

Aula 4

Amplificador Operacional
Configurações I

Circuitos Elétricos II

Prof. Henrique Amorim - UNIFESP - ICT

Amplificadores Operacionais (Amp. Op.)

Definição: O amplificador operacional (AmpOp) é um amplificador de múltiplos estágios, de elevado ganho, alta impedância de entrada e com entrada diferencial.

Amplificador: Baseado em circuitos amplificadores transistorados.

Operacional: Permite realizar operações matemáticas (soma, subtração, multiplicação, divisão, média, log, exp, integral, derivada...)

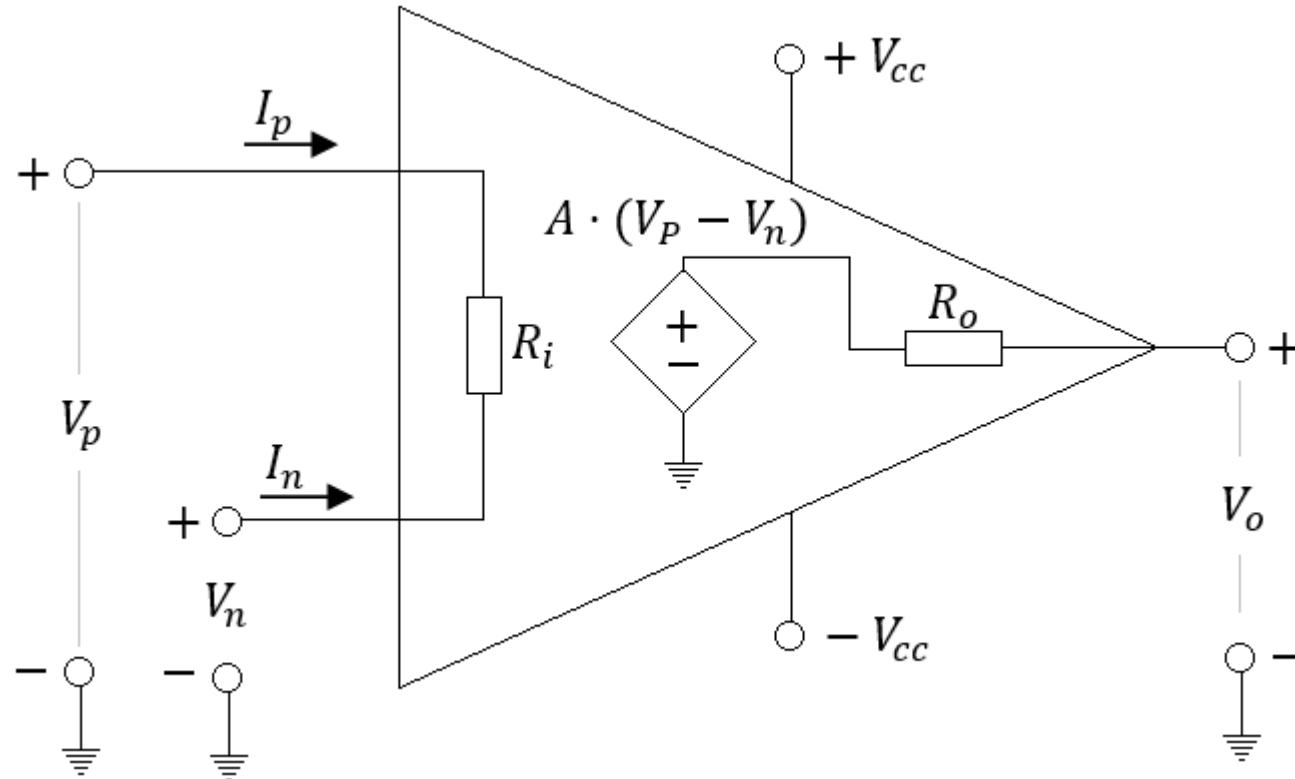
Múltiplos estágios: Internamente possui múltiplos estágios de amplificação

Ganho elevado: A maioria dos amplificadores operacionais possuem ganhos superiores a 10K.

Alta impedância de entrada: Alta resistência de entrada.

Diferencial: A saída é uma função da diferença entre as entradas

Modelo de um amplificador operacional



Restrições para um AmpOp ideal

$$A \rightarrow \infty \quad \left(\frac{V_o}{\infty} = V_p - V_n \right)$$

$$R_i \rightarrow \infty \quad (i_p = 0; i_n = 0)$$

$$V_p = V_n$$

$$i_p = i_n = 0$$

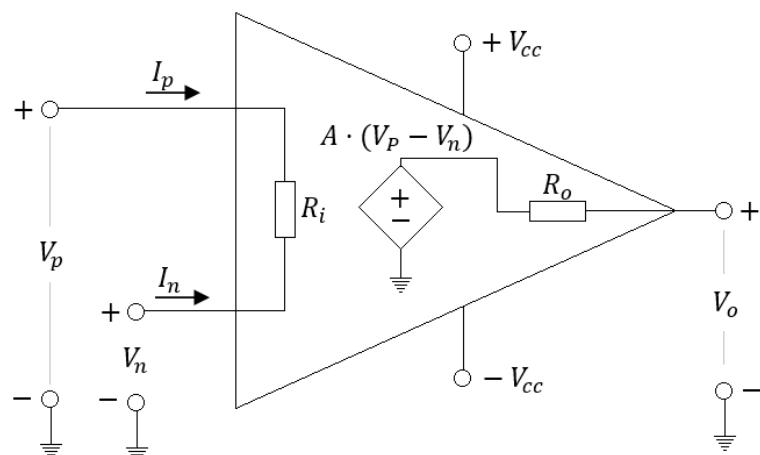
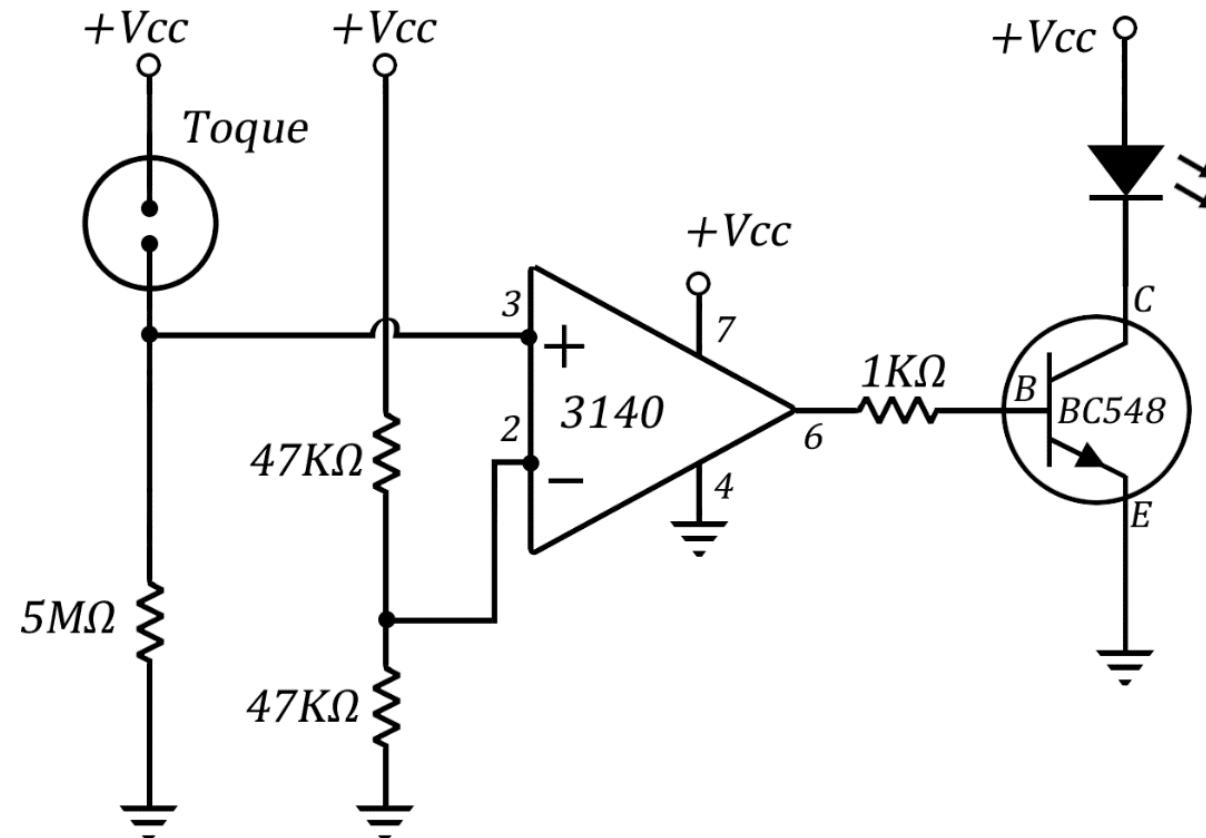


TABELA COMPARATIVA

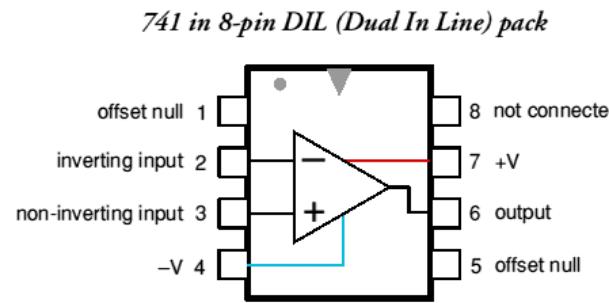
AmpOp Ideal	CI μ741
$R_i \rightarrow \infty$	$R_i = 2M$
$R_o \rightarrow 0$	$R_o = 75\Omega$
$A \rightarrow \infty$	$A = 10^5$

AmpOp com malha aberta

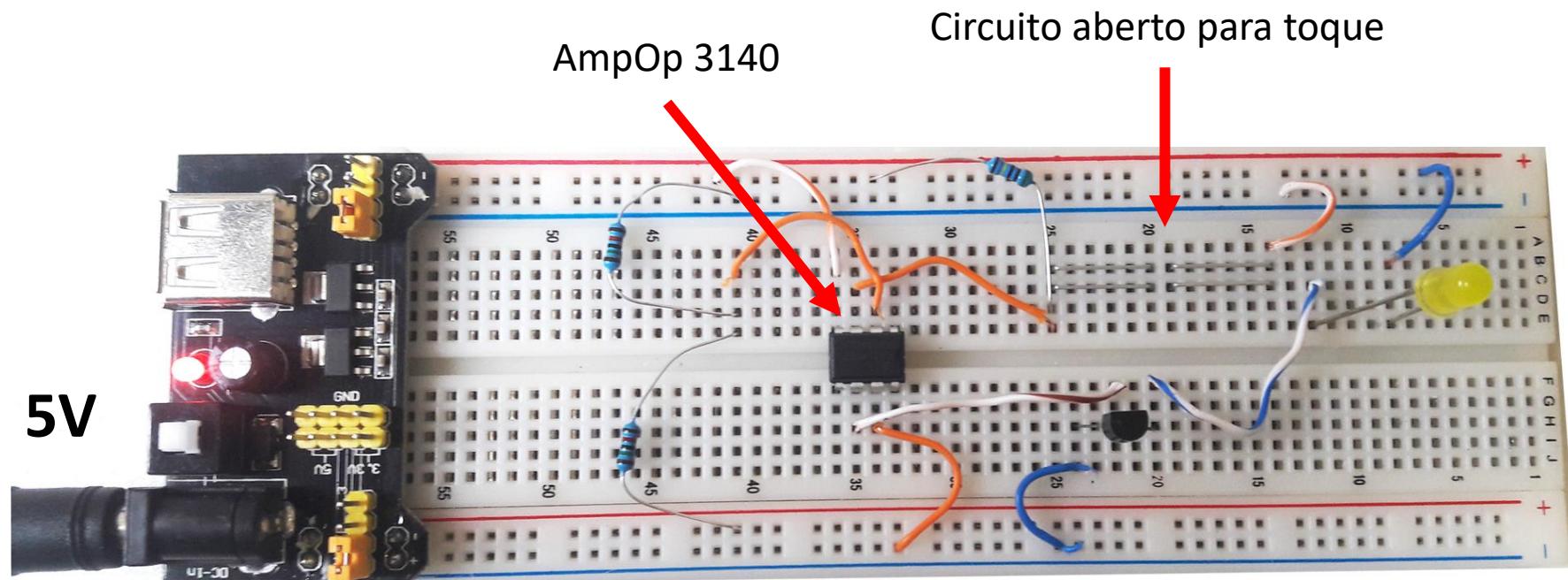
Exercício: Considerando que a resistência de dedo é aproximadamente $3M\Omega$, o LED irá acender?



AmpOp com malha aberta



Círcuito do slide anterior em um protoboard



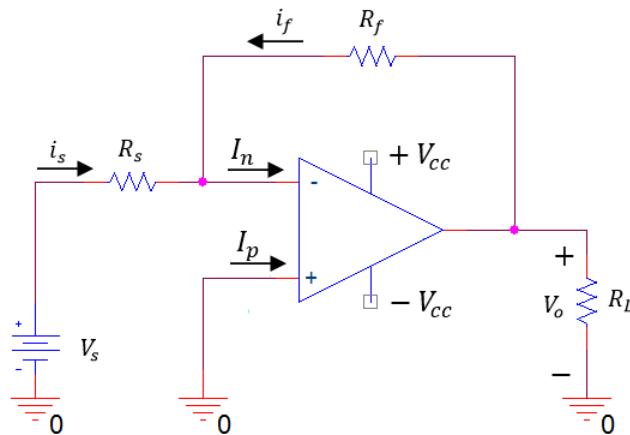
AmpOp com malha fechada

Para tornarmos o amplificador operacional um elemento com configurações funcionais, precisamos adicionar uma realimentação negativa de saída, com isso expandimos a faixa de variação linear. A realimentação deve ser posicionada na **entrada inversora**, futuramente iremos explorar as implicações de realimentação na entrada não inversora.

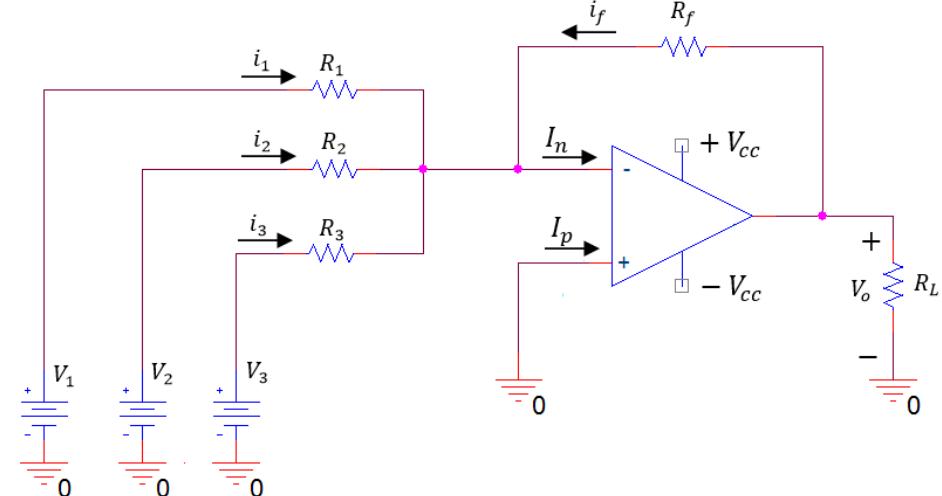


Primeiras configurações de AmpOp

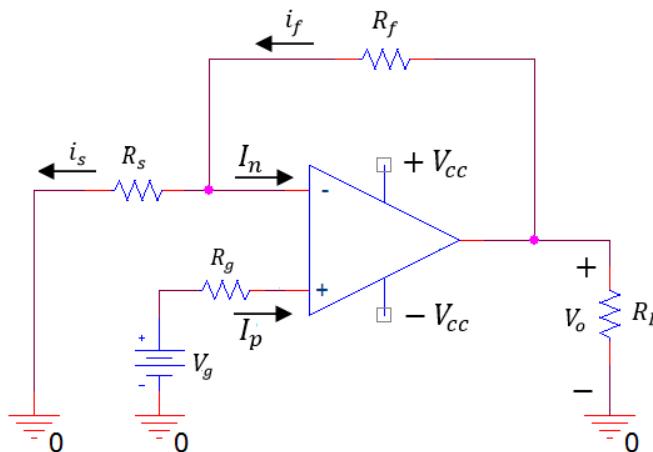
Amplificador inverter



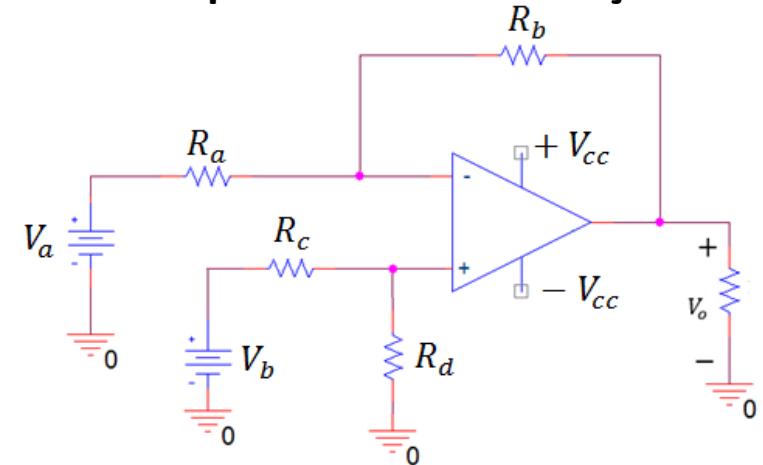
Amplificador somador inveror



Amplificador não inveror

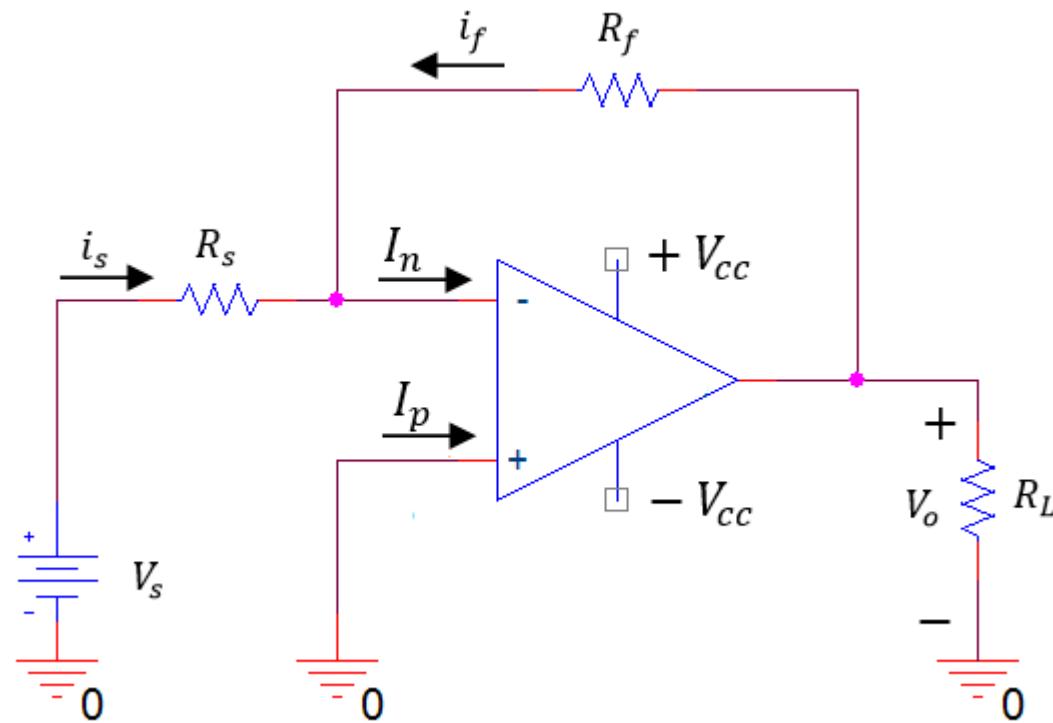


Amplificador da diferença

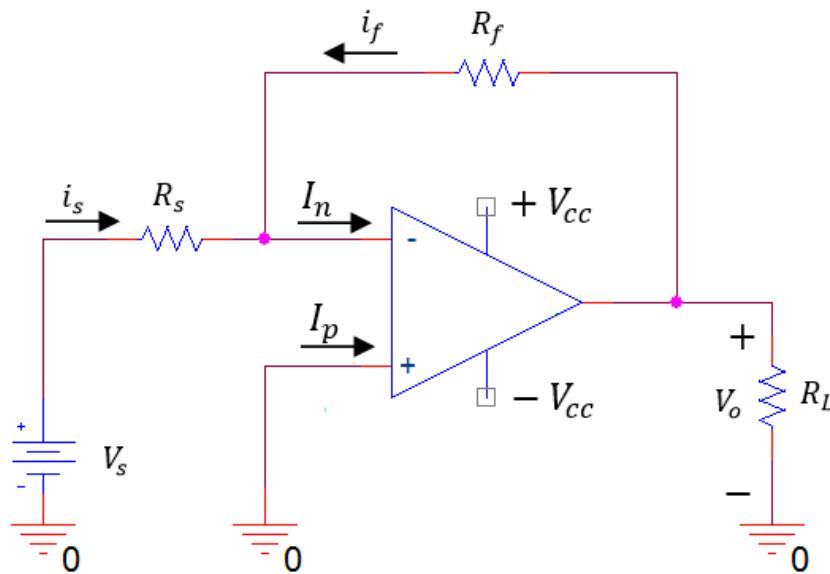


Amplificador Inversor

Possui realimentação negativa e alimentação na entrada inversora. A saída possui sinal invertido em relação a entrada e o ganho é calculado pela razão de R_f e R_s



Amplificador Inversor



Restrições:

$$V_p = V_n$$

$$i_n = i_p = 0$$

$$V_p = 0 \quad \text{então} \quad V_n = 0$$

$$i_s = -i_f \quad (i_n = 0)$$

$$i_s = \frac{V_s}{R_s} \quad \therefore \quad i_f = -\frac{V_s}{R_s}$$

$$-V_n - i_f \cdot R_f + V_o = 0$$

$$0 - \left(-\frac{V_s}{R_s} \right) \cdot R_f + V_o = 0$$

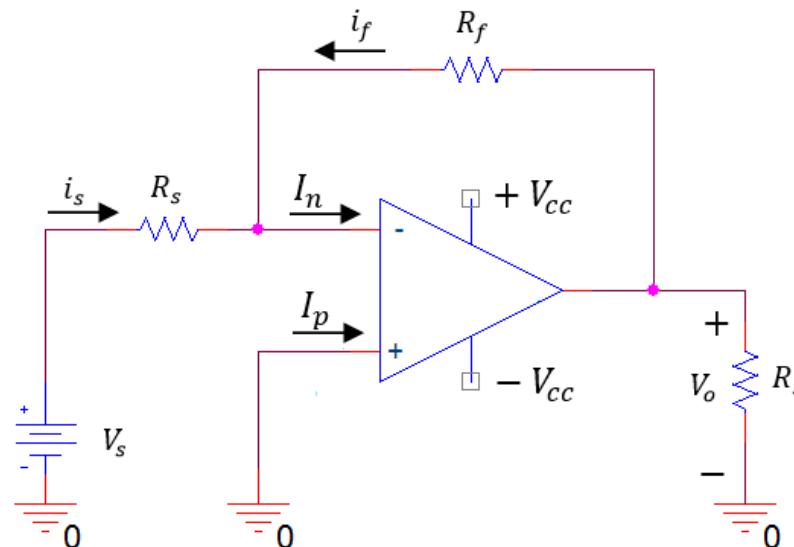
$$V_o = -\frac{R_f}{R_s} \cdot V_s$$

Amplificador Inversor

Exercício: Projeto um amplificador inversor, utilizando um amplificador operacional ideal, cujo o ganho seja de -4, utilize apenas resistores de **10KΩ**.

$$\text{ganho de tensão} = \frac{V_{\text{saída}}}{V_{\text{entrada}}}$$

** O ganho pode ser positivo, negativo, maior ou menor que 1



Equação do amplificador inversor

$$V_o = -\frac{R_f}{R_s} \cdot V_s$$

Amplificador Inversor

Exercício: Projeto um amplificador inversor, utilizando um amplificador operacional ideal, cujo o ganho seja de **-4**, utilize apenas resistores de **10KΩ**.

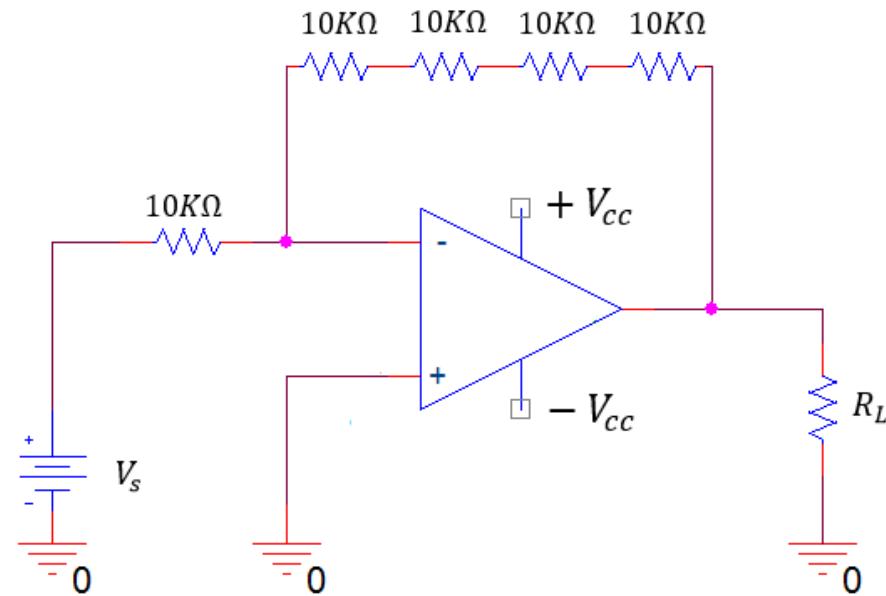
$$\frac{V_o}{V_s} = -4 \quad \therefore \quad V_o = -4 \cdot V_s$$

$$-4 = -\frac{R_f}{10 \cdot 10^3} \quad \therefore \quad R_f = 40K\Omega$$

Se considerarmos $R_s = 10K\Omega$

$$V_o = -\frac{R_f}{R_s} \cdot V_s$$

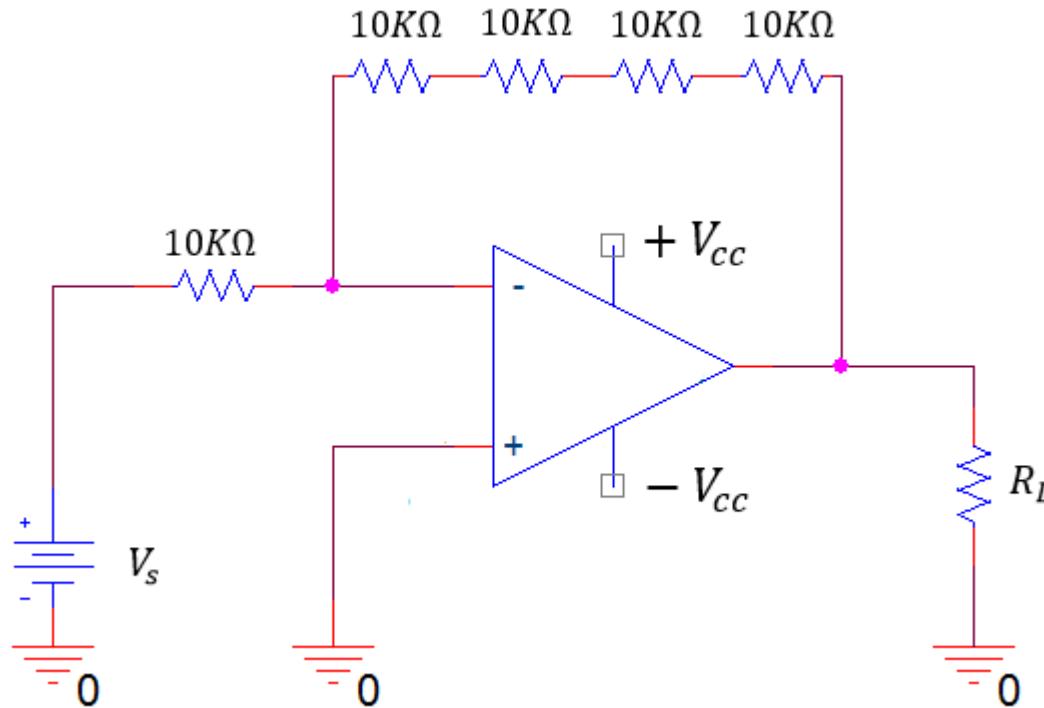
$$-4 \cdot V_s = -\frac{R_f}{10 \cdot 10^3} \cdot V_s$$



