

Amplificadores Operacionais

Os amplificadores operacionais fazem hoje parte de uma grande quantidade de projetos eletrônicos. Criados originalmente para realizar operações matemáticas, hoje eles estão presentes em circuitos de interface de sensores, condicionamento de sinais, osciladores, filtros e em muitos outros casos.

1. Amplificador Não Inversor

Na configuração de amplificador não inversor, mostrada na Figura 1, a fase do sinal de saída é a mesma do sinal de entrada. O ganho é determinado pelo resistor de realimentação. As fórmulas dadas a seguir são usadas para determinar esse ganho.

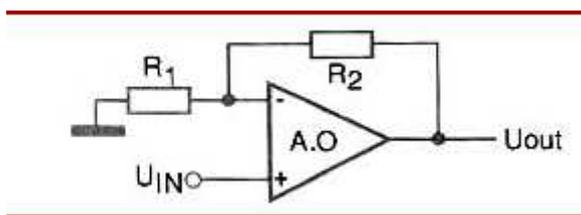


Figura 1: Amplificador Não Inversor.

Fórmula 1

Ganho:

$$G = 1 + \frac{R2}{R1}$$

Onde:

G é o ganho;

R1 e R2 são as resistências em ohms (Ω).

Fórmula 2

Ganho de tensão:

$$U_{out} = U_{inx} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

Onde:

U_{out} é a tensão de saída em volts (V);

U_{in} é a tensão de entrada em volts (V);

R_1 e R_2 são as resistências em (Ω).

Obs.: A tensão de saída não pode exceder a tensão de alimentação.

Exemplo de Aplicação:

No circuito mostrado na Figura 2, R_2 é um resistor de 100 k Ω e R_1 é um resistor de 10 k Ω resistor. Determine o ganho.

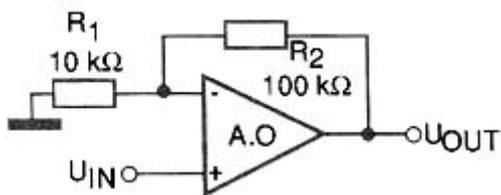


Figura 2: Exemplo de Amplificador Não Inversor.

Dados:

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

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

$$G = ?$$

Aplicando a fórmula 1:

$$G = 1 + \frac{100 \times 10^3}{10 \times 10^3} = 1 + 10 = 11$$

2- Amplificador Inversor

A polaridade do sinal de saída é oposta à do sinal de entrada. A configuração básica de um amplificador operacional inversor é mostrada na Figura 3.

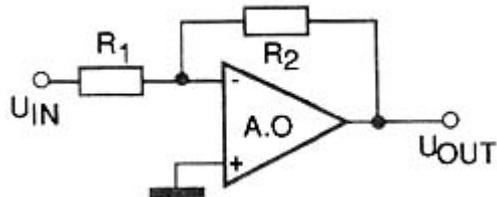


Figura 3: Amplificador Inversor.

Fórmula 3

Ganho do amplificador inversor:

$$G = -\frac{R2}{R1}$$

Onde:

G é o ganho

R1 e R2 são as resistências em (Ω).

3- Seguidor de tensão

O seguidor de tensão é uma configuração especial onde R1 e R2 são nulos (zero). Essa configuração tem um ganho de tensão unitário (1), conforme mostra a Figura 4.

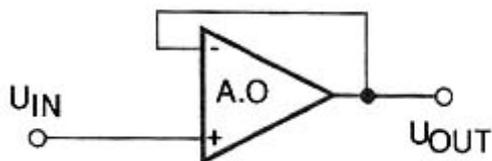


Figura 4: Seguidor de tensão.

4- Amplificador Somador

A configuração básica de um amplificador somador usando um amplificador operacional é mostrada na Figura 5. A tensão de saída é dada pela soma algébrica das tensões de entrada, multiplicada pela relação entre R2 e R1.

