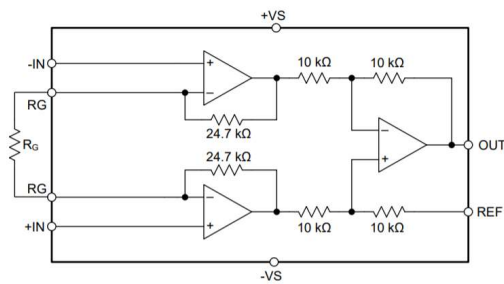


1.7 – Amplificador de Instrumentação



TEXAS
INSTRUMENTS

INA821



$$G = \frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \left(1 + 2 \frac{24.7 \text{ k}\Omega}{R_G} \right)$$

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