* Uma possível solução, mas não é única

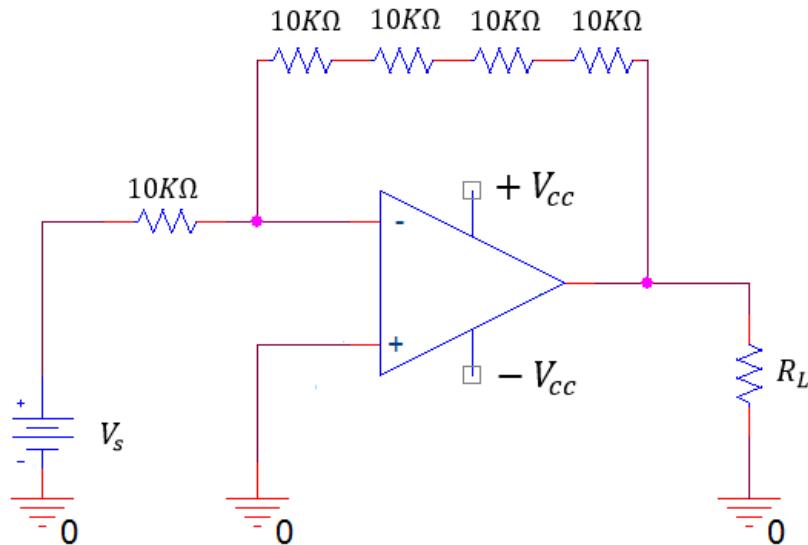
Amplificador Inversor

Exercício: Considere que o amplificador operacional do circuito anterior seja alimentado com uma fonte simétrica $+20V, -20V$. Calcule o intervalo de V_s para que o AmpOp não sature.



Amplificador Inversor

Exercício: Considere que o amplificador operacional do circuito anterior seja alimentado com uma fonte simétrica $+20V, -20V$. Calcule o intervalo de V_s para que o AmpOp não sature.



$$V_o = -V_s \cdot \frac{R_f}{R_s}$$

$$\begin{aligned}-V_{cc} &= -20V \\+V_{cc} &= +20V\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_f &= 40K\Omega \\R_s &= 10K\Omega\end{aligned}$$

Se $V_o = -V_{cc}$ (limite inferior)

$$-V_{cc} = -V_s \cdot \frac{R_f}{R_s} \therefore V_s = V_{cc} \cdot \frac{R_s}{R_f}$$

Se $V_o = +V_{cc}$ (limite superior)

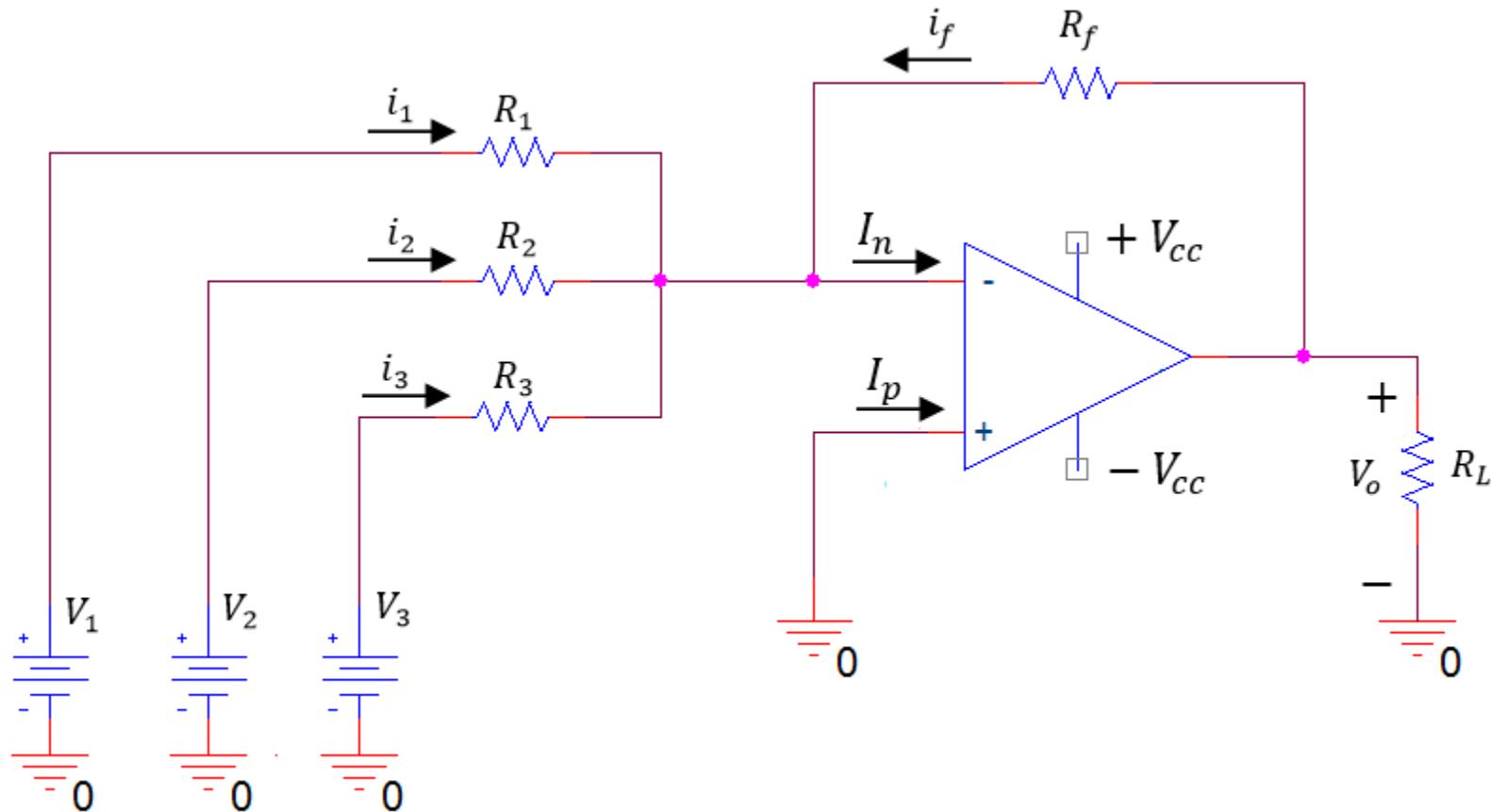
$$+V_{cc} = -V_s \cdot \frac{R_f}{R_s} \therefore V_s = -V_{cc} \cdot \frac{R_s}{R_f}$$

