

Aula 4

Amplificadores Operacionais: Configurações em Malha Fechada Parte 1



Tópicos da Aula

1. Amplificadores em Malha Fechada
2. Amplificador Inversor
3. Amplificador Somador Inversor
4. Amplificador Não Inversor



Amplificadores em Malha Fechada

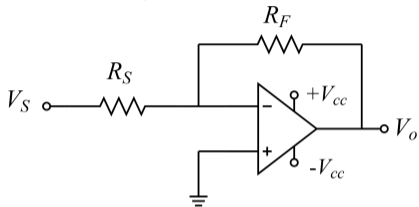
Amplificadores em Malha Fechada

A configuração em **malha fechada** com **retroalimentação negativa** é o mecanismo que viabiliza a operação do amplificador na **zona linear**. Devido ao ganho diferencial idealmente infinito ($A \rightarrow \infty$), para que a tensão de saída não sature nos limites de alimentação, a diferença de potencial entre as entradas deve tender a zero. A malha de realimentação negativa atua como um sistema de controle dinâmico: qualquer desequilíbrio gera uma variação na saída que é imediatamente realimentada para a entrada inversora (V_n) em oposição de fase. Isso força continuamente a tensão da entrada inversora a se igualar à tensão da entrada não inversora (V_p). As implicações sobre a retroalimentação positiva serão analisadas em aulas futuras.

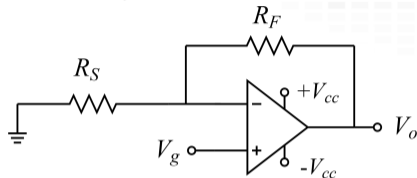


Amplificadores em Malha Fechada - Configurações básicas

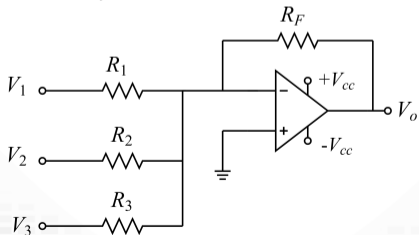
Amplificador Inversor



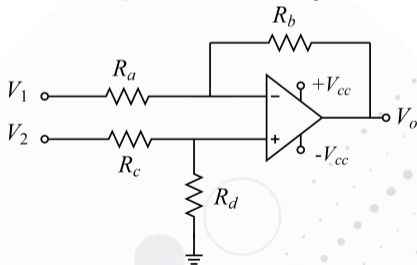
Amplificador Não Inversor



Amplificador Somador Inversor



Amplificador da Diferença

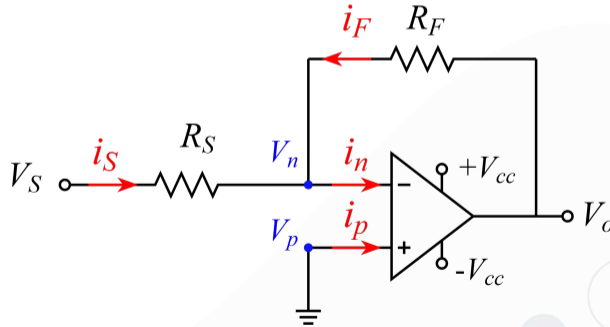




Amplificador Inversor

Amplificador Inversor

A configuração inversora tem seu ganho de tensão determinado pela razão entre o resistor de realimentação (R_F) e o resistor de entrada (R_S). O circuito recebe este nome porque o sinal de entrada é aplicado ao terminal inversor, resultando em uma tensão de saída (V_o) com a polaridade invertida em relação à entrada (V_s). Para que o amplificador atue na zona linear, a magnitude da tensão de saída não deve exceder os limites físicos das fontes de alimentação ($-V_{cc} \leq V_o \leq +V_{cc}$).



Amplificador Inversor - Dedução equação geral

1. **Correntes de entrada (Modelo Ideal)** - Pela característica de altíssima impedância de entrada:

$$i_n = i_p = 0$$

2. **Condição de Linearidade (Curto-Circuito Virtual)** - Pela ação da realimentação negativa, a entrada inversora acompanha a tensão da entrada não inversora:

$$V_n = V_p$$

Como a entrada não inversora está aterrada ($V_p = 0$):

$$V_n = 0$$

Amplificador Inversor - Dedução equação geral (cont.)

3. Definir as correntes do nó da entrada inversora - Analisando o nó da entrada inversora (V_n) e assumindo as correntes chegando ao nó:

$$i_s + i_f = i_n$$

$$i_s + i_f = 0$$

(Nota: o sentido adotado para as correntes não altera o resultado final.)

4. Buscar as correntes

$$i_s = \frac{V_s - V_n}{R_s} \Rightarrow i_s = \frac{V_s}{R_s}$$

$$i_f = \frac{V_o - V_n}{R_f} \Rightarrow i_f = \frac{V_o}{R_f}$$

Amplificador Inversor - Dedução equação geral (cont.)

5. Cálculo da Tensão de Saída (V_o)

Substituindo as equações do passo 4 na LKC do passo 3:

$$\frac{V_s}{R_s} + \frac{V_o}{R_f} = 0$$

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

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

Amplificador Inversor - Exercício

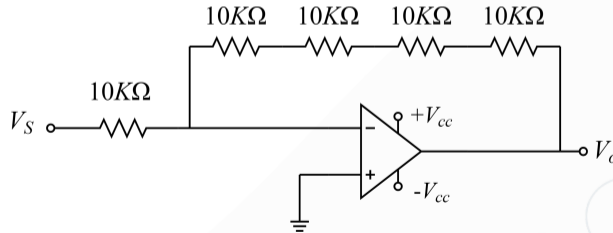
Exerício: Projeto um amplificador inversor, utilizando um amplificador operacional ideal, cujo o ganho seja de $-4V$, utilize apenas resistores de $10K\Omega$.

Amplificador Inversor - Exercício

Exerício: Projeto um amplificador inversor, utilizando um amplificador operacional ideal, cujo o ganho seja de $-4V$, utilize apenas resistores de $10K\Omega$.

Para obtermos o ganho desejado, a razão entre a resistência de realimentação (R_F) e a resistência de entrada (R_S) deve ser igual a 4:

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{R_F}{R_S} = -4 \implies V_o = -4 \cdot V_s$$

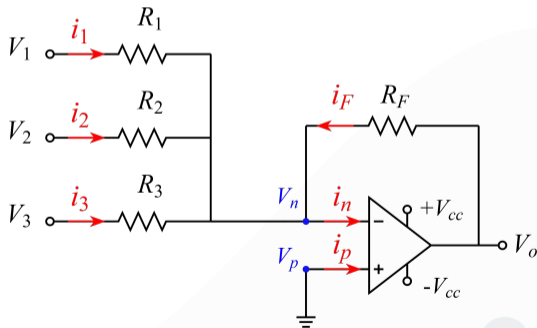




Amplificador Somador Inversor

Amplificador Somador Inversor

A configuração somadora inversora permite a combinação matemática de múltiplos sinais. Ela atribui um ganho independente a cada canal de entrada — determinado pela razão entre o resistor de realimentação (R_F) e o respectivo resistor de entrada (R_1, R_2, \dots) — e entrega na saída a soma desses sinais com a polaridade invertida. Para manter a operação na zona linear, a soma ponderada das tensões não deve exceder os limites físicos das fontes de alimentação ($-V_{cc} \leq V_o \leq +V_{cc}$).



Amplificador Somador Inversor - Dedução

1. **Correntes de entrada (Modelo Ideal)** - Pela característica de altíssima impedância de entrada:

$$i_n = i_p = 0$$

2. **Condição de Linearidade (Curto-Circuito Virtual)** - Pela ação da realimentação negativa, a entrada inversora acompanha a tensão da entrada não inversora:

$$V_n = V_p$$

Como a entrada não inversora está aterrada ($V_p = 0$):

$$V_n = 0$$

Amplificador Somador Inversor - Dedução (cont.)

3. Definir as correntes do nó da entrada inversora - Analisando o nó da entrada inversora (V_n) para múltiplas entradas e assumindo as correntes chegando ao nó:

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_f = i_n$$

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_f = 0$$

(Nota: o sentido adotado para as correntes não altera o resultado final.)

4. Buscar as correntes (considerando 3 entradas)

$$i_1 = \frac{V_1 - V_n}{R_1} \Rightarrow i_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

$$i_3 = \frac{V_3 - V_n}{R_3} \Rightarrow i_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

$$i_2 = \frac{V_2 - V_n}{R_2} \Rightarrow i_2 = \frac{V_2}{R_2}$$

$$i_f = \frac{V_o - V_n}{R_F} \Rightarrow i_f = \frac{V_o}{R_F}$$

Amplificador Somador Inversor - Dedução (cont.)

5. Cálculo da Tensão de Saída (V_o)

Substituindo as equações do passo 4 na LKC do passo 3:

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_o}{R_F} = 0$$

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

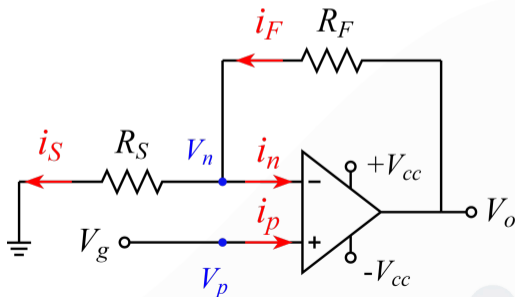
$$V_o = -R_F \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$



Amplificador Não Inversor

Amplificador Não Inversor

A configuração não inversora amplifica o sinal de entrada (V_g) mantendo a sua polaridade original (defasagem nula). Nesta topologia, o sinal é aplicado diretamente ao terminal não inversor, enquanto a malha de realimentação negativa atua no terminal inversor através do divisor de tensão formado por R_F e R_S . O ganho de tensão desta configuração é sempre maior ou igual a 1. Para operar na zona linear, a magnitude da tensão de saída não deve exceder os limites físicos das fontes de alimentação ($-V_{cc} \leq V_o \leq +V_{cc}$).



Amplificador Não Inversor - Dedução

1. **Correntes de entrada (Modelo Ideal)** - Pela característica de altíssima impedância de entrada:

$$i_n = i_p = 0$$

2. **Condição de Linearidade (Curto-Circuito Virtual)** - Pela ação da realimentação negativa, a entrada inversora acompanha a tensão da entrada não inversora:

$$V_n = V_p$$

Observando o circuito, o sinal V_g é aplicado diretamente na entrada não inversora ($V_p = V_g$). Portanto:

$$V_n = V_g$$

Amplificador Não Inversor - Dedução (cont.)

3. Definir as correntes do nó da entrada inversora - Analisando o nó da entrada inversora (V_n) e assumindo os sentidos indicados na figura (onde i_F entra no nó e i_S e i_n saem):

$$i_F = i_S + i_n$$

Como $i_n = 0$:

$$i_F = i_S$$

(Nota: a LKC é respeitada e consistente com os sentidos apontados na imagem.)

4. Buscar as correntes

$$i_F = \frac{V_o - V_n}{R_F} \Rightarrow i_F = \frac{V_o - V_g}{R_F}$$
$$i_S = \frac{V_n - 0}{R_S} \Rightarrow i_S = \frac{V_g}{R_S}$$

Amplificador Não Inversor - Dedução (cont.)

5. Cálculo da Tensão de Saída (V_o)

Substituindo as equações do passo 4 na LKC do passo 3 e lembrando que $V_n = V_g$:

$$\frac{V_o - V_g}{R_F} = \frac{V_g}{R_S}$$

Multiplicando ambos os lados por R_F :

$$V_o - V_g = V_g \cdot \left(\frac{R_F}{R_S} \right)$$

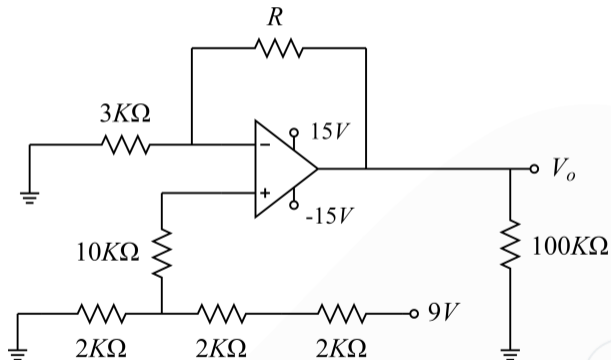
Isolando V_o :

$$V_o = V_g + V_g \cdot \left(\frac{R_F}{R_S} \right)$$

$$V_o = V_g \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_S} \right)$$

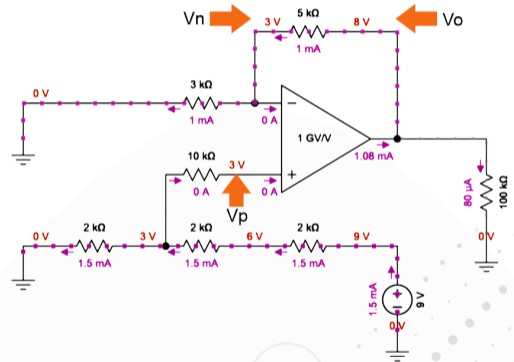
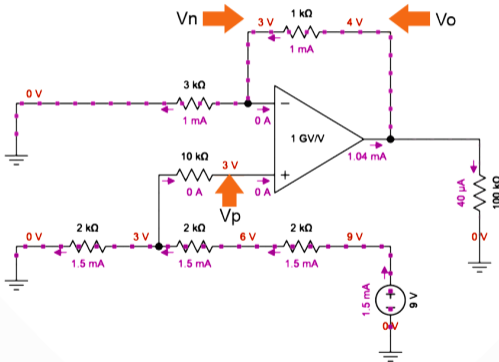
Amplificador Não Inversor - Exercício

Exerício: De acordo com o circuito abaixo, calcule o intervalo de V_o , se R_1 variar entre $1K\Omega$ e $5K\Omega$. Considere $+V_{cc} = 15V$ e $-V_{cc} = -15V$.



Amplificador Não Inversor - Exercício

Exercício: De acordo com o circuito abaixo, calcule o intervalo de V_o , se R_1 variar entre $1\text{K}\Omega$ e $5\text{K}\Omega$. Considere $+V_{CC} = 15\text{V}$ e $-V_{CC} = -15\text{V}$.



<https://everycircuit.com/circuit/4906807927635968>