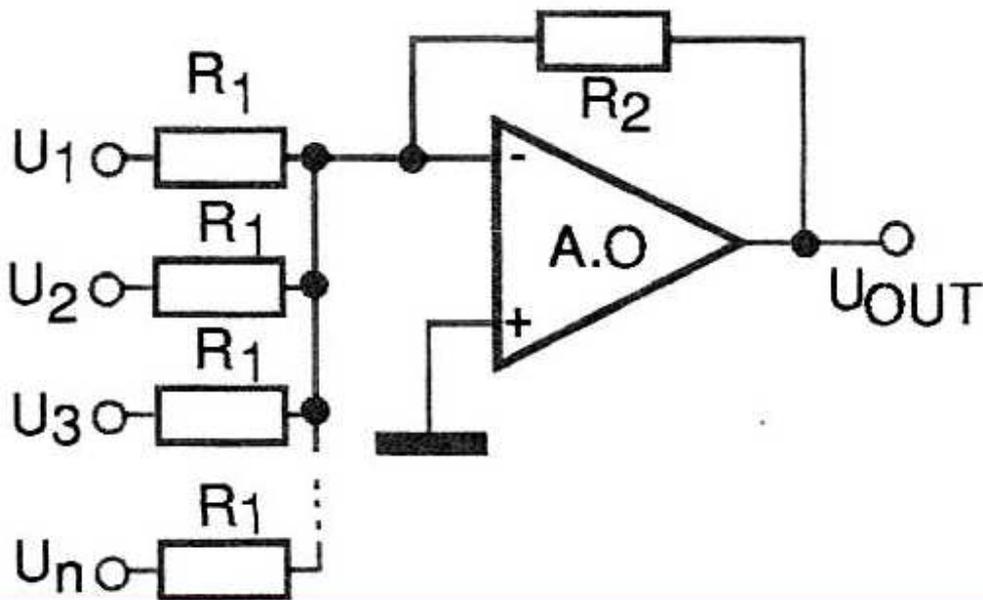


Figura 5: Amplificador Somador.

Fórmula 4

Amplificador somador:

$$U_{out} = \frac{R_2}{R_1} \times (U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n)$$

Onde:

U_{out} é a tensão de saída em volts (V);

U_1, U_2, \dots, U_n são as tensões de entrada em volts (V);

R_1, R_2 são as resistências em (Ω).

Exemplo de Aplicação

No amplificador somador mostrado na Figura 6, R_2 tem 100 k Ω e R_1 10 k Ω . Determine a tensão de saída quando as tensões de entrada são $U_1=100$ mV, $U_2 = -200$ mV e $U_3 = 250$ mV.

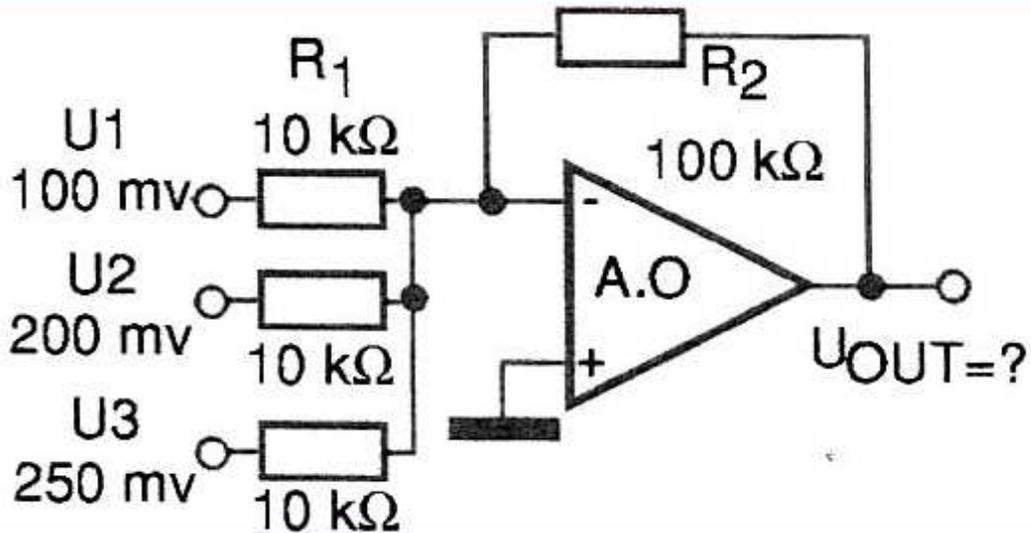


Figura 6: Exemplo de Amplificador Somador.

Dados:

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

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$U_1 = 100 \text{ mV}$$

$$U_2 = -200 \text{ mV}$$

$$U_3 = 250 \text{ mV}$$

$$U_{out} = ?$$

Aplicado a fórmula 4

$$U_{out} = \frac{100 \times 10^3}{10 \times 10^3} \times (100 \times 10^{-3} - 200 \times 10^{-3} + 250 \times 10^{-3})$$

$$U_{out} = 10 \times (150 \times 10^{-3}) = 1500 \text{ mV} = 1.5 \text{ V}$$

5- Amplificador Subtrator

Não confundir com o diferenciador. O subtrator ou amplificador diferença produz uma tensão de saída que é a diferença das tensões aplicadas em suas entradas. Essa configuração é mostrada na Figura 7.

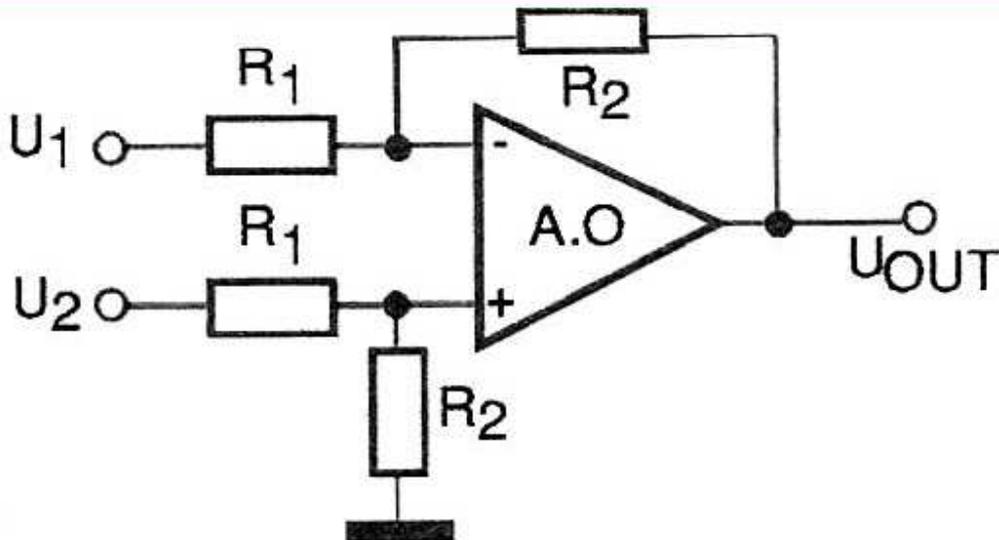


Figura 7: Amplificador Subtrator.

Fórmula 5

Subtrator:

$$U_{out} = \frac{R2}{R1} \times (U2 - U1)$$

Onde:

Uout é a tensão de saída em volts (V);

U1 e U2 são as tensões de entrada em volts (V);

R1 e R2 são os resistores em (Ω).

Obs: a tensão de saída deve ser menor que a tensão de alimentação.

6- Amplificador Diferenciador

Diferenciação (derivada) é o processo usado para se encontrar a variação instantânea de um sinal, pelo traçado de uma linha tangente ao ponto de interesse no gráfico que representa esse sinal. Conforme mostra a Figura 8 temos um circuito que faz essa operação com um sinal usando um amplificador operacional.