$$-20 \cdot \frac{R_s}{R_f} \leq V_s \leq +20 \cdot \frac{R_s}{R_f}$$

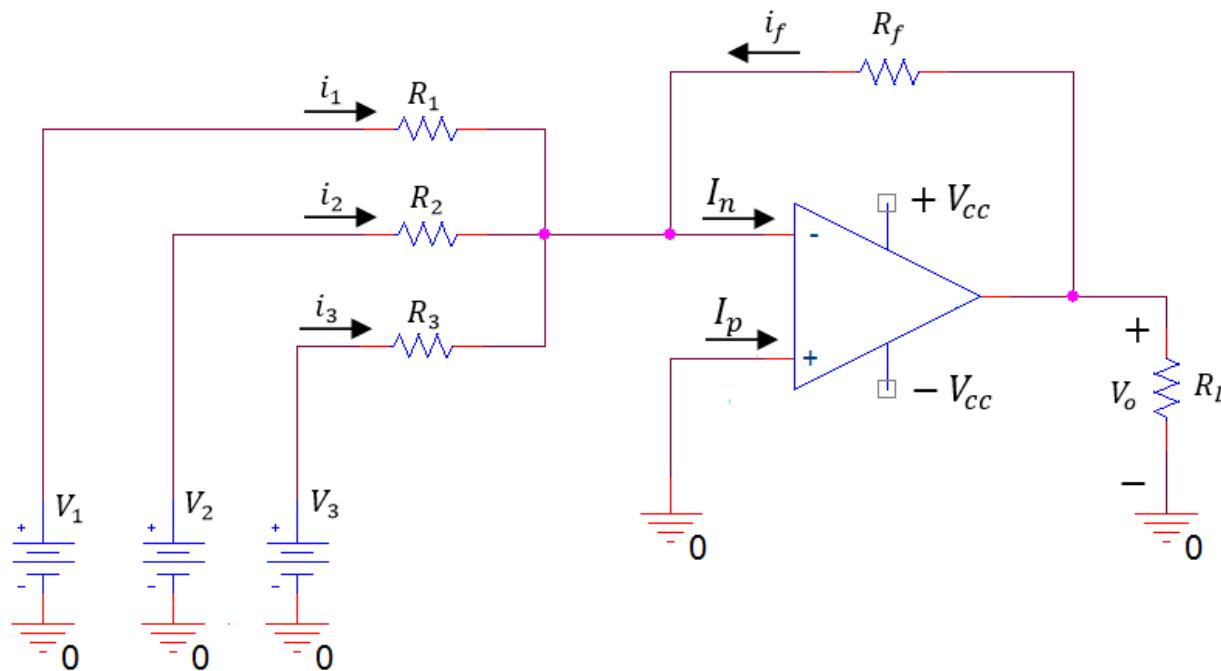
$$-5 \leq V_s \leq 5$$

Amplificador Somador Inversor

O circuito amplificador somador resulta em uma soma ponderada e invertida das tensões de entrada. No exemplo abaixo o amplificador somador está configura para 3 fontes de entrada, o número de entradas pode ser igual a N



Amplificador Somador Inversor



$$i_1 = \frac{V_1}{R_1} ; \quad i_2 = \frac{V_2}{R_2} ; \quad i_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

$$-V_n - i_f \cdot R_f + V_o = 0$$

$$\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right) \cdot R_f + V_o = 0$$

Restrições: $V_p = 0$ então $V_n = 0$

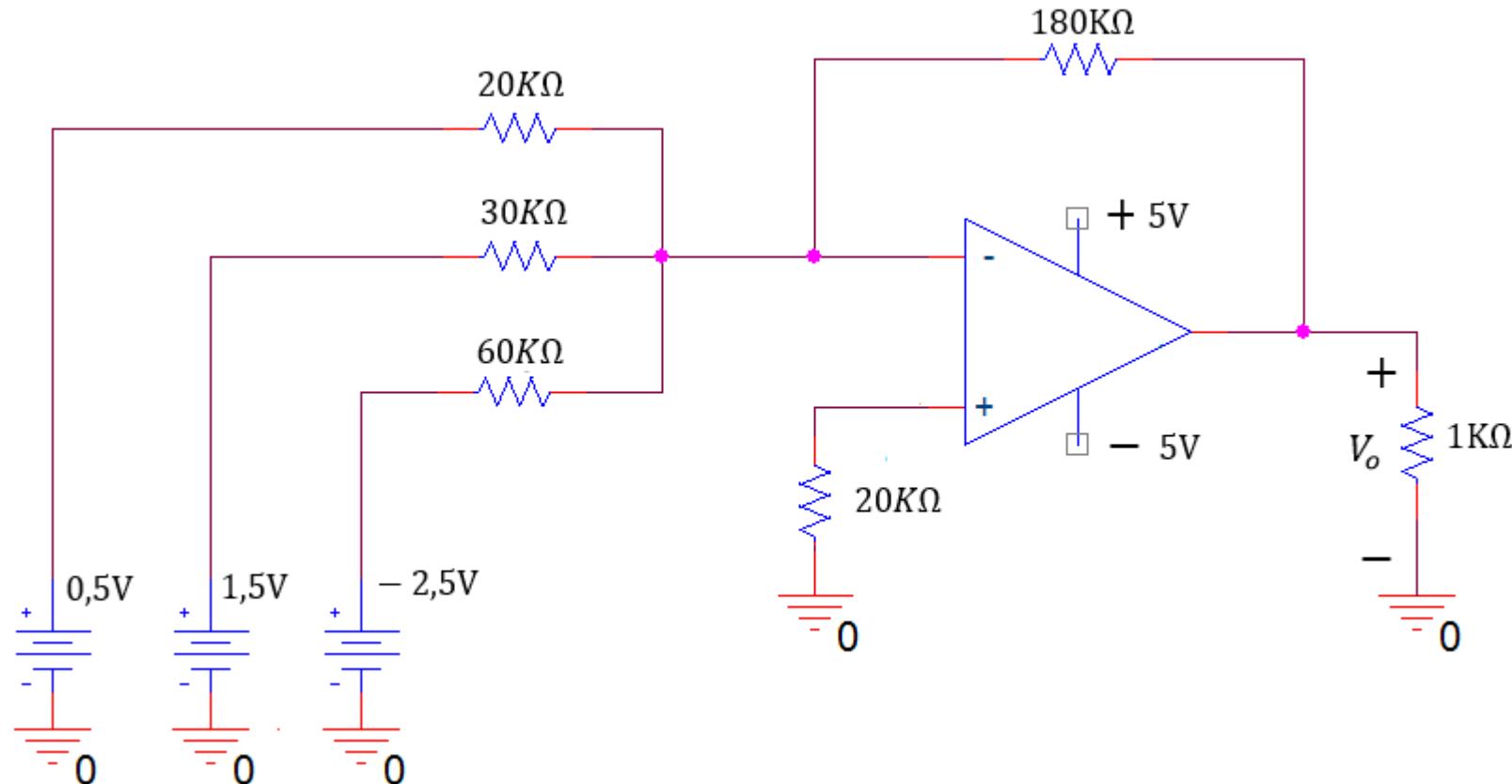
$$V_p = V_n \quad i_1 + i_2 + i_3 = -i_f \quad (i_n = 0)$$

$$i_n = i_p = 0$$

$$V_o = -R_f \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

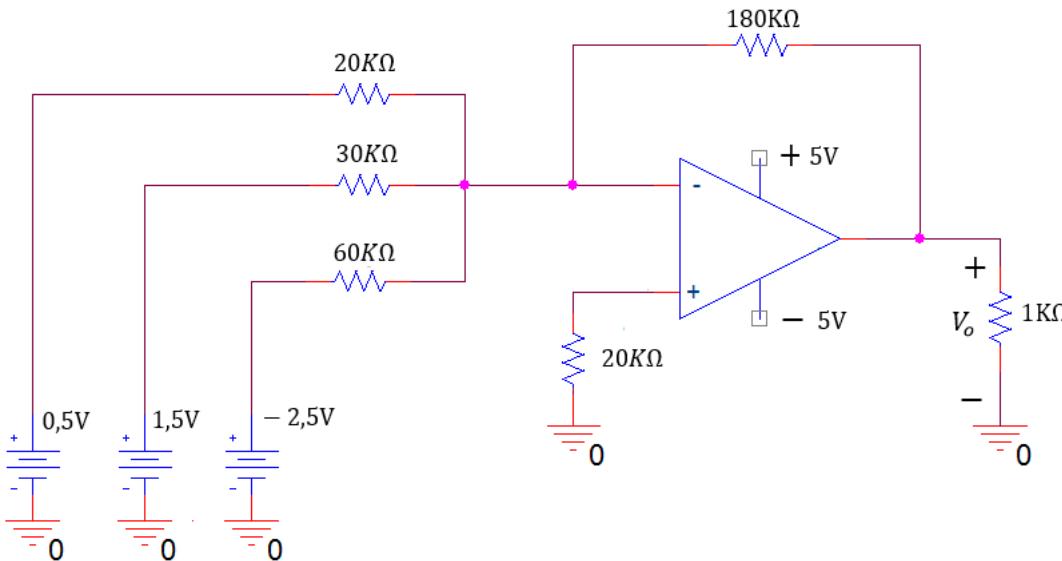
Amplificador Somador Inversor

Exercício: De acordo com o circuito abaixo, calcule V_o .



Amplificador Somador Inversor

Exercício: De acordo com o circuito abaixo, calcule V_o .



$$V_o = -R_f \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

$$V_o = -180K \cdot \left(\frac{0,5}{20K} + \frac{1,5}{30K} + \frac{-2,5}{60K} \right)$$

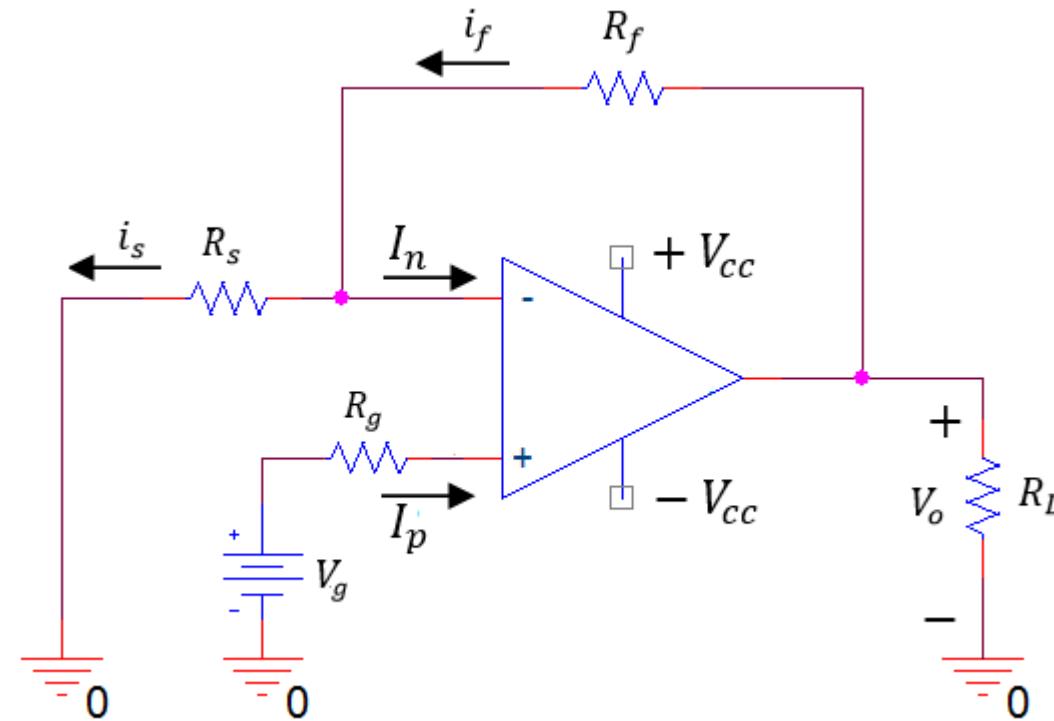
$$V_o = -\frac{360}{60K} = -6V$$

Como 6V é maior que +Vcc, o AmpOp estará saturado, assim:

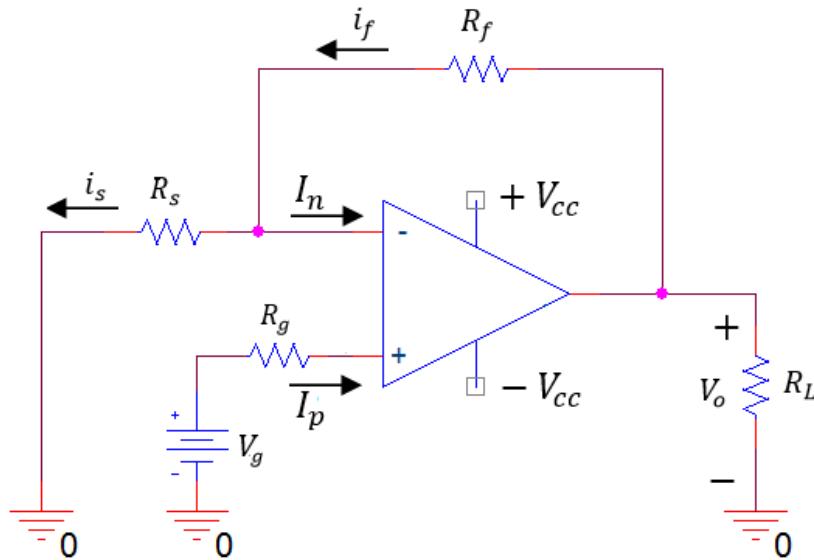
$$V_o = -5V$$

Amplificador Não Inversor

Possui aplicações similares ao amplificador inversor, entretendo a sua saída não é invertida e a entrada é conectada a entrada não inversora



