

CAPÍTULO 16

AMPLIADORES OPERACIONAIS

INTRODUÇÃO

O nome Amplificador Operacional (A.O.) deve-se ao fato do dispositivo ser empregado para realizar operações matemáticas, como multiplicação, integração, diferenciação e também para uma infinidade de funções.

Com esse dispositivo podem ser conseguidos amplificadores capazes de operar com sinais que vão desde corrente contínua até vários megahertz.

Simbologia

Na figura 16-1 é mostrado o símbolo do amplificador operacional.

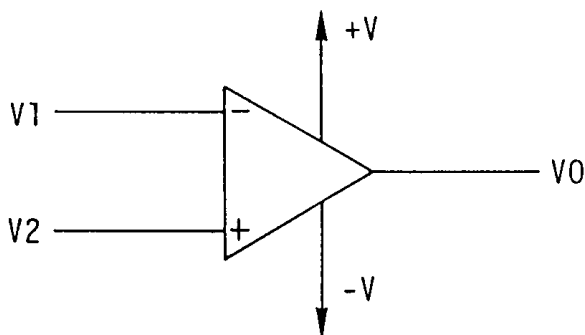


Figura 16-1 Símbolo do amplificador operacional

A entrada diferencial amplia a diferença dos sinais aplicados às entradas.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

O amplificador operacional ideal apresenta as seguintes características:

- Impedância de entrada infinita.
- Impedância de saída nula.
- Ganho de tensão infinito.
- Atraso nulo.
- Tensão de saída nula de $V_2 = V_1$.
- Resposta em frequência infinita.

ALIMENTAÇÃO

Na maioria das aplicações usa-se uma fonte simétrica ($\pm V$), porém há casos em que a fonte simples pode ser usada.

A alimentação pode ser obtida das seguintes maneiras:

- Duas fontes iguais, perfeitamente sincronizadas;
- Circuito divisor de tensão, com resistores exatamente iguais;
- Uma fonte simétrica, com valores típicos entre $\pm 10\text{ V}$ e $\pm 20\text{ V}$.

PINAGEM

O amplificador operacional mais difundido é o 741 (TBA221B). É um circuito integrado monolítico construído numa única base de silício.

Caracteriza-se por apresentar um alto ganho e uma elevada impedância de entrada. Esse amplificador operacional é encontrado com diversas denominações: μA 741, LM 741, CA 741, MC 741 e TBA 221B.

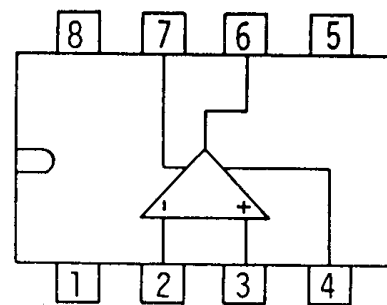


Figura 16-2 Pinagem do amplificador operacional 741

Pinos:

- 1 – Ajuste de *offset*.
- 2 – Entrada inversora.
- 3 – Entrada não inversora.
- 4 – Alimentação (- V).
- 5 – Ajuste de *offset*.
- 6 – Saída (V_b).
- 7 – Alimentação (+ V)
- 8 – Sem uso.

O ajuste de *offset* compensa a diferença entre os dois sinais de entrada.

AMPLIADOR OPERACIONAL COMO AMPLIFICADOR

O amplificador operacional como amplificador é mostrado na figura 16-3.

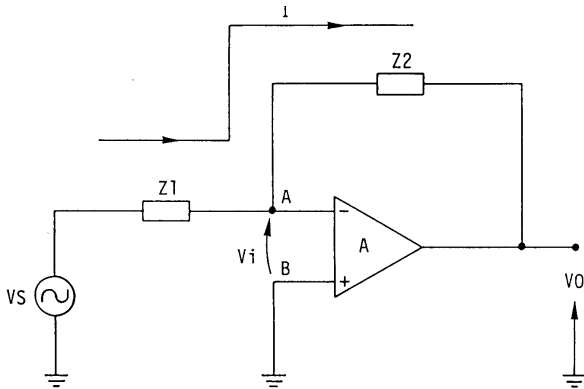


Figura 16-3 Amplificador operacional típico

O sinal de saída V_O é proporcional a V_{BA} ; ($V_B - V_A$).

Como sabemos o ∞ apresenta uma impedância de par entrada infinita, logo a corrente I passará de Z_1 a Z_2 , de onde podemos tirar a seguinte relação:

$$\frac{V_S - V_i}{Z_1} = \frac{V_O - V_i}{Z_2} \text{ ou seja:}$$

$$\frac{-Z_2}{Z_1} = \frac{V_O - V_i}{V_S - V_i} = (1)$$

Como o amplificador operacional apresenta ganho ∞ temos:

$$V_O = A \cdot V_i$$

$$V_i = \frac{V_O}{A}$$

Portanto se o ganho "A" tende a " ∞ ", a diferença de sinal ' V_i ' tende a zero.