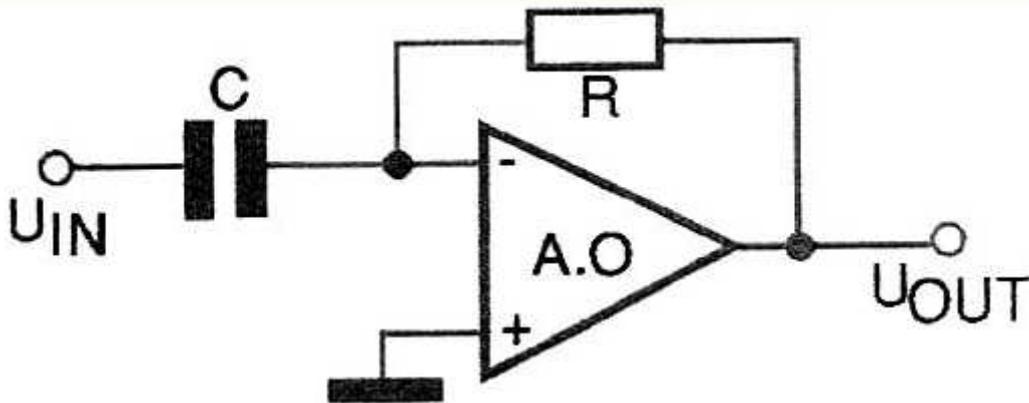


Figura 8: Amplificador Diferenciador.

Formula 6

Diferenciação:

$$U_{out} = -RxCx \left(\frac{dU_{in}}{dt} \right)$$

Onde:

U_{out} é a tensão instantânea em volts (V);

U_{in} é a tensão de entrada em volts (V);

R é a resistência em (Ω);

C é a capacitância em farads (F).

7- Amplificador de Integração

Na Figura 9 mostramos um circuito que realiza a integração de um sinal, usando um amplificador operacional. A chave é usada para determinar o ponto de partida do processo já que a tensão de saída é uma função do tempo.

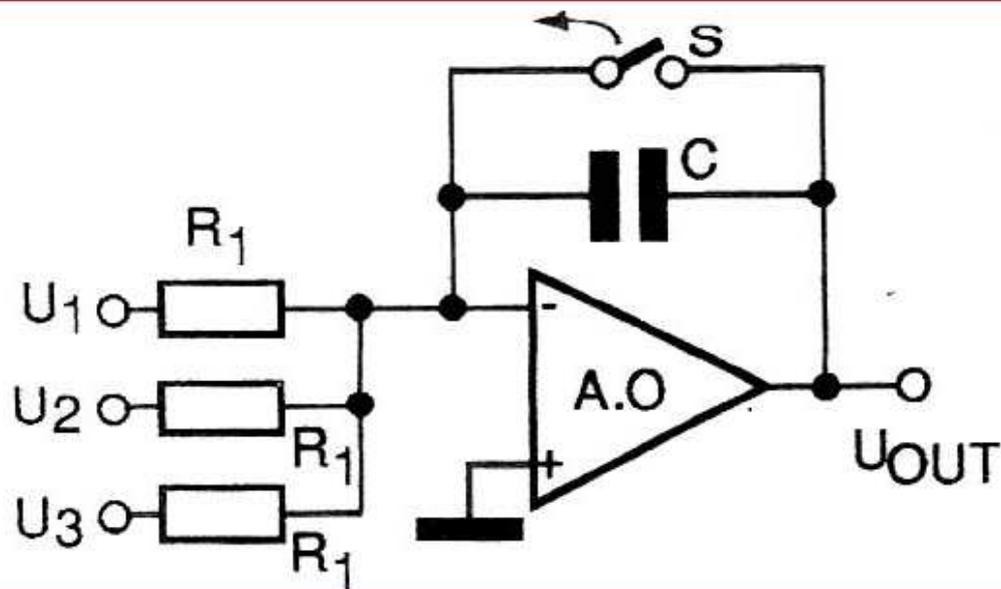


Figura 9: Amplificador de Integração.

