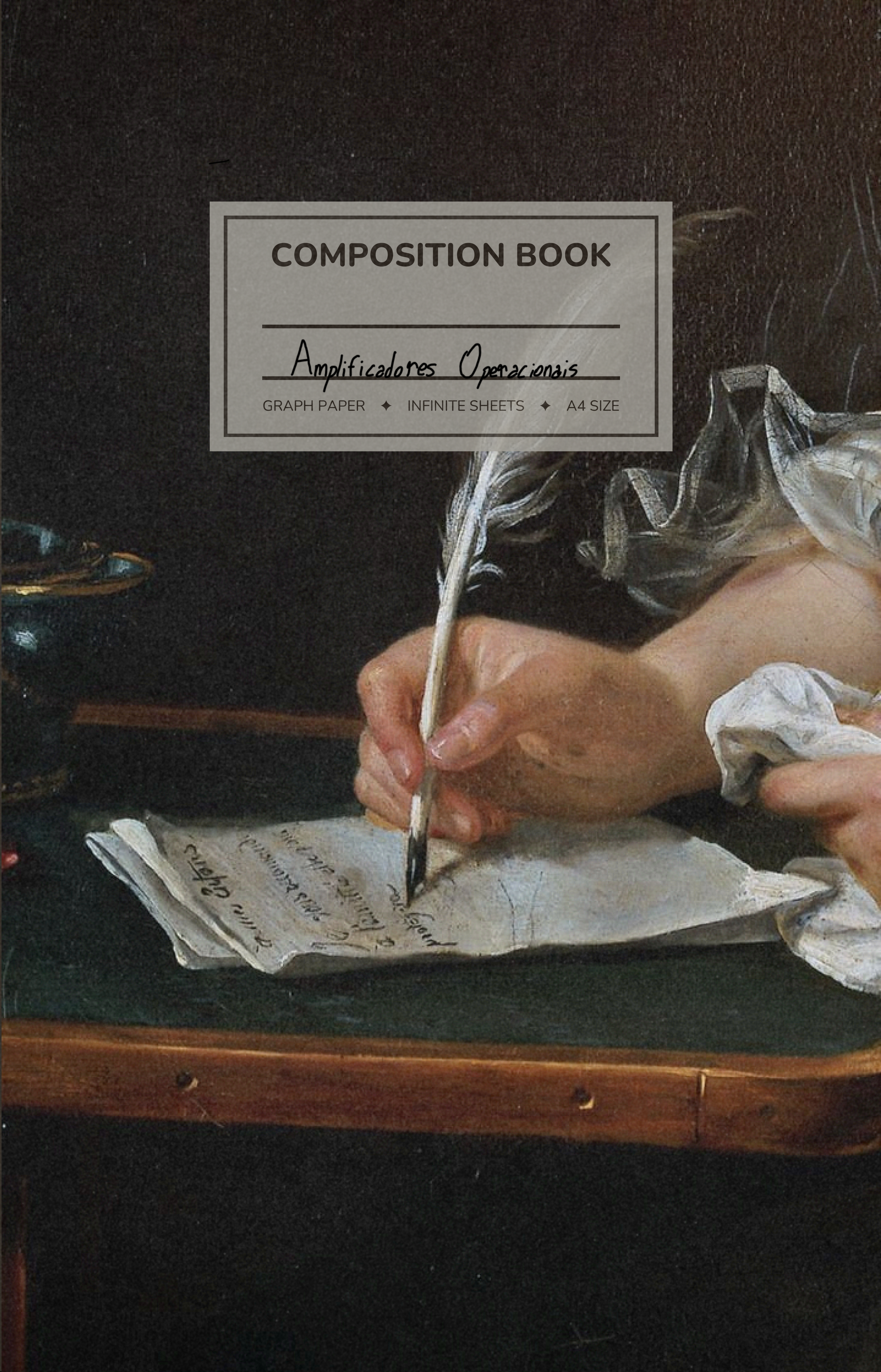
COMPOSITION BOOK

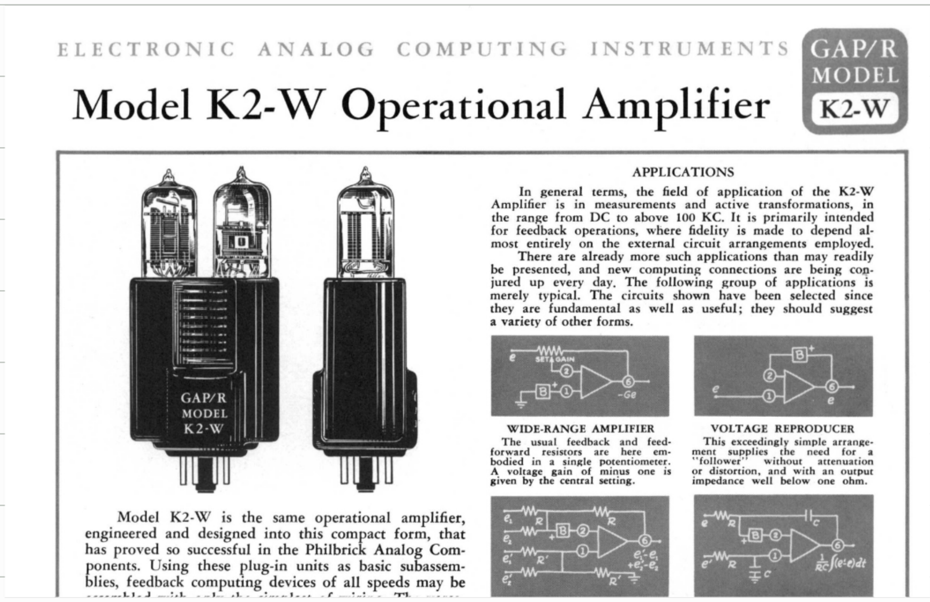
Amplificadores Operacionais

GRAPH PAPER ✦ INFINITE SHEETS ✦ A4 SIZE



O ampop: historia ~~muito~~ resumida

Os primeiros modelos comerciais, voltados, principalmente para aplicações em computadores analógicos, eram valvulados. O modelo ao lado é o GAP/R K2-P



ELECTRONIC ANALOG COMPUTING INSTRUMENTS

GAP/R MODEL K2-W

Model K2-W Operational Amplifier

GAP/R
MODEL
K2-W

Model K2-W is the same operational amplifier, engineered and designed into this compact form, that has proved so successful in the Philbrick Analog Components. Using these plug-in units as basic subassemblies, feedback computing devices of all speeds may be

APPLICATIONS

In general terms, the field of application of the K2-W Amplifier is in measurements and active transformations, in the range from DC to above 100 KC. It is primarily intended for feedback operations, where fidelity is made to depend almost entirely on the external circuit arrangements employed.

There are already more such applications than may readily be presented, and new computing connections are being conjured up every day. The following group of applications is merely typical. The circuits shown have been selected since they are fundamental as well as useful; they should suggest a variety of other forms.

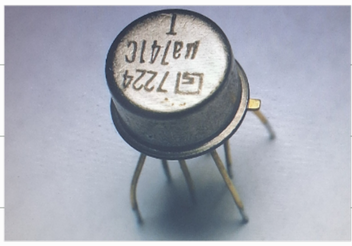
WIDE-RANGE AMPLIFIER

The usual feedback and feedforward resistors are here embodied in a single potentiometer. A voltage gain of minus one is given by the central setting.

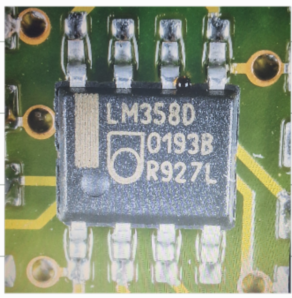
VOLTAGE REPRODUCER

This exceedingly simple arrangement supplies the need for a "follower" without attenuation or distortion, and with an output impedance well below one ohm.

