

CORRENTES DE POLARIZAÇÃO E OFFSET DE CORRENTE

Consideramos antes que para um amp. op. ideal, $I_n = I_p = 0$.
 Para um amp. op. real, $I_p \neq 0$, $I_n \neq 0$ e $I_p \neq I_n$.

Isso está relacionado à necessidade de os transistores de entrada de estarem polarizados na região ativa e de que o casamento entre eles não é perfeito. A condição acima é tratada como um "defeito c.c." do amp. op.

Define-se:

$$I_B \triangleq \frac{I_p + I_n}{2} \quad \text{corrente de polarização de entrada,}$$

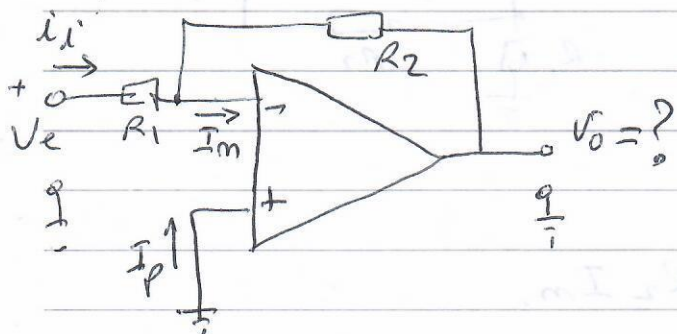
tipicamente com valores entre $0,1 \mu\text{A}$ e $10 \mu\text{A}$, podendo ser positiva ou negativa, dependendo do tipo de amp. op.

$I_{IO} \triangleq I_p - I_n$ offset de correntes de entrada, expresso em %, tipicamente de 5 a 10%.
 (I_{IO} ou I_{OS})

Dependendo dos valores de I_p e I_n , o erro no sinal de saída pode ser muito significativo.

Ex.: Amplificador inversor.

$$I_p = I_n = 100 \text{ nA}$$



$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

Operando na região linear: $V_d \approx 0$

Se $v_e = 0$ e $v_m = 0$ (terra virtual)

$$\Rightarrow v_{R_1} = 0 \text{ e } i_1 = 0$$

I_m passará através de R_2 e $i_2 \Big|_{v_e=0} = I_m$.

$$\therefore v_o \Big|_{v_e=0} = R_2 I_m$$

I_p flui diretamente para a massa e não afeta o valor de v_o .

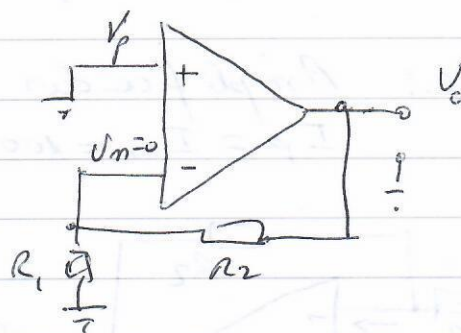
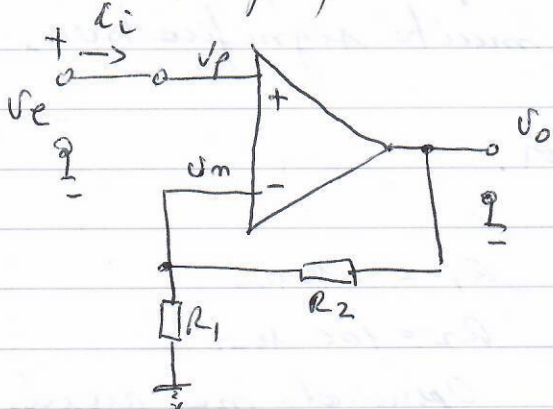
Para o sinal: $v_{o, \text{sinal}} = -\frac{R_2}{R_1} v_e$.

$$\therefore v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_e + R_2 I_m$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega \text{ e } R_1 = 1 \text{ k}\Omega \Rightarrow$$

$$v_o = -100 v_e + 100 \text{ k} \times 100 \text{ m} = -100 v_e + 10 \text{ mV}$$