Fórmula 7

Integração:

$$U_{out} = \frac{1}{C} \int \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right) dt$$

Onde:

U_{out} é a tensão de saída em volts (V);

$U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ são as tensões de entrada em volts (V);

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ são as resistências em (Ω);

C é a capacitância em farads (F).

8- Amplificador Logarítmico

Num amplificador logarítmico, o ganho depende da tensão de entrada e da corrente de entrada. O circuito mostrado na Figura 10 usa um transistor como elemento de realimentação variável, determinado o ganho em função da intensidade do sinal de entrada. As fórmulas seguintes podem ser aplicadas no cálculo desse circuito.

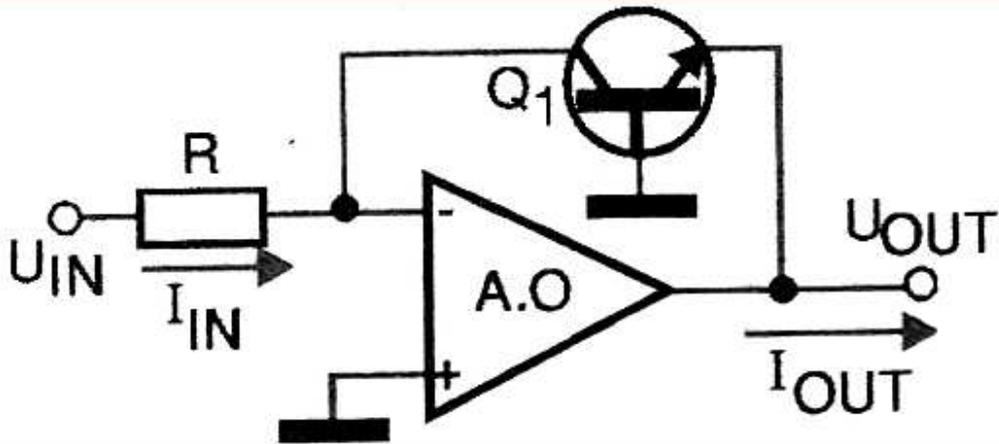


Figura 10: Amplificador Logarítmico.

Fórmula 8

Ganho de tensão:

$$U_{out} = -U_{in} \lg\left(\frac{I_{in}}{I_{out}}\right)$$

Onde:

U_{out} é a tensão de saída em volts (V);

U_{in} é a tensão de entrada em volts (V);

I_{in} é a corrente de entrada em ampères (A);

I_{out} é a corrente de saída em ampères (A).

Fórmula 9

Corrente de entrada:

$$I_{in} = \frac{U_{in}}{R}$$

Onde:

I_{in} é a corrente de entrada em ampères (A);

U_{in} é a tensão de entrada em volts (V);

R é a resistência em (Ω).

Obs.: a tensão de saída não pode ultrapassar a tensão da fonte de alimentação.
Para amplificadores operacionais comuns, o limite é normalmente de 15 V.

9- Amplificador de Fonte de Tensão

Essa configuração é usada como referência de tensão e se usada com um amplificador operacional de potência, pode ser utilizada como zener de potência ou regulador de tensão. O circuito é mostrado na Figura 11, e as fórmulas para cálculos são fornecidas em seguida.