Com isso a expressão (1) pode ser escrita como:

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{Z_2}{Z_1}, \text{ como "A"} = \frac{V_O}{V_S} \text{ temos que:}$$

$$A = \frac{-Z_2}{Z_1}$$

O sinal negativo na fórmula deve-se ao fato do extremo de Z_2 estar aplicado no terminal inversor do amplificador operacional (ponto A).

Com essa demonstração chegamos a algumas conclusões importantes:

1) Podemos determinar o ganho em malha aberta (sem realimentação, ou seja Z_1 e

$$Z_2): A = \frac{-V_O}{V_i}$$

2) O ganho do amplificador em malha fechada será $A = - (Z_2/Z_1) = - V_O/V_i$

3) A tensão de saída será negativa ou não, dependendo da aplicação do sinal de entrada : $V_O = -A \cdot V_i$, amplificador inversor de ganho $-A$

4) Se $Z_1 = Z_2$, o circuito comporta-se como um simples inversor: $V_O = -V_S$

5) Se $Z_1 < Z_2$, o circuito amplifica e inverte

6) Se $Z_1 > Z_2$, o circuito atenua e inverte.

APLICAÇÕES DOS AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

Aplicações lineares

São circuitos que exercem funções analógicas. Circuitos analógicos ou lineares são os que processam ou manipulam sinais cujas amplitudes variam continuamente dentro de um certo período. Nessa categoria encontram-se os osciladores, os amplificadores, os filtros ativos, os circuitos somadores e outros.

Amplificador com inversão

O circuito da figura 16-4 mostra um amplificador com inversão.

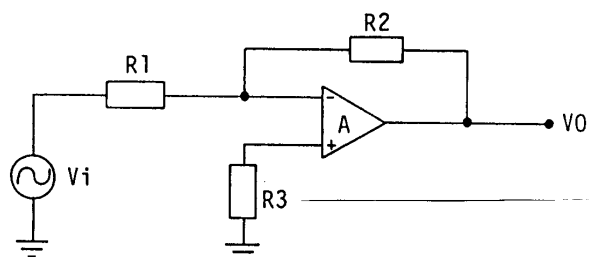


Figura 16-4 Amplificador com inversão

Suponhamos que os componentes do circuito da figura 16-4 assumam os seguintes valores: $R_1 = 20K$, $R_2 = 100K$ e $R_3 = 0$. Com isso tem-se que o ganho (A) será:

$$A = \frac{-R_2}{R_1} = -5$$

Caso usemos R_3 , o seu valor será:

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Portanto, se o sinal de entrada aplicado ao circuito for de 1V, a saída será de -5V. Esse circuito então executa também a função de multiplicador.

Amplificador sem inversão

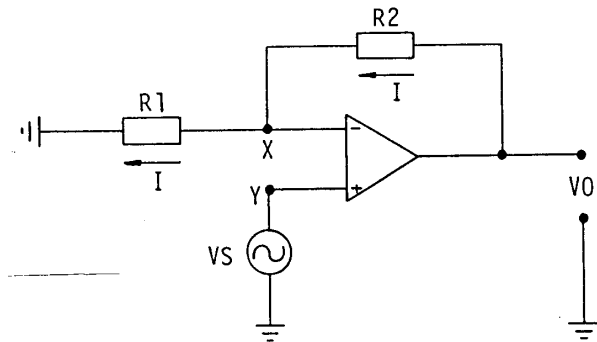


Figura 16-5 Amplificador sem inversão

Pelo circuito da figura 16-5 vemos que

$$I = \frac{V_S}{R_1}, \text{ teremos, nesse circuito que:}$$

$$V_O = V_{R2} + V_S.$$

Porém, como $V_{R2} = \frac{V_S}{R_1}$ temos que:

$$V_S \cdot \frac{R_2}{R_1} + V_S = V_O \therefore V_O = V_S \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\text{Por outro lado: } \frac{V_O}{V_S} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$\text{Ou seja: } A = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Amplificador com ganho unitário

O amplificador com ganho unitário apresenta uma elevada impedância de entrada (cerca de 400 MΩ), devido a alta realimentação e baixa impedância de saída (inferior a 1).

O amplificador com ganho unitário é mostrado na figura 16-6.

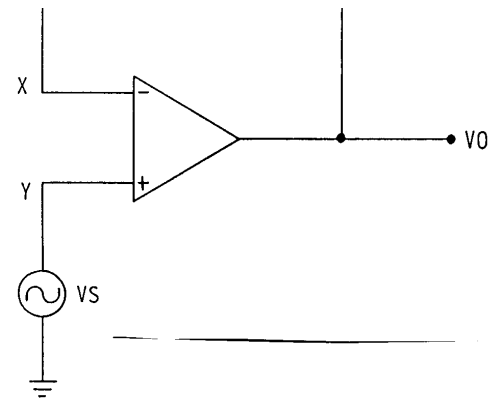


Figura 16-6 Amplificador com ganho unitário

$$\text{No circuito, } A = \frac{V_O}{V_S}$$

$$\text{como } V_O = V_S \text{ temos } A = 1$$

O amplificador nessa configuração é empregado como isolador ou “buffer”. O circuito isolador permite que possamos medir tensões em circuitos de alta impedância utilizando um voltímetro de baixa impedância.