Ex.: Amplificador não inversor

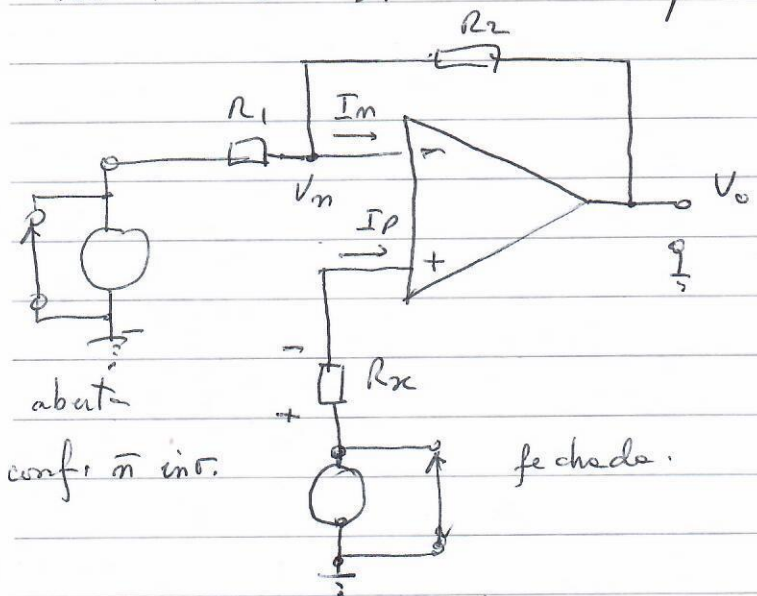


$$\text{Se } v_e = 0 \Rightarrow v_p = 0$$

$$\therefore v_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} v_e + R_2 I_m$$

Para as duas configurações o amplificador sofre a mesma influência de I_B .

Já que a topologia é a mesma para um e outro caso, no que se refere à I_B , a componente $I_p R_2$ pode ser forçada a zero colocando-se um resistor em série com V_p :



Se $I_p = 0 \Rightarrow V_o \Big|_{I_p=0} = R_2 I_m. \text{ (inv.)}$

Se $I_m = 0 \Rightarrow V_o \Big|_{I_m=0} = -I_p R_x \left(\frac{R_2 + R_1}{R_1} \right) \text{ (n inv.)}$

$V_o = R_2 I_m - I_p R_x \frac{R_2 + R_1}{R_1} = 0 \Rightarrow I_m R_2 = I_p R_x \frac{R_2 + R_1}{R_1}$

Se $I_m = I_p \Rightarrow R_2 = R_x \frac{R_2 + R_1}{R_1} \quad \&$

$R_x = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 // R_2$

Se $R_2 \gg R_1 \Rightarrow R_x \approx R_1.$

Exemples :

LM 308

$$I_B = 1,5 \text{ mA typ.}$$

$$I_{OS} = 0,2 \text{ mA typ.}$$

LF 356 (bipol.)

$$I_B = 30 \text{ pA typ.}$$

$$I_{OS} = 3 \text{ pA typ.}$$

Não balanceamentos e assimetrias internas \Rightarrow componentes c.c. na saída, também chamado de "defeito" c.c. do amp.op.

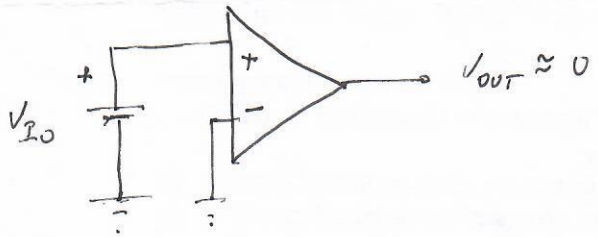
Esses não balanceamentos podem ser representados por um de dois parâmetros do op-amp: input offset voltage e output offset voltage. A tensão offset de entrada é usualmente o parâmetro preferido.

V_{IO} : tensão c.c. que deve ser aplicada entre v_p e v_m para forçar $v_{out} = 0$ em condições de malha aberta.

V_{IO} pode variar com a temperatura.

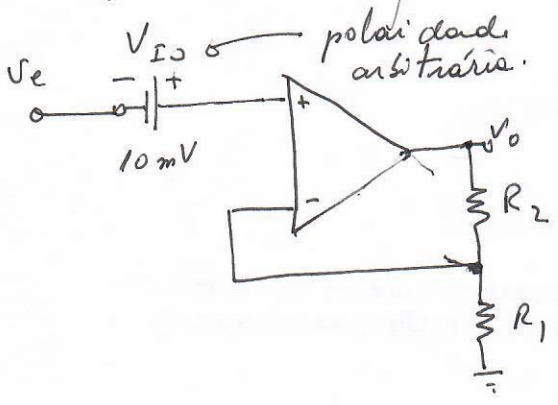
$|V_{IO}|$ típicos: entre $1\mu V$ e $10mV$.

O efeito de V_{IO} em um circuito op-amp pode ser modelado adicionando-se uma fonte de tensão aos terminais de entrada de um op-amp ideal:



Exemplo: Qual o efeito de tensão de offset na saída de um amplificador não-inversor, com um ganho de 100.

V_{IO} está na faixa de $\pm 10mV$.