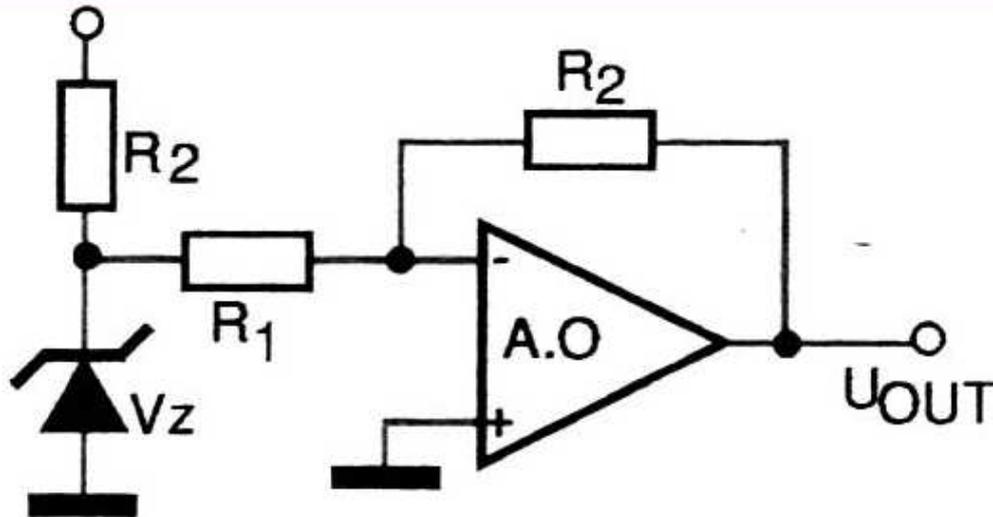


Figura 11: Amplificador de Fonte de Tensão.

Fórmula 10

Fonte de Tensão:

$$U_{out} = -U_{z} \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

Onde:

U_{out} é a tensão de saída em volts (V);

U_z é a tensão zener em volts (V);

R_1 e R_2 são as resistências em (Ω).

Obs.: R_z é calculado de acordo com as fórmulas tradicionais para o diodo zener.

Exemplo de Aplicação:

Determine o valor de R2 quando se deseja obter uma referência de tensão na saída de 7 V, utilizando um diodo zener de 3 V. R1 é dado: 500Ω.

Dados: $U_z = 3 \text{ V}$

$U_{out} = 7 \text{ V}$

$R_1 = 500\Omega$

$R_2 = ?$

Usando a fórmula 10:

$$7 = 3x\left(\frac{R_2}{500}\right)$$

$$7 = \frac{3xR_2}{500}$$

Isolando R2:

$$R_2 = \frac{7x500}{3}$$

$$R_2 = \frac{3500}{3} = 1166\text{ohms}$$

10- Amplificador de Fonte de Corrente Constante (carga flutuante)

O circuito mostrado na Figura 12 é indicado para cargas flutuantes. O resistor R em série com o diodo zener é calculado da forma convencional, para circuitos desse tipo.

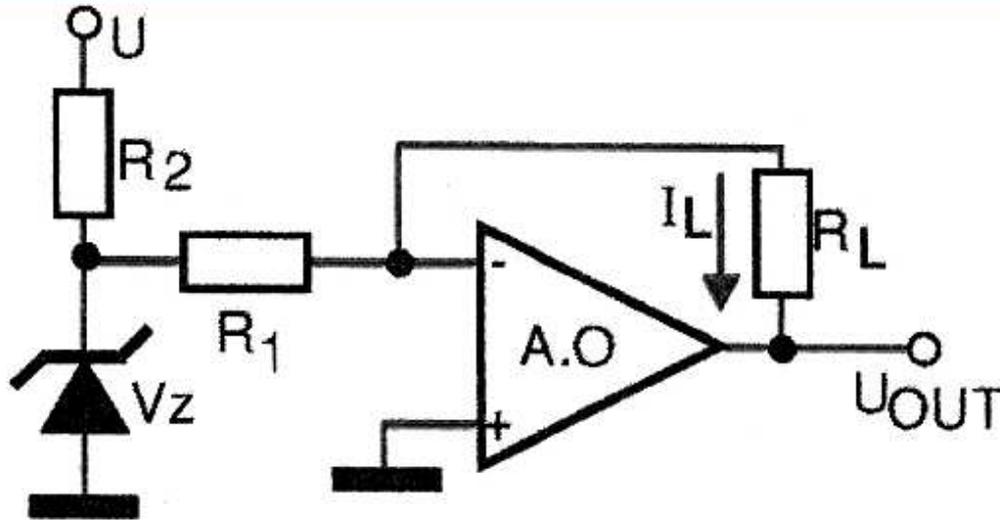


Figura 12: Amplificador de Fonte de Corrente Constante (carga flutuante).

