

O circuito varia entre os produtores e fabricantes, porém todos os amp ops possuem basicamente a mesma estrutura interna, que consiste de três estágios:

1. Amplificador diferencial

- Estágio de entrada - provê amplificação com baixo ruído, alta impedância de entrada, geralmente com uma saída diferencial

2. Amplificador de tensão

- Provê um alto ganho de tensão, geralmente com uma única saída

3. Amplificador de saída

- Estágio de saída - provê a capacidade de fornecer alta corrente, baixa impedância de saída, limite de corrente e proteção contra curto-circuito.

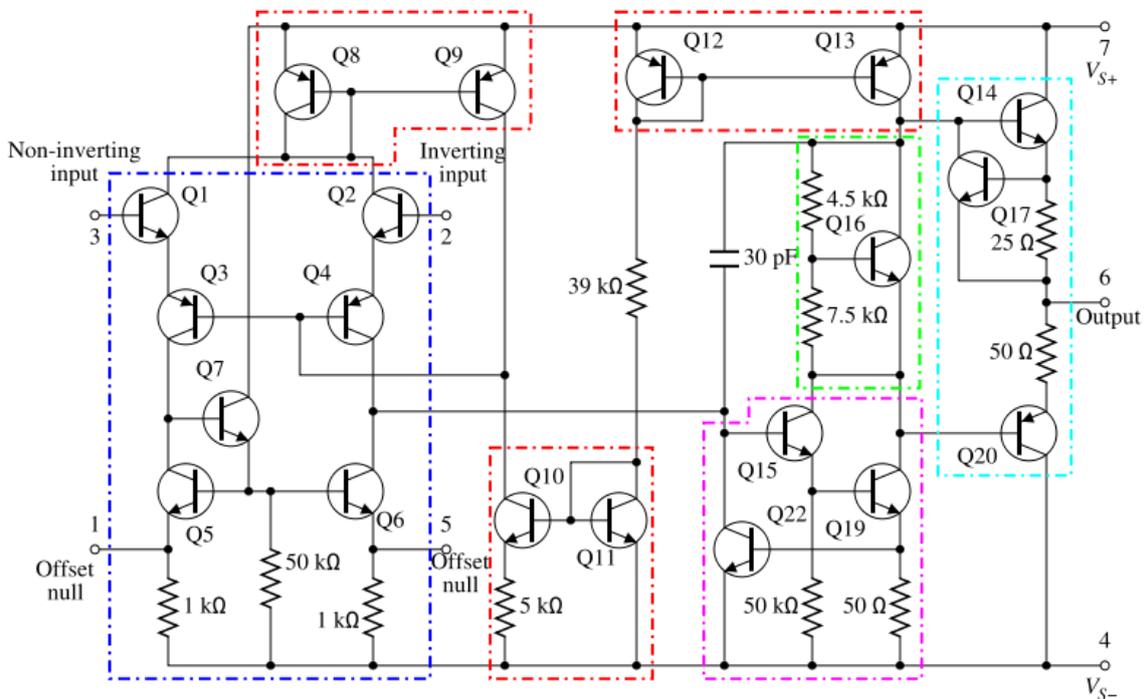


FIGURA 1: Circuito interno do Amplificador Operacional 741.

Fontes de corrente

As seções tracejadas em vermelho são as fontes de corrente. A corrente primária, da qual as outras correntes estáticas são geradas, é determinada pela alimentação do chip e pelo resistor de 39 kΩ atuando (em conjunto com as duas junções de diodo dos transistores) como uma fonte de corrente. A corrente gerada é de aproximadamente $(V_{S+} - V_{S-} - 2V_{be}) / 39 \text{ k}\Omega$.

As condições em CC do estágio de entrada são controladas pelas duas fontes de corrente à esquerda. A fonte formada por Q8/Q9 permite tensões de modo-comum maiores nas entradas sem exceder a faixa ativa de nenhum transistor no circuito.

A fonte de corrente formada por Q10/Q11 é usada, indiretamente, para determinar a corrente no estágio de entrada. A corrente é determinada pelo resistor de 5 k Ω . A controle do estágio de entrada ocorre da seguinte maneira:

As saídas das fontes de corrente Q8/Q9 e Q10/Q11 juntas formar um circuito diferenciador de corrente com alta impedância. Se o estágio de entrada tende a desviar (como detectado por Q8) do valor definido por Q10, isto é refletido por Q9 e qualquer mudança do circuito é corrigida alterando a voltagem nas bases de Q3 e Q4. Desta maneira, as condições de CC do estágio de entrada são estabelecida por um sistema de realimentação negativa de alto ganho.

A fonte de corrente no topo à direita, formada por Q12/Q13 provê uma carga de corrente constante para o estágio de ganho classe A, através do coletor de Q13, que é largamente independente da tensão de saída.

A seção tracejada em azul é o [amplificador diferencial](#). Q1 e Q2 são seguidores de emissor e junto com o par [base comum](#) composto por Q3 e Q4, formam o estágio de entrada diferencial. Além disso, Q3 e Q4 funcionam também como registradores de nível e provêm ganho de tensão para alimentar o amplificador classe A. Eles também ajudam a aumentar a taxa de Vbe reverso nos transistores de entrada.

O amplificador diferencial formado por Q1 - Q4 comanda uma fonte de corrente de carga ativa formadas pelos transistores Q5 - Q7. Q7 aumenta a precisão da fonte de corrente pela redução da quantia de corrente de sinal necessária para Q3 controlar as bases de Q5 e Q6. Esta fonte de corrente provê a conversão de estágio diferencial para saída única, como segue:

A corrente de sinal de Q3 é a entrada para a fonte de corrente, enquanto a saída da fonte (o coletor do Q6) é conectada ao coletor de Q4. Ali, as correntes de sinal de Q3 e Q4 são somadas. Para sinais de entrada diferencial, os sinais de corrente de Q3 e Q4 são iguais e opostos. Desse modo, a soma é o dobro das correntes individuais. Isto completa a conversão para uma saída única.

A tensão de sinal para um circuito aberto sobre este ponto é dada pelo produto das correntes de sinal somadas pelo valor da associação paralela entre as resistências dos coletores de Q4 e Q6. Como os coletores de Q4 e Q6 aparecem como altas resistências à corrente de sinal, o ganho de tensão de circuito aberto é muito alto.

Deve se notar que a corrente de base nas entradas não é zero, e que a [impedância](#) efetiva das entradas diferenciais do 741 é de cerca de 2 M Ω . Os pinos de ajuste de offset (offset null) podem ser usados em conjunto com um [potenciômetro](#) para remover qualquer voltagem de offset que iria existir na saída do amp op quando o sinal aplicado entre as entradas fosse igual a zero.

Estágio de ganho classe A

A área tracejada em [rosa](#) é o estágio de ganho [classe A](#). Ele consiste de dois transistores NPN em uma [configuração Darlington](#) e utilizam a saída de fonte de corrente como a sua carga de coletor para obter um alto [ganho](#). O [capacitor](#) de 30 [pF](#) provê uma realimentação negativa variável com a frequência no estágio de ganho classe A para estabilizar o amplificador em configurações de realimentação. Esta técnica é chamada de compensação Miller e funciona de uma maneira similar ao circuito [integrador](#) com amp op. Esta é também conhecida como compensação de [pólo](#) dominante, porque introduz um [pólo dominante](#) (que mascara os efeitos dos outros pólos) na resposta de frequência em [malha aberta](#). Este pólo pode ser baixo como 10 [Hz](#) em um amplificador 741 e introduz uma perda de -3 dB na resposta em malha aberta a esta frequência. Isto é feito para conseguir [estabilidade](#) incondicional no amplificado até o ganho unitário de [malha fechada](#) e torna esta tipo de amplificador mais fácil de se utilizar.

Estágio anterior da saída

A seção tracejada em verde (baseada ao redor de Q16) é um chaveador de nível de voltagem ou um multiplicador de V_{BE} ; uma espécie de [fonte de tensão](#). No circuito mostrado, Q16 provê uma constante queda de tensão entre seu coletor e emissor independente da corrente que passe pelo circuito. Se a corrente de base no transistor for tida como zero, e a tensão entre base e emissor (e através do resistor de 7.5 $k\Omega$) for de 0.625 V (um valor típico em um transistor bipolar na região ativa), então a corrente que flui através do resistor de 4.5 $k\Omega$ irá ser a mesma que a do resistor de 7.5 $k\Omega$, e irá produzir uma tensão de 0.375 V através dela. Isto mantém a voltagem no transistor, e nos dois resistores em $0.625 + 0.375 = 1$ V. Isto serve para polarizar os dois transistores de saída levemente para prevenir a [distorção por crossover](#). O problema da distorção de crossover pode ser resolvido utilizando-se dois diodos de silício (2×0.7 V) em substituição ao estágio tracejado em verde. Em amplificadores com componentes discretos, para se ter sucesso com esta técnica é necessário que os diodos e os transistores de saída estejam em contato térmico.

Estágio da saída

O estágio de saída (tracejado em [ciano](#)) é um amplificado seguidor de emissor [Classe AB](#) push-pull (Q14, Q20) com a entrada definida pela fonte de tensão V_{BE} de Q16 e seus [resistores](#) de base. Este estágio é efetivamente controlado pelos coletores de Q13 e Q19. A faixa de saída do amplificador é de cerca de 1 [volt](#) a menos do que a tensão de alimentação, definido em parte pelo $V_{ce(sat)}$ dos transistores de saída.

O resistor de 25 ohms no estágio de saída atua com um sensor de corrente para prover a função de limite de corrente de saída que limita o fluxo de corrente no seguidor de emissor Q14 para cerca de 25 mA no caso do 741. A limitação de corrente para a saída

negativa é feita sentindo-se a voltagem no resistor do emissor do Q19 e utilizando isto para reduzir a carga na base de Q15. Versões posteriores deste esquema de amplificador podem mostrar um método levemente diferente de limitar a corrente de saída. A resistência de saída não é zero como seria em um amp op ideal, porém com a realimentação negativa ela se aproxima a zero.