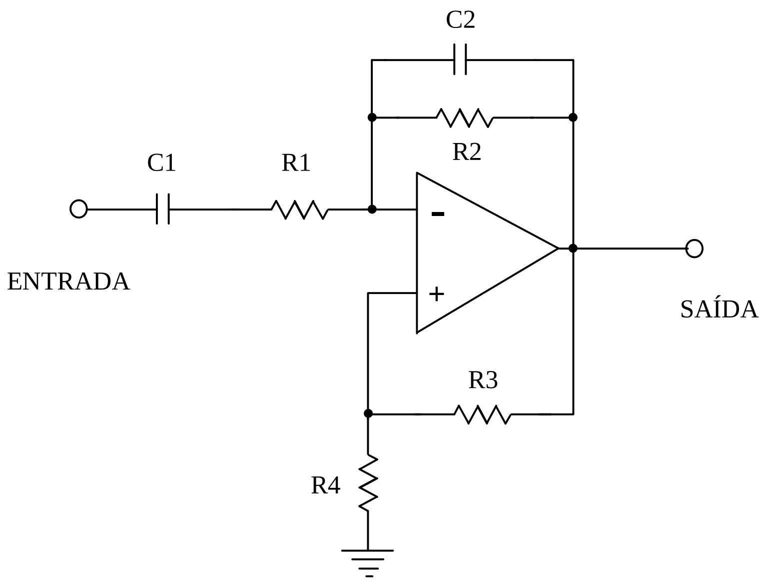
UM FILTