



1	
2	
3	
4	
5	

Aluno:

Aula Teórica #16

Disciplina:

EEL315 — Eletrônica I

Turma:

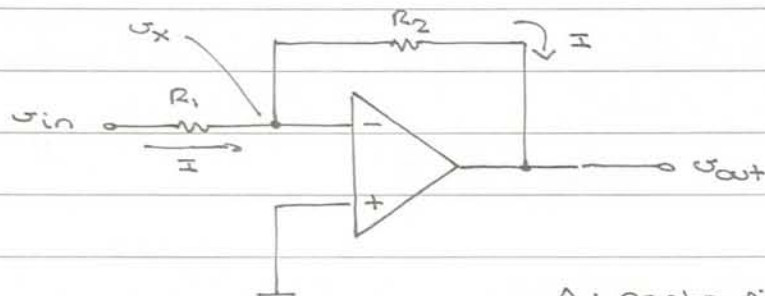
Professor:

José Gabriel

9.2 Amp Op não-Ideal

Estudaremos as características não-ideais do amp op através de cinco exemplos.

Exemplo: amp op com ganho A finito, sendo usado em configuração inversora:



A : ganho finito

$$V_{out} = -A v_x \implies v_x = -V_{out}/A \implies I = \frac{v_{in} + \frac{V_{out}}{A}}{R_1}$$

E também sabemos que $V_{out} = v_x - R_2 I$. Então:

$$V_{out} = -\frac{V_{out}}{A} - R_2 \left(\frac{v_{in} + \frac{V_{out}}{A}}{R_1} \right) \implies V_{out} \left(1 + \frac{1}{A} + \frac{R_2 \cdot 1}{R_1 \cdot A} \right) = -\frac{R_2 v_{in}}{R_1}$$

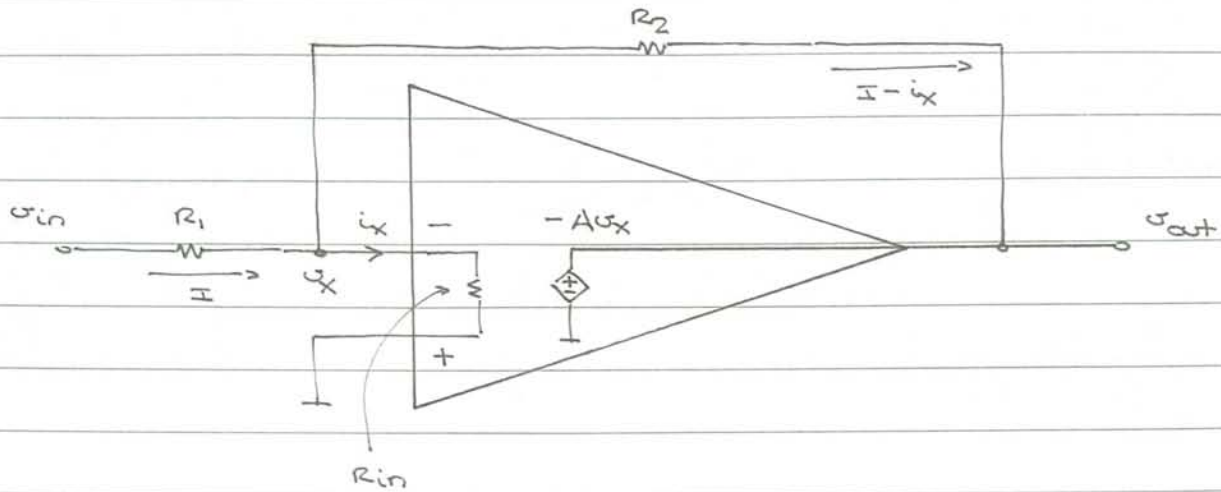
$$\boxed{\frac{V_{out}}{v_{in}} = \frac{-R_2/R_1}{1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) / A}}$$

Obs.: note que $\lim_{A \rightarrow \infty} \frac{V_{out}}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$

Exemplo: ganho A finito e impedância de entrada R_{in} finita.

Continua na página seguinte...