Circuito somador

Como o nome indica o circuito somador tem por objetivo fornecer na saída uma tensão cujo valor é igual a soma das tensões aplicadas à entrada.

Tal circuito é mostrado na figura 16-7.

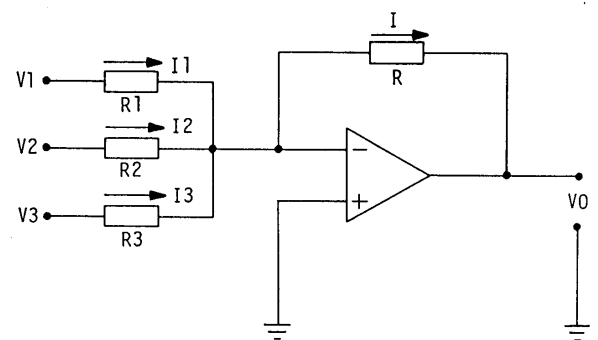


Figura 16-7 Circuito somador

Observando o circuito podemos escrever a equação da tensão de saída:

$$V_O = -I \times R = -(I_1 + I_2 + I_3) \times R$$

Ou ainda:

$$V_O = -\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right) \times R$$

Se considerarmos $R_1 = R_2 = R_3 = R$ teremos:

$$V_O = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

Circuito subtrator

É o circuito projetado para fornecer na saída um valor de tensão igual a diferença entre as tensões de entrada.

Para que o circuito funcione como subtrator é necessário que a seguinte relação seja obedecida:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

O circuito subtrator é mostrado na figura 16-8

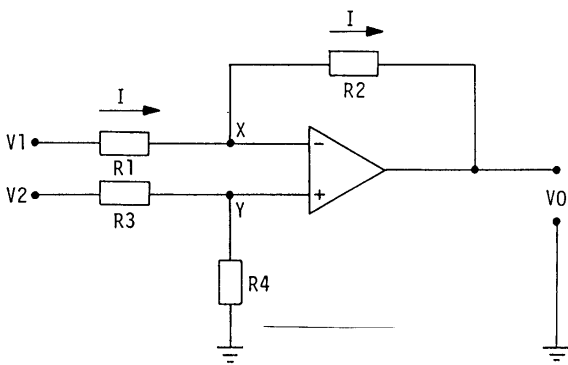


Figura 16-8 Circuito subtrator

Consideremos inicialmente todos os resistores iguais a "R".

$$\text{Temos então que: } I = \frac{VR_1}{R_1} = \frac{VR_2}{R_2},$$

Mas como $VR_1 = V_1 - V_X$ e $VR_2 = V_X - V_O$

$$\text{A corrente "I" será: } I = \frac{V_1 - V_X}{R} = \frac{V_X - V_O}{R}$$

$$\text{Logo: } V_1 - V_X = V_X - V_O$$

$$\text{e } V_O = 2 V_X - V_1$$

$$\text{Se } V_y = \frac{V_2}{2} \text{ e } V_O = 2 \left(\frac{V_2}{2} \right) - V_1$$

Finalmente tem-se que: $V_O = V_2 - V_1$

Aplicações não lineares

Circuitos não lineares são aqueles que ao contrário dos analógicos, sempre nos fornecerem saídas totalmente diferentes da forma de onda de entrada.

Circuitos comparadores – São circuitos cuja função principal é comparar o sinal de entrada V_1 com um sinal de referência V_R .

A figura 16-9 mostra um circuito comparador.

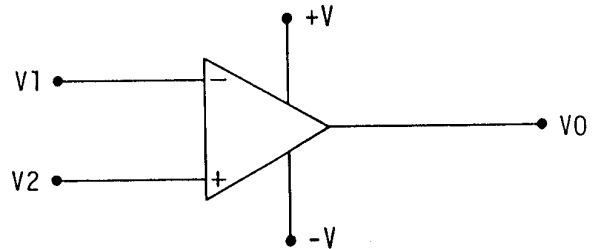


Figura 16-9 Circuito comparador

Comparador com tensão de referência nula –

Um circuito comparador com tensão de referência nula é mostrado na figura 16-10.

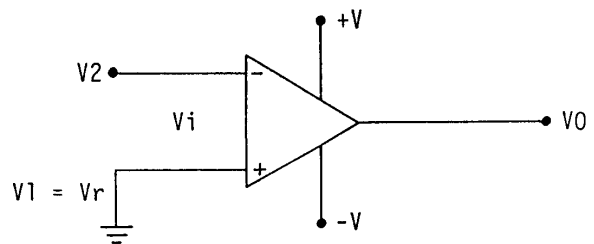


Figura 16-10 Circuito comparador com tensão de referência nula

No circuito temos que quando a tensão V_2 for positiva em relação à tensão V_1 de referência, a saída V_O será negativa.

E quando V_2 for negativa em relação à mesma tensão V_i , teremos uma V_O positiva.