

TEORIA DO AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Por Leandro Teodoro
09 jun 2012

O texto a seguir faz um apanhado básico sobre o amplificador operacional, que serve como introdução aos estudos deste circuito integrado.

1. INTRODUÇÃO

O amplificador operacional (AmpOp) inicialmente foi projetado para realizar operações matemáticas, e este fato carrega em seu nome. O primeiro AmpOp integrado a tornar-se largamente disponível foi o Fairchild UA-709, no final dos anos 60. O circuito integrado 741 foi a base para o desenvolvimento dos circuitos integrados atuais sendo considerado um clássico e fabricado pelas maiores empresas do setor.

Basicamente um AmpOp é um amplificador que possui alto ganho; alta impedância de entrada; baixa impedância de saída e duas entradas, uma inversora e outra não-inversora.

2. O AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

Para compreender o funcionamento do AmpOp e as entradas inversora e não-inversora, é importante começar estudando o amplificador diferencial. O circuito do amplificador diferencial com saída com terminal simples é mostrado a seguir:

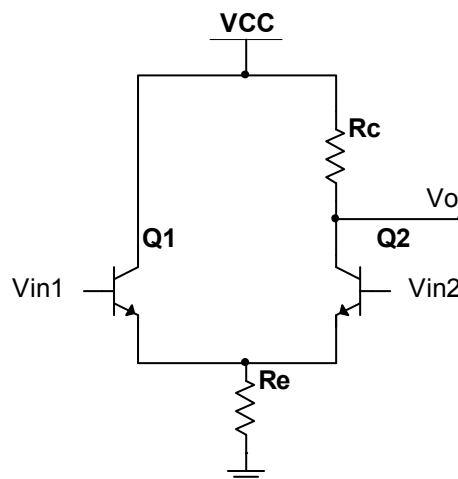


Figura 1 - Amplificador Diferencial

Façamos a análise ca da entrada Vin1. Assim, a entrada Vin2 é aterrada e Vcc é substituído pelo terra (já que a fonte cc comporta-se como um curto para ca).

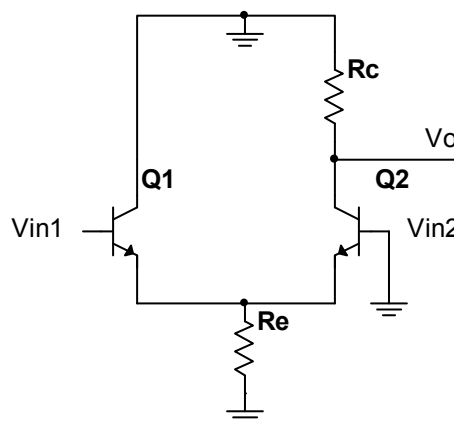


Figura 2 - Análise ca

Aplicando um sinal alternado a entrada Vin1 temos que:

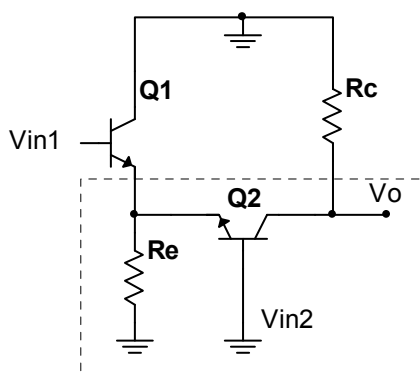


Figura 3

Verifica-se que quando aterrado Vin2, o transistor Q2 apresenta uma configuração de base comum, estando a tensão Vo em fase com Vin1. Pois é característica da configuração base a não inversão do sinal amplificado. Podemos notar então que Vin1 é a entrada não-inversora.

Agora façamos a análise da entrada Vin2. Assim, aterramos a entrada Vin1.

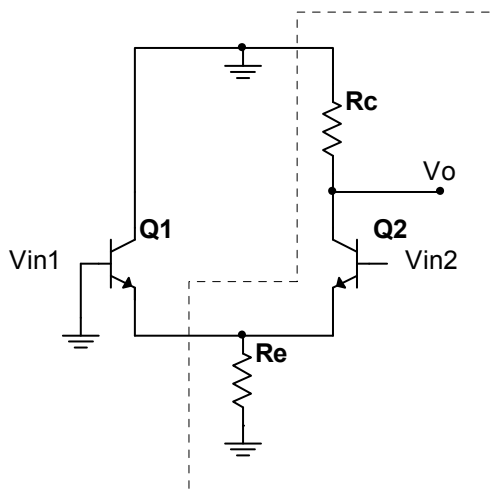


Figura 4 - Entrada Inversora

Verifica-se nestas condições que o transistor Q2 está em configuração emissor comum, e como é característico desta configuração o sinal de saída (Vo) é invertido em relação ao sinal de entrada (Vin2).

Com estas análises podemos checar claramente a diferença entre as entradas inversora e não-inversora.

3. A ALIMENTAÇÃO

A maioria dos circuitos utilizando amplificadores operacionais utilizam fonte de alimentação simétrica. Qual fornece uma tensão positiva e outra negativa tendo como referência o terra.

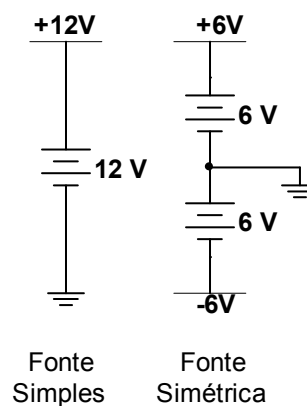


Figura 5

O AmpOp é alimentado da seguinte forma:

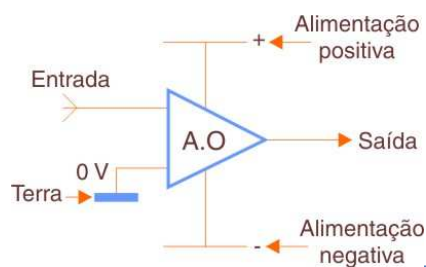


Figura 6 - Alimentação Simétrica [2]

Para fontes de alimentação que utilizam retificação com transformador com center-trap, variações do circuito abaixo podem ser utilizados, desde que não exceda o limite de corrente do 1A do CI regulador. Os circuitos integrados 7812 e 7912 realizam a regulação de tensão, sendo a família 78XX regula a tensão positiva e a família 79XX a negativa.

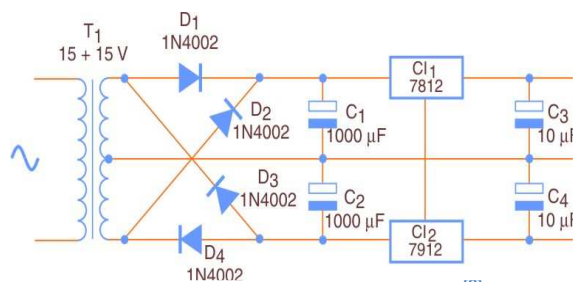


Figura 7 - Fonte com transformador [2]

Em muitos casos não é possível o uso de transformador, como por exemplo, um circuito alimentado com bateria. Então, a alimentação simétrica pode ser conseguida pelo uso de divisor de tensão.

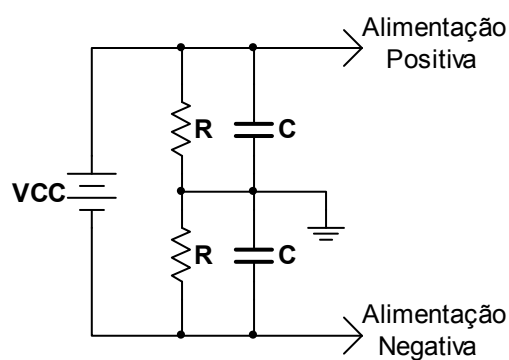


Figura 8

4. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO AMPLIFICADOR OPERACIONAL

As características básicas de um amplificador ideal operacional podem ser simplificadas no quadro abaixo:

Impedância de entrada	Infinita
Impedância de saída	Zero
Ganho de tensão em malha aberta	Infinito

No entanto, como o amplificador operacional não pode ser fabricado, veremos algumas características dos amplificadores operacionais reais.

4.1. Impedância de entrada

A impedância de entrada (Z_{in}) de um AmpOp real é considerada alta. Para um amplificador 741 a impedância é da ordem de $2M\Omega$. Para impedâncias de entrada

maiores são usados amplificadores com entrada a transistor de efeito de campo. Por exemplo, a impedância de entrada do amplificador TL072 está na ordem de $10^{12}\Omega$.