Exemplo: ganho A finito e impedância de entrada R_{in} finita:



$$V_{out} = v_x - R_2(I - i_x), \text{ onde } i_x = \frac{-V_{out}}{A \cdot R_{in}}$$

$$V_{out} = \frac{-V_{out}}{A} - R_2 \left(\frac{v_{in} - V_{out}}{R_1} + \frac{V_{out}}{A \cdot R_{in}} \right)$$

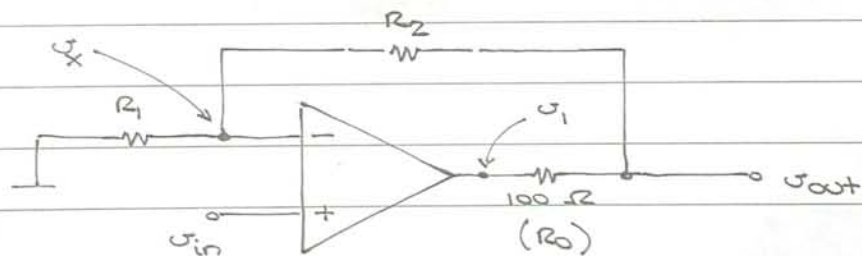
$$V_{out} \left(1 + \frac{1}{A} + \frac{R_2}{A \cdot R_1} + \frac{R_2}{A \cdot R_{in}} \right) = \frac{-R_2}{R_1} v_{in}$$

$$\frac{V_{out}}{v_{in}} = \frac{\frac{-R_2}{R_1}}{1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_{in}} \right) \frac{1}{A}}$$

Obs.: $\lim_{A \rightarrow \infty} \frac{V_{out}}{v_{in}} = \frac{-R_2}{R_1}$

(mesmo com R_{in} finito)

Exemplo: ganho A infinito e $R_o \neq 0$, configuração não-inversora:



$$v_x = v_{in} \left(\text{porque } \lim_{A \rightarrow \infty} \frac{v_1}{A} = 0 \right)$$

$$V_{out} = v_x + \frac{R_2}{R_1} v_x = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_{in} \Rightarrow \frac{V_{out}}{v_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Obs.: como no caso ideal

com $R_o = 0$.

Se $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$: $\frac{V_{out}}{V_{in}} = 2$

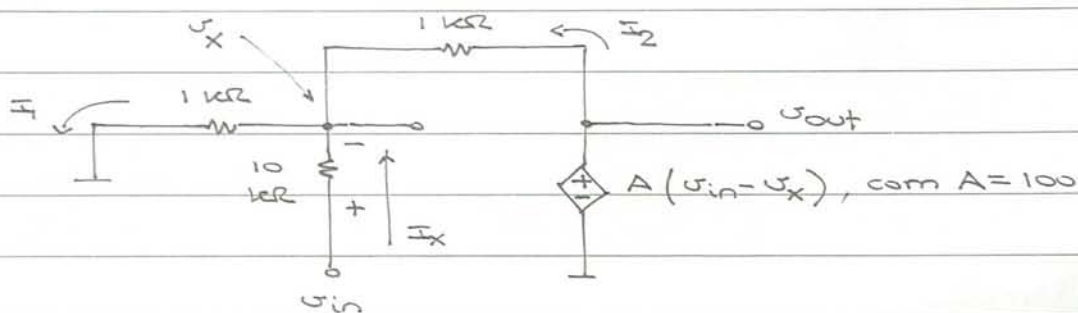
Que diferença, então, $R_0 = 100 \Omega$ faz? Resposta: o amp op estabelece $V_1 > V_{out}$, de modo a entregar a saída V_{out} necessária. Por exemplo, mantendo $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, temos: $\frac{V_1 - V_{out}}{100} = \frac{V_{in}}{1000}$

$$10 V_1 - 10 V_{out} = V_{in}$$

$$V_1 = \frac{10 V_{out} + V_{in}}{10} = V_{out} + \frac{V_{in}}{10}$$

$$V_1 = 2.1 V_{in} \quad \left(\text{enquanto que } V_{out} = 2 V_{in} \right)$$

Exemplo: configuração não-inversora, $A = 100$ e $R_{in} = 10 \text{ k}\Omega$:



$$I_x = I_1 - I_2, \text{ então: } \frac{V_{in} - V_x}{10000} = \frac{V_x}{1000} - \frac{(V_{out} - V_x)}{1000}$$