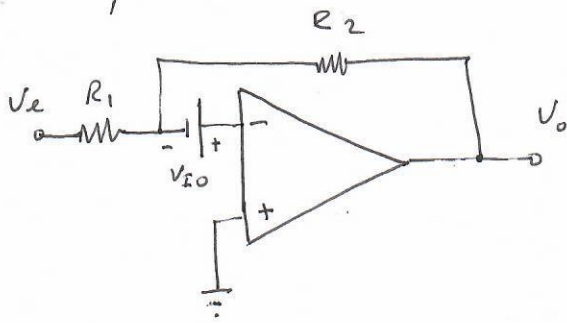
$$v_o = \frac{R_2 + R_1}{R_1} v_e + \frac{R_2 + R_1}{R_1} V_{IO}$$

$$v_o = 100 v_e + 100 \times (\pm 10mV)$$

$$v_o = 100 v_e \pm \textcircled{1V} \text{ - componente de offset medida.}$$

Exemplo:

38



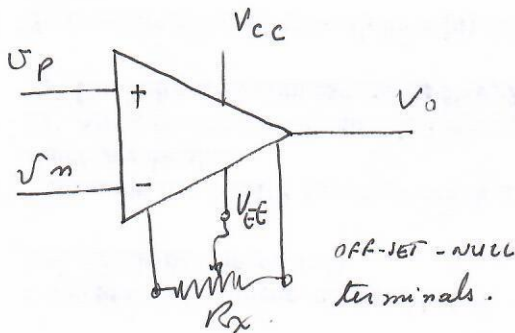
$$\frac{V_e - V_{i0}}{R_1} = \frac{V_{i0} - V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_e}{R_1} - \frac{V_{i0}}{R_1} = \frac{V_{i0}}{R_2} - \frac{V_o}{R_2}$$

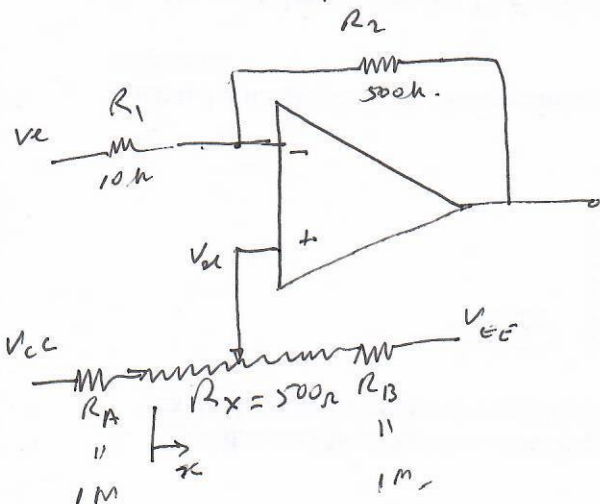
$$\frac{V_e}{R_1} - \frac{V_{i0}}{R_1} - \frac{V_{i0}}{R_2} = -\frac{V_o}{R_2} \rightarrow \frac{V_e}{R_1} - V_{i0} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = -\frac{1}{R_2} V_o$$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_e + V_{i0} \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \frac{R_2}{R_2} \Rightarrow \boxed{V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_e + V_{i0} \frac{R_2 + R_1}{R_1}}$$

Correção do efeito de tensão de offset:



Exemplo: Op-amp com offset de tensão = 1 mV. sem disponibilidade de offset-null terminals.



$$A = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{500k}{10k} = -50$$

V_x = contribuição de V_{CC} e V_{EE}

$$V_{EE} = 0 \Rightarrow V_{x1} = \frac{(1-x)R_x + R_B}{R_A + R_x + R_B} V_{CC}$$

$$V_{CC} = 0 \Rightarrow V_{x2} = \frac{xR_x + R_A}{R_A + R_x + R_B} V_{EE}$$

$$V_x = \frac{[(1-x)R_x + R_B] V_{CC} + (xR_x + R_A) V_{EE}}{R_A + R_B + R_x}$$

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_x + \frac{R_2 + R_1}{R_1} (v_{I0} + v_x)$$

39 3

Para cancelar $v_{I0} \Rightarrow v_x = -v_{I0}$

se $V_{EE} = -V_{CC}$ e $R_A = R_B$

~~$$v_{I0}$$~~

$$v_x = \frac{(1-x)R_x + R_B - (R_A + xR_x)}{R_A + R_B + R_x} V_{CC}$$

$$-v_{I0} = \frac{R_x - xR_x + R_B - R_A - xR_x}{R_A + R_B + R_x} V_{CC} = \frac{R_x(1-2x)}{R_A + R_B + R_x} V_{CC}$$

$$-v_{I0} = \frac{500(1-2x)15}{2M + 500} \approx 0,00375(1-2x)$$

$$-1m = 0,00375(1-2x) = 3,75mV - 7,5mV \cdot x$$

$$-4,75m = -7,5mV \cdot x \Rightarrow x = \frac{4,75m}{7,5m} \Rightarrow \boxed{x = 0,63}$$

Note-se que esse ajuste coloca x mais perto de V_{EE} do que de V_{CC} , tal que v_x ligeiramente negativa é aplicada pela malha de R_x . Este resultado é consistente com um valor positivo de v_{I0} .