Amplificador Não Inversor



$$i_s = i_f = \frac{V_g}{R_s}$$

$$-V_n - i_f \cdot R_f + V_o = 0$$

$$-V_g - \left(\frac{V_g}{R_s}\right) \cdot R_f + V_o = 0$$

$$V_o = V_g + \left(\frac{V_g}{R_s}\right) \cdot R_f$$

Restrições: $V_p = V_g$ então $V_n = V_g$

$$V_p = V_n \quad i_s = i_f \quad (i_n = 0)$$

$$i_n = i_p = 0$$

$$V_o = V_g \left(1 + \frac{R_f}{R_s}\right)$$

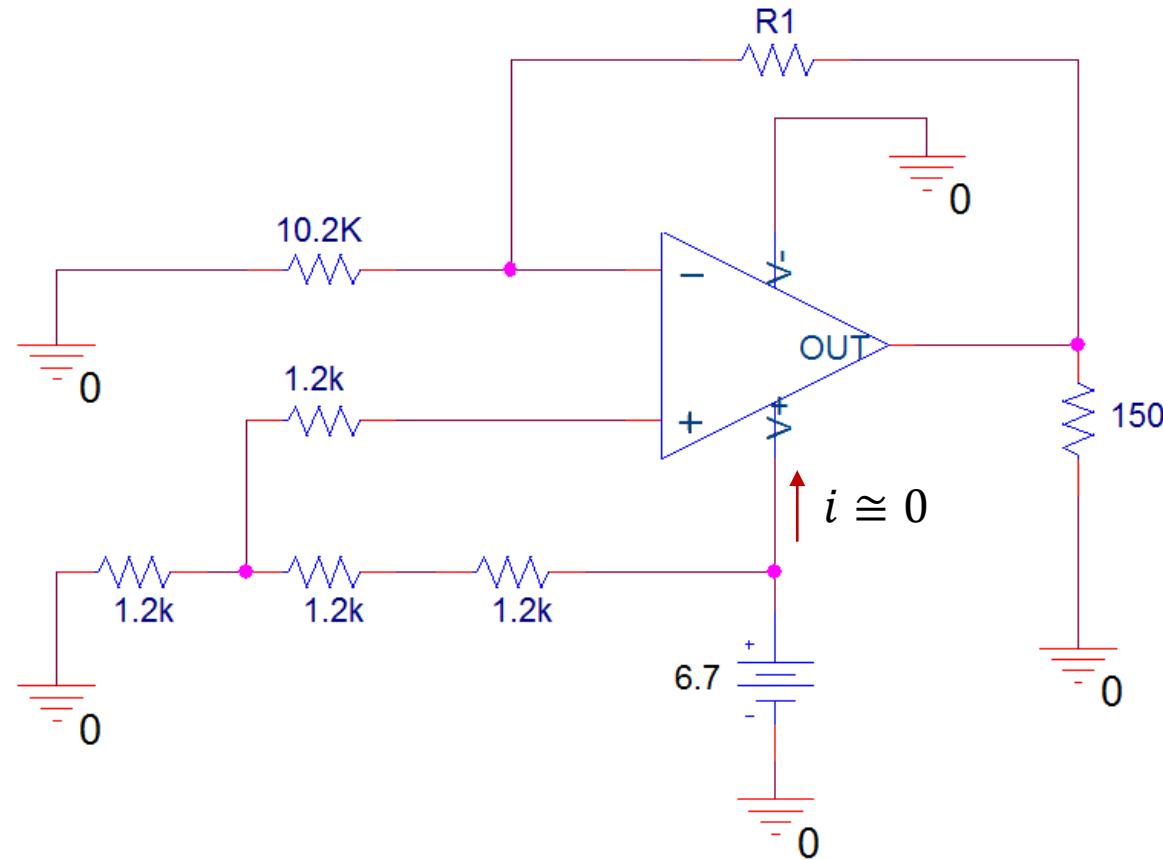
Amplificador Não Inversor

Exercício: De acordo com o circuito abaixo, calcule o intervalo de V_o , se R_1 variar entre $0.3K\Omega$ e $5.5K\Omega$.

$$V_o = V_g \left(1 + \frac{R_f}{R_s} \right)$$

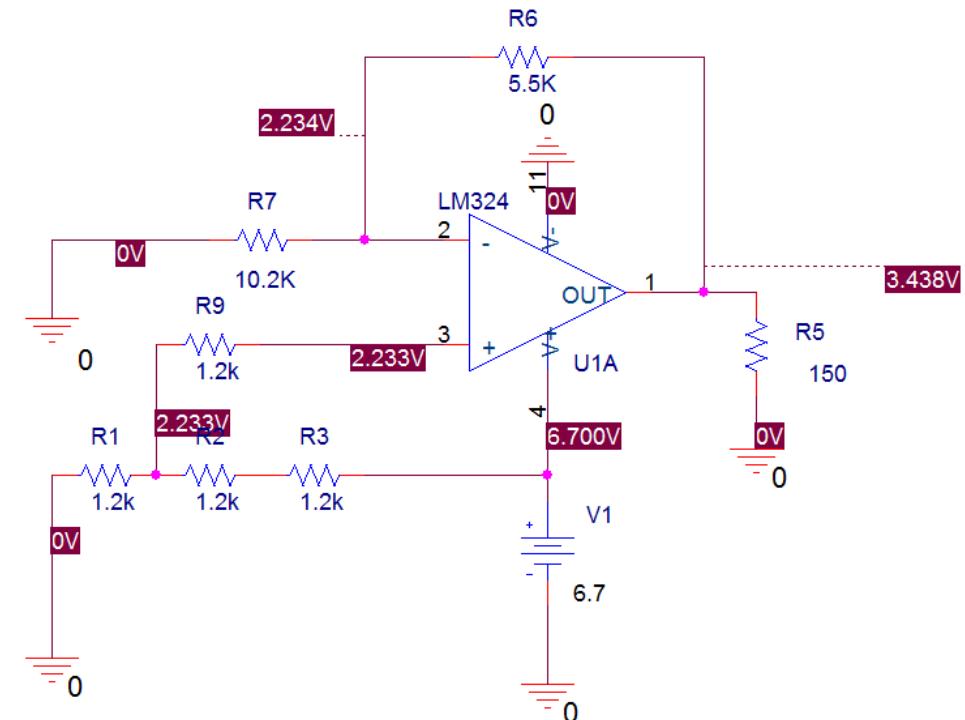
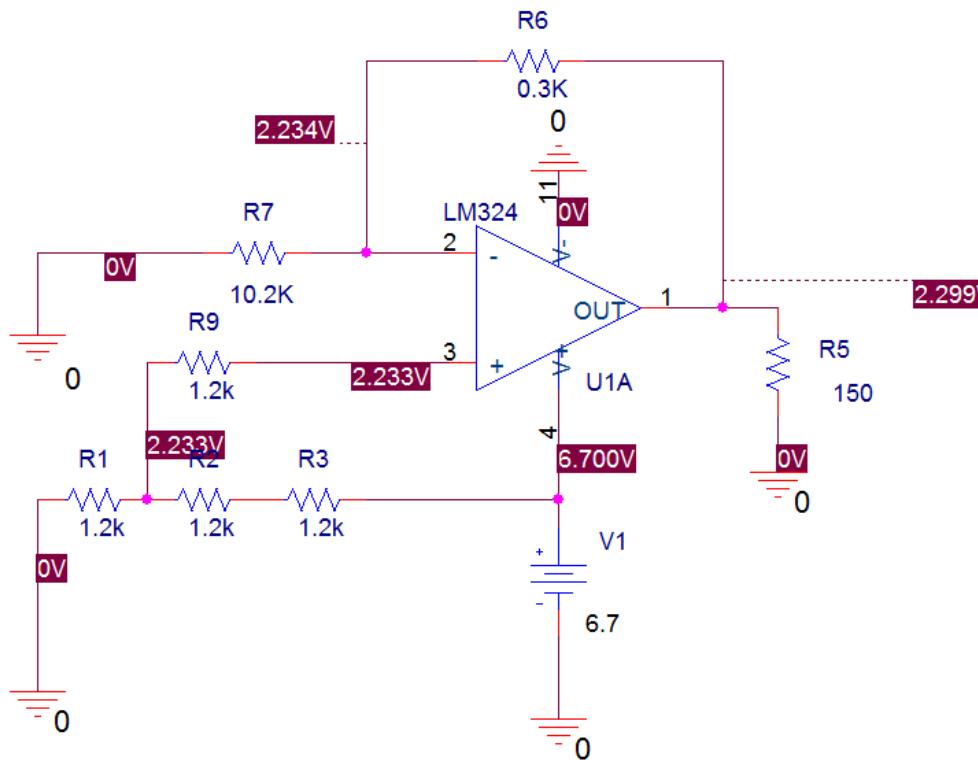
Resposta:

$$V_o = (2,299V : 3,438V)$$



Amplificador Não Inversor

Exercício: De acordo com o circuito abaixo, calcule o intervalo de V_o , se R_1 variar entre $0.3K\Omega$ e $5.5K\Omega$.



Exercício: Desenhe um circuito com amplificadores operacionais que calcule a média de 3 sensores de temperatura, considere que os valores de temperatura correspondem a uma variação de tensão de 0V a 5V. A saída deve ser positiva.