$$V_{in} - V_x = 10 V_x - 10 V_{out} + 10 V_x$$

$$V_{out} = 100 (V_{in} - V_x)$$

$$V_{in} - V_x = 10 V_x - 1000 V_{in} + 1000 V_x + 10 V_x$$

$$1001 V_{in} = 1021 V_x$$

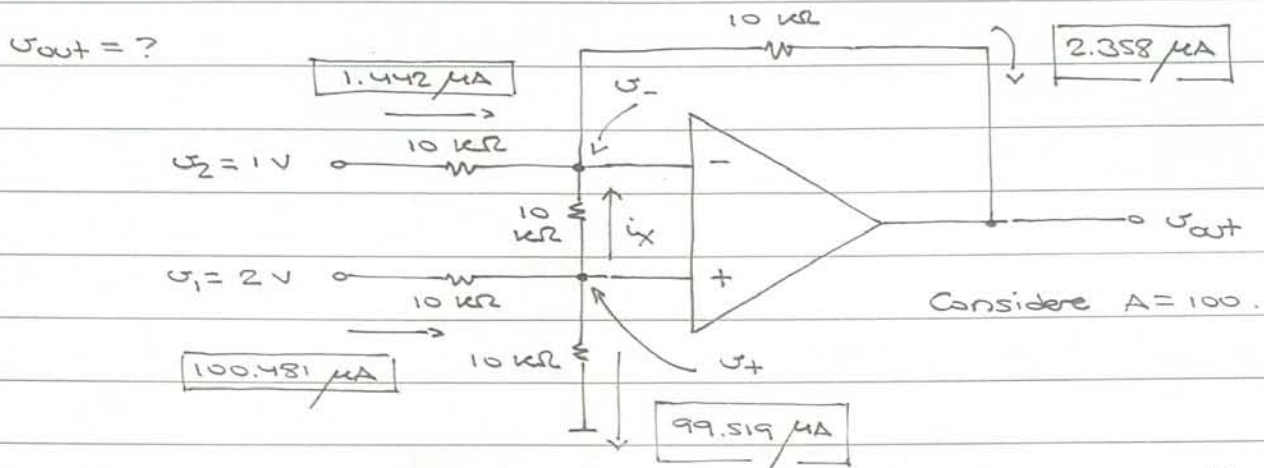
$$V_x = 0.98 V_{in}$$

$$\text{Então: } V_{out} = 100 (V_{in} - 0.98 V_{in})$$

$$\boxed{\frac{V_{out}}{V_{in}} = 1.96}$$

Obs.: idealmente ($R_{in} \rightarrow \infty$ e $A \rightarrow \infty$), teríamos $\frac{V_{out}}{V_{in}} = 2$

Exemplo (opcional) — cálculos usando vetores com quatro variáveis:



Amplificador diferencial baseado em amp op com $R_{in} = 10\text{ k}\Omega$ (desenhada na figura) e $A = 100$.

Vetor de incógnitas:

$$\begin{bmatrix} v_+ \\ v_- \\ i_x \\ v_{out} \end{bmatrix}$$

Análise: $100 v_+ - 100 v_- = v_{out}$ (ganho do amp op)

$$(v_1 - v_+) / 10000 - i_x = v_+ / 10000 \quad (\Sigma \text{ correntes em "+"})$$

$$(v_2 - v_-) / 10000 + i_x = (v_- - v_{out}) / 10000 \quad (\Sigma \text{ correntes em "-"})$$

$$i_x = (v_+ - v_-) / 10000 \quad (\text{equação de } R_{in})$$

" $Ax = b$ " :

$$\begin{bmatrix} 100 & -100 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & 10000 & 0 \\ 0 & 2 & -10000 & -1 \\ 1 & -1 & -10000 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_+ \\ v_- \\ i_x \\ v_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

($v_1 = 2\text{ V}$)
($v_2 = 1\text{ V}$)

Calculando $x = A^{-1}b$, temos: $v_+ = 0.99519\text{ V}$

$$v_- = 0.98558\text{ V}$$

$$i_x = 0.962\text{ }\mu\text{A}$$

$$v_{out} = 0.962\text{ V}$$

Obs.: idealmente,

teríamos $v_{out} = 1\text{ V}$

Há aqui uma

diferença de 3.8%.

$$i_2 = \frac{1 - 0.98558}{10^4} = \frac{14.42 \times 10^{-3}}{10^4} = 14.42 \times 10^{-7} \rightarrow i_2 = 1.442\text{ }\mu\text{A}$$

$$i_{out} = \frac{0.98558 - 0.962}{10^4} = \frac{23.58 \times 10^{-3}}{10^4} = 23.58 \times 10^{-7} \rightarrow i_{out} = 2.358\text{ }\mu\text{A}$$