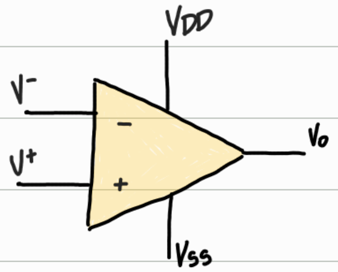
Ao longo dos anos, os ampops foram sendo miniaturizados dando origem, dando origem ao µA702 e µA741, este mostrado ao lado.



Mais a frente, o encapsulamento metalico foi sendo substituido pelo plástico, dando origem aos componentes de hoje.



O ampop: simbologia e primeiros passos



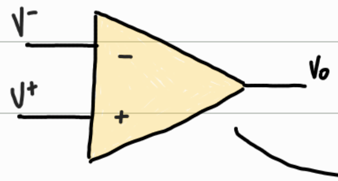
ganho

sinal na porta inversora

$$V_o = A_v (V^+ - V^-)$$

Sinal de saída

sinal na porta não-inversora



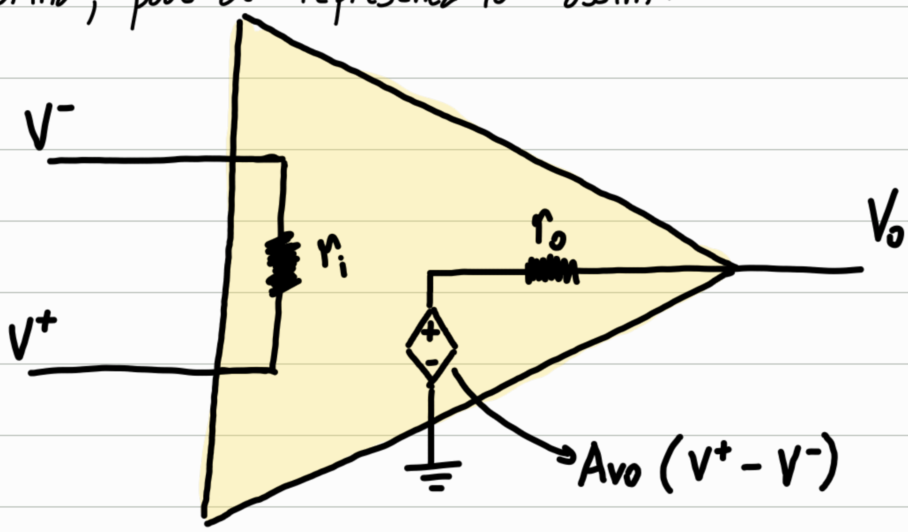
E usualmente, os pinos de alimentação são omitidos nos esquemáticos

Define-se que, para um ampop ideal, tem-se:

1. The voltage gain is infinite—$A_{vo} = \infty$.
2. The input resistance is infinite—$r_{in} = \infty$.
3. The output resistance is zero—$r_o = 0$.

4. The bandwidth is infinite—$BW = \infty$.
5. There is zero input offset voltage—$E_o = 0$ if $E_{in} = 0$.

Dessa forma, pode-se representa-lo assim:



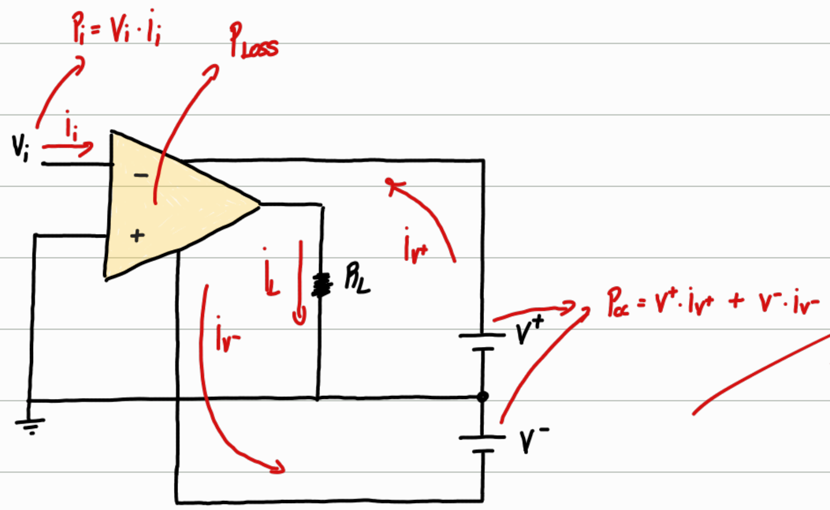
É usual representarmos o seu ganho de tensão, mas pode-se calcular seu ganho de corrente e potência, também. E, por vezes, pode-se desejar representá-lo numa escala logarítmica:

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \qquad A_i = \frac{i_o}{i_i} \qquad A_p = \frac{P_o}{P_i}$$

$$A_V(dB) = 20 \log|A_V| \ dB \qquad A_i(dB) = 20 \log|A_i| \ dB \qquad A_p(dB) = 20 \log|A_p| \ dB$$

também é igual a $A_V \cdot A_i$

Portanto, deves ter percebido, até o momento, que a potencia entregue à carga será maior do que a potencia fornecida em sua entrada. Como isso é possível?

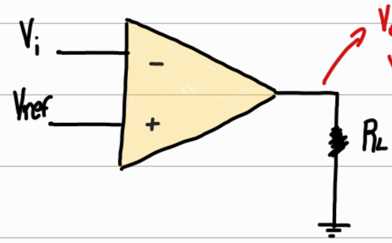


Como a potência entregue pela fonte de sinal é pequena, usualmente define-se a eficiência da seguinte forma:

$$\eta = \frac{P_L}{P_{cc}} \cdot 100$$

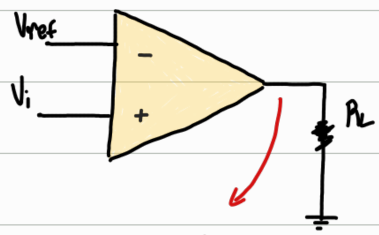
O comparador inversor e não-inversor

Comparador inversor



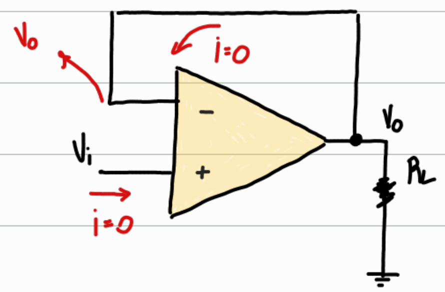
$V_o \approx +V$, quando $V_i < V_{ref}$
$V_o \approx -V$, quando $V_i > V_{ref}$

Comparador não-inversor



$V_o \approx -V$, quando $V_i < V_{ref}$
$V_o \approx +V$, quando $V_i > V_{ref}$

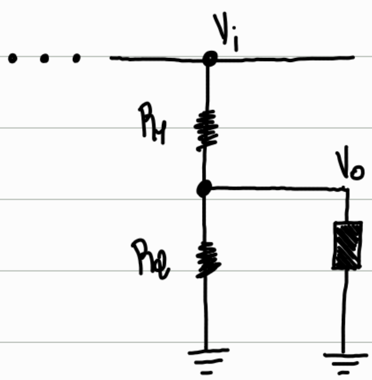
O buffer



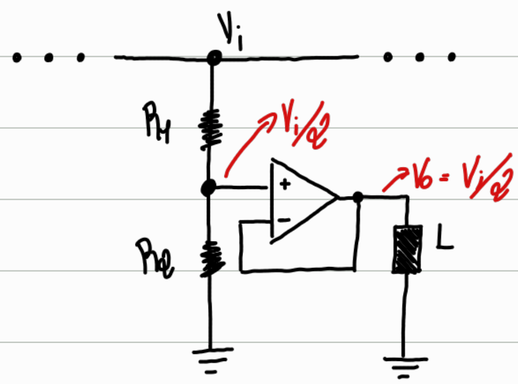
Considerando que $V^+ \approx V^-$, então temos que $V_i \approx V_o$. Consequentemente

$$A_V \approx \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_o} = 1$$

Isso é útil em ocasiões onde não queremos que um sinal de ref. seja degradado ao ser acoplado a outro circuito. Ex.:



L, o qual tem um R_{eq}



Se $R_1 = R_2$, então V_o deveria ser igual a $V_i/2$. No entanto isto não acontece. L possui uma R_{eq} que pode e irá interferir no divisor resistivo. V_o será, supondo que $R_{eq} = R_1 = R_2 = R$:

$$V_o = \frac{V_i \cdot \frac{R}{2}}{R + \frac{R}{2}} = \frac{V_i \cdot \cancel{\frac{R}{2}}}{\frac{3\cancel{R}}{\cancel{2}}} = \frac{V_i}{3}$$

Nesse caso, não há problema.

Exercícios

1) **TODO**

1.1) Assuma que um ampop tenha um ganho em aberto de 100.000. Se a entrada no terminal inversor é -3mV e a entrada no terminal não-inversor é +1mV, determine a amplitude da tensão de saída. Comente o resultado final.

1.2) Assuma que um ampop tenha um ganho em aberto de 100.000. Se a entrada no terminal inversor é +4mV e a entrada no terminal não-inversor é +3mV, determine a amplitude da tensão de saída. Comente o resultado final.

1.3) Assuma que um ampop tenha um ganho em aberto de 100.000. Se a entrada no terminal inversor é +5μV e a entrada no terminal não-inversor é +3μV, determine a amplitude da tensão de saída

2) Considere um amplificador operando a partir de fontes de alimentação de ±10 V. Uma tensão senoidal com 1 V de pico está acoplada na entrada e uma tensão senoidal de 9 V de pico fornecida na saída, a uma carga de 1 kΩ. O amplificador drena uma corrente de 9,5 mA de cada uma das fontes de alimentação. A corrente de entrada do amplificador é senoidal, tendo 0,1 mA de pico. Calcule o ganho de tensão, o ganho de corrente, o ganho de potência, a potência drenada da fonte *cc*, a potência dissipada no amplificador e a eficiência.

$$A_v = \frac{9}{1} = 9 \text{ V/V}$$

ou

$$A_v = 20 \log 9 \simeq 19{,}1 \text{ dB}$$

$$\hat{I}_o = \frac{9 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 9 \text{ mA}$$

$$A_i = \frac{\hat{I}_o}{\hat{I}_i} = \frac{9}{0{,}1} = 90 \text{ A/A}$$

ou

$$A_i = 20 \log 90 = 39{,}1 \text{ dB}$$

$$P_L = V_{o_{rms}} I_{o_{rms}} = \frac{9}{\sqrt{2}} \frac{9}{\sqrt{2}} = 40{,}5 \text{ mW}$$

$$P_I = V_{i_{rms}} I_{i_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{0{,}1}{\sqrt{2}} = 0{,}05 \text{ mW}$$