Fórmula 11

Fonte de Corrente Constante - carga flutuante

$$I_L = \frac{U_Z}{R_1}$$

Onde:

I_L é a corrente na carga em ampéres (A);

U_Z é a tensão zener em volts (V);

R_1 é a resistência em (Ω).

Obs.: R_z é calculada de acordo com as fórmula normais para diodos zener

11- Amplificador de Fonte de Corrente Constante (alta corrente)

Uma outra configuração indicada para cargas de alta corrente é a mostrada na Figura 13. A tensão de referência é aplicada à entrada e pode ser fornecida à carga por uma fonte de tensão usando outro amplificador operacional.

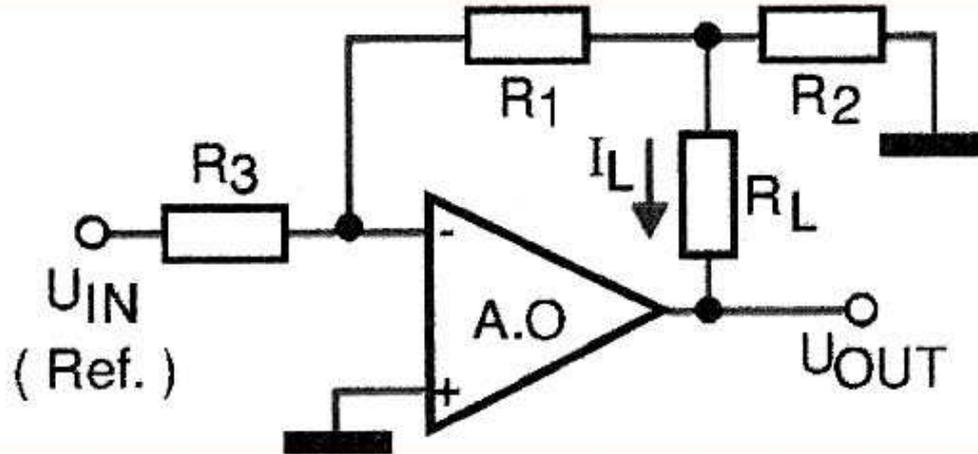


Figura 13: Amplificador de Fonte de Corrente Constante (alta corrente).

Fórmula 12

Fonte de Corrente Constante - Alta Potência

$$I_L = U_{IN} \times \left[\frac{R1 \times (R1 + R2)}{R1 \times R2 \times R3} \right]$$

Onde:

I_L é a corrente na carga em ampéres (A);

U_{IN} é a tensão de entrada ou referência em volts (V);

$R1$, $R2$ e $R3$ são as resistências (Ω).

12- Amplificador de Valor Absoluto

Nesse tipo de circuito a tensão de saída é o valor absoluto da tensão de entrada multiplicado pelo ganho do circuito. O ganho depende da relação entre $R2$ e $R1$ de acordo com as seguintes fórmulas. O circuito é mostrado na Figura 14.