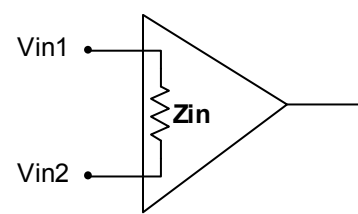


Figura 9 - Impedância de Entrada

4.2. Tensão de OFFSET

Mesmo com as entradas inversora e não-inversora aterradas surge uma tensão na saída do amplificador esta tensão é denominada tensão de Offset. Esta tensão aparece porque os transistores de entrada tem valores diferentes de V_{BE} . Alguns amplificadores disponibilizam terminais para ajuste de Offset. Por exemplo, para o 741C esta tensão é da ordem de $\pm 2mV$.

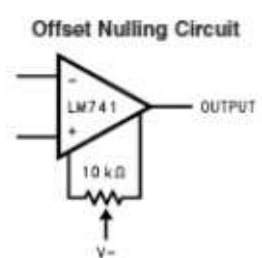


Figura 10 - Ajuste de Offset

4.3. Taxa de inclinação ou SLEW RATE

É a taxa de quanto a tensão pode variar em um período de tempo, normalmente expressa em volts por microsegundo ($V/\mu s$). Se a taxa de variação da entrada for maior que a Slew Rate o amplificador produzirá uma saída com o sinal distorcido.

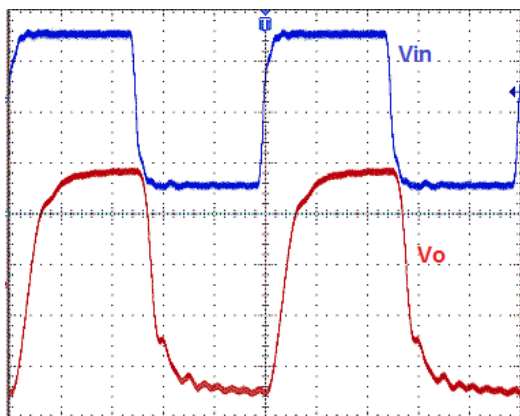


Figura 11 - Slew Rate

4.3. Resposta em frequência

É o ganho do amplificador em malha aberta em função da frequência do sinal de entrada.

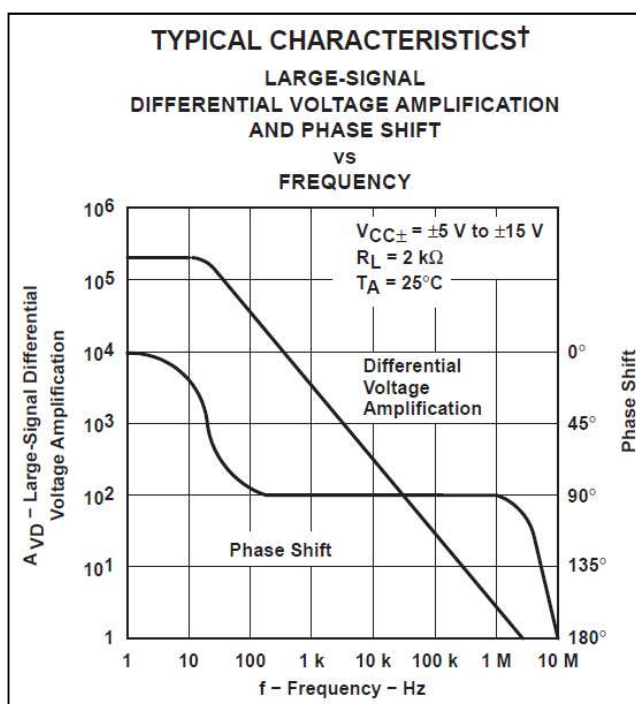


Figura 12 - Ganho em frequência [3]

4.4. Máxima corrente de saída

O AmpOp é um circuito integrado de baixa potência. Tendo como exemplo o 741C, mesmo com sua baixa impedância de saída, a corrente máxima é de 25mA.

4.5. Tensão máxima de alimentação

Os amplificadores operacionais cobrem uma ampla faixa de tensões de alimentação. Sendo seu limite compatível com as tecnologias TTL e CMOS. Alguns limites máximos de tensões de alimentação são mostrados abaixo:

LM741	±22V
LM741A	±22V
LM741C	±18V
TL072	±18V

REFERÊNCIAS

- [1] AMPLIFICADORES OPERACIONAIS, Luiz Alberto Danilow, Pedro Celestino, Editora Érica, 1ª Edição
- [2] Fonte simétrica 12+12 V x 1 A, Newton C. Braga, Disponível em: <http://www.sabereletronica.com.br>
- [3] TL072 DATASHEET, Texas Instruments, disponível em: www.datasheetarchive.com