$$A_p = \frac{P_L}{P_I} = \frac{40{,}5}{0{,}05} = 810 \text{ W/W}$$

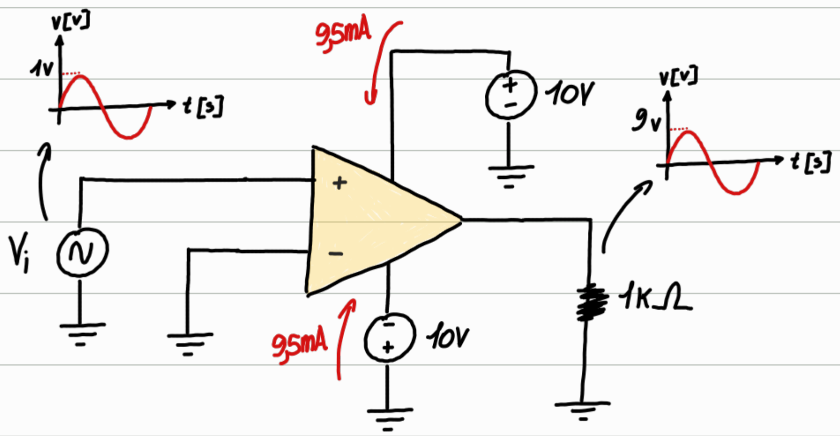
ou

$$A_p = 10 \log 810 = 29{,}1 \text{ dB}$$

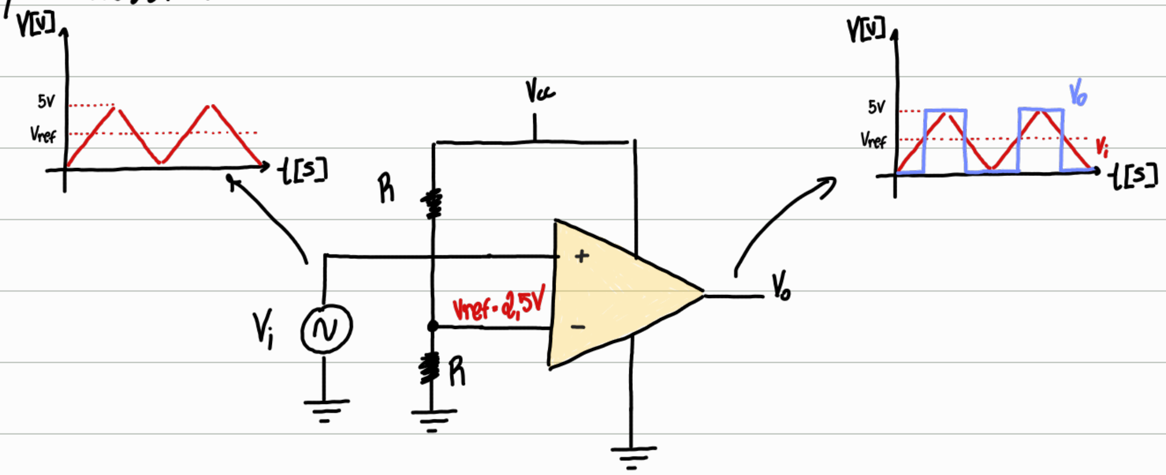
$$P_{cc} = 10 \times 9{,}5 + 10 \times 9{,}5 = 190 \text{ mW}$$

$$P_{\text{dissipada}} = P_{cc} + P_I - P_L = 190 + 0{,}05 - 40{,}5 = 149{,}6 \text{ mW}$$

$$\eta = \frac{P_L}{P_{cc}} \times 100 = 21{,}3\%$$

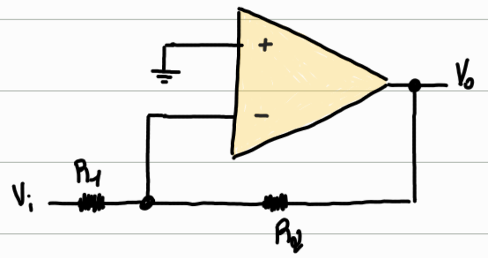


3) Considere o circuito abaixo e responda: a) qual o valor de Vref? b) Como seria o sinal de saída, considerando o sinal de entrada apresentado?

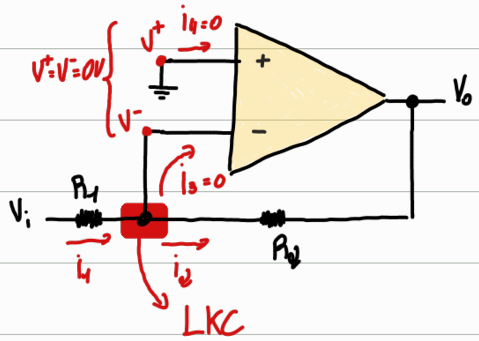


O amplificador inversor e não-inversor

Amplificador inversor



Para o amplificador ao lado, pode-se considerar o ampop como sendo ideal. Fazendo isso, pode-se redesenhar o circuito da seguinte forma:



Percebe-se que podemos aplicar a LKC, onde se $i_3 = 0A$, então $i_1 = i_2$:

$$i_1 = i_2$$

Mas $i_1 = \dfrac{V_i - 0}{R_1}$ e $i_2 = \dfrac{0 - V_o}{R_2}$, então:

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

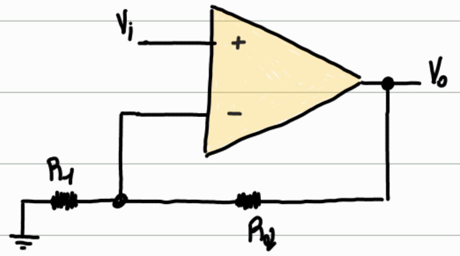
$$\frac{1}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2 \cdot V_i}$$

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

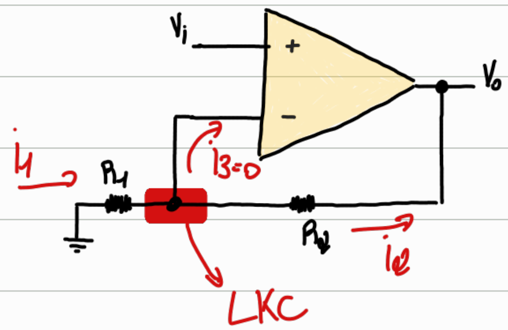
Dessa forma, tem-se:

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

Amplificador não-inversor



A mesma analise será feita com o ampop ao lado, no entanto, iremos perceber que ele não inverte o sinal de entrada



$$i_1 = i_2$$

Mas $i_1 = \frac{0 - V_i}{R_1}$ e $i_2 = \frac{V_i - V_o}{R_2}$, portanto:

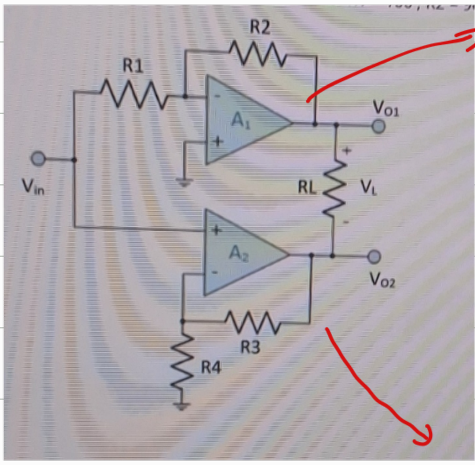
$$-\frac{V_i}{R_1} = \frac{V_i - V_o}{R_2}$$

$$-\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_i - V_o}{V_i} = \underbrace{\frac{\cancel{V_i}}{\cancel{V_i}}}_{1} - \frac{V_o}{V_i} = 1 - \frac{V_o}{V_i}$$

$$-\frac{R_2}{R_1} - 1 = -\frac{V_o}{V_i} \Longrightarrow \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Exercícios

1) Sabendo que $V_{in} = 1V_{rms}$, $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 900\Omega$, $R_3 = 1k\Omega$ e $R_4 = 10k\Omega$, descubra o valor de V_L.



amplificador inv.

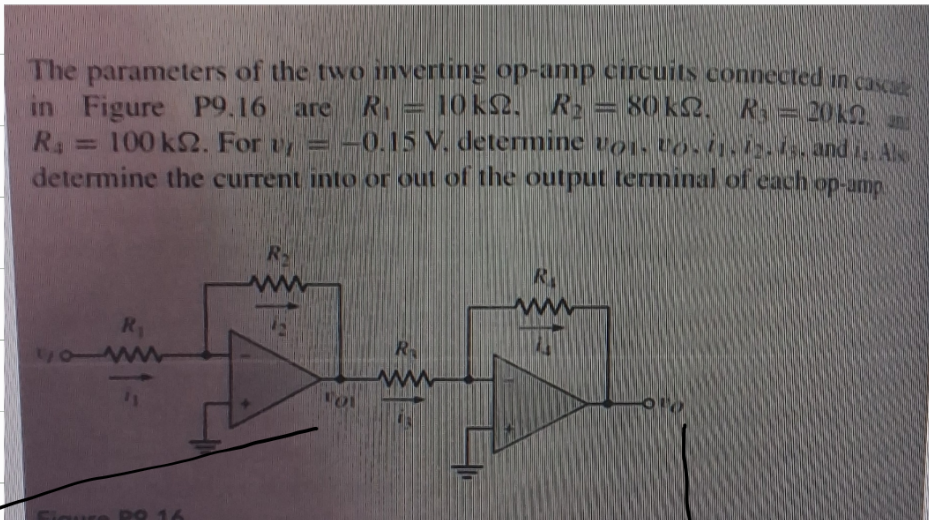
$$V_{o1} = -V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1} = -1 \cdot 9 = -9V$$

$$V_L = V_{o1} - V_{o2} = -9 - (1,1) = -10,1V$$

amplificador não-inv.

$$V_{o2} = V_{in} \cdot \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) = 1 \cdot 1,1 = 1,1V$$

2)



The parameters of the two inverting op-amp circuits connected in cascade in Figure P9.16 are $R_1 = 10\,k\Omega$, $R_2 = 80\,k\Omega$, $R_3 = 20\,k\Omega$, and $R_4 = 100\,k\Omega$. For $v_I = -0.15$ V, determine v_{O1}, v_O, i_1, i_2, i_3, and i_4. Also determine the current into or out of the output terminal of each op-amp.

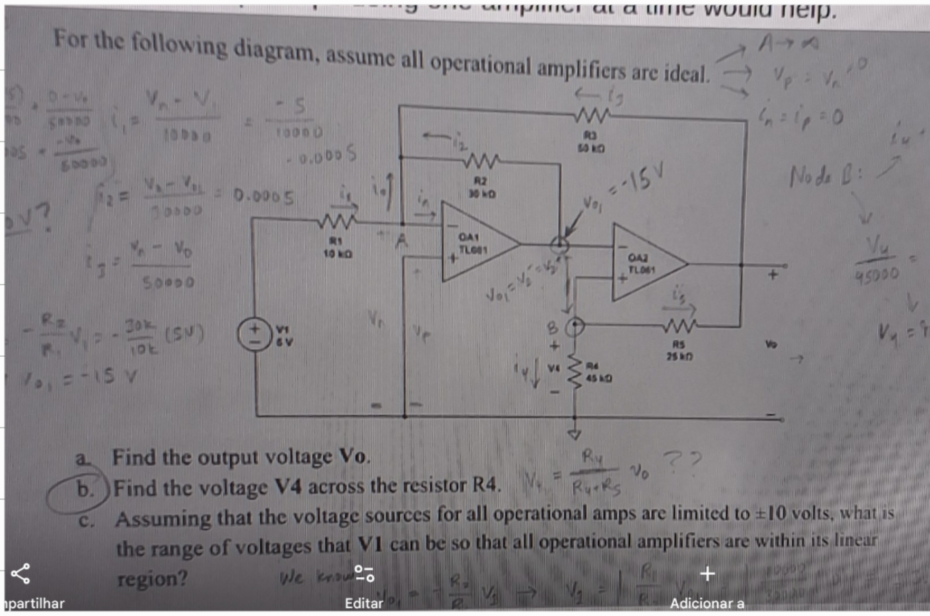
$$V_{o1} = -V_i \cdot \frac{R_2}{R_1} = -\left(-0,15 \cdot \frac{80 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3}\right) = 1,2V$$

$$V_o = -V_{o1} \cdot \frac{R_4}{R_3} = -1,2 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3}$$

$$V_o = -1,2 \cdot 5 = -6V$$

3)

TODO



For the following diagram, assume all operational amplifiers are ideal.

a. Find the output voltage **Vo**.

b. Find the voltage **V4** across the resistor R4.

c. Assuming that the voltage sources for all operational amps are limited to ±10 volts, what is the range of voltages that **V1** can be so that all operational amplifiers are within its linear region?