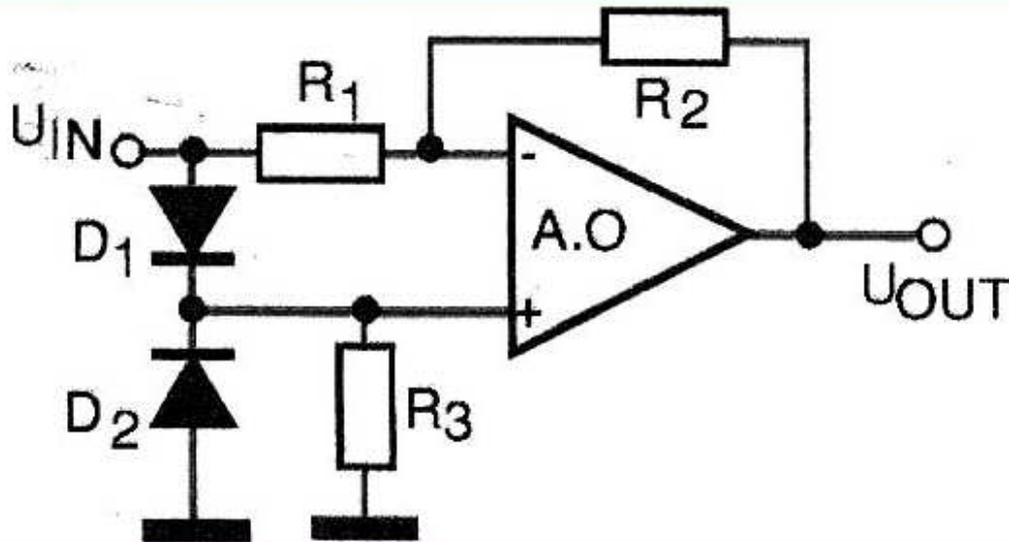


Figura 14: Amplificador de Valor Absoluto.

Amplificador de Valor Absoluto

$$G = \frac{R2}{R1}$$

and

$$U_{out} = |U_{in}| \times \left(\frac{R2}{R1} \right)$$

Onde:

G é o ganho;

Uout é a tensão de saída em volts (V);

Uin é a tensão de entrada em volts (V);

R1 e R2 são as resistências em (Ω).

Obs:

a) Uout deve ser menor que a tensão de alimentação

b) R3 é escolhido de acordo com a aplicação. Valores típicos são: R3 = R1.

13- Voltímetro com Amplificador Operacional

Um voltímetro de baixa tensão e alta impedância de entrada pode ser elaborado conforme mostra o circuito da Figura 15.

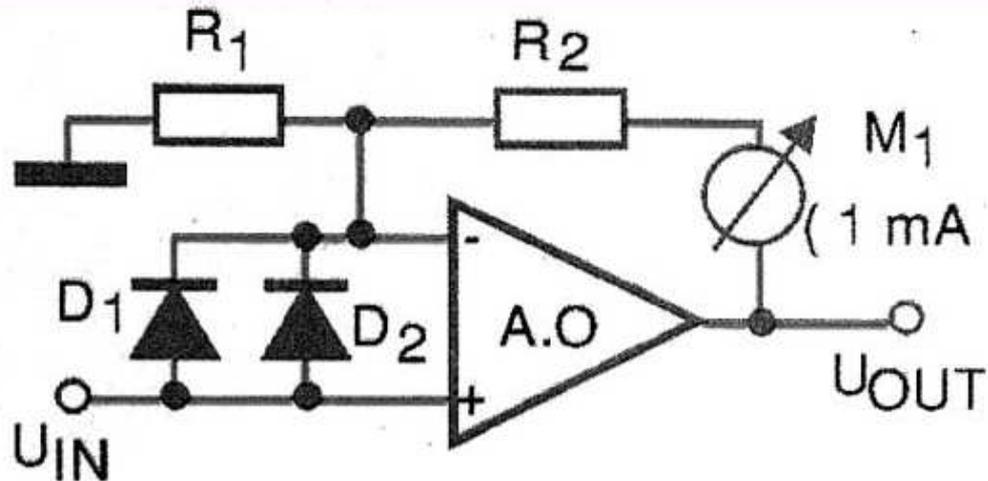


Figura 15: Voltímetro com Amplificador Operacional.

Fórmula 14

Voltímetro de Alta Impedância

$$I_m = \frac{U_{in}}{R_1}$$

Onde:

I_m é a corrente que circula através do indicador em ampéres (A);

U_{in} é a tensão de entrada em volts (V);

R_1 é a resistência em (Ω).

Obs.: R_2 é o resistor limitador de corrente escolhido de acordo com o fundo de escala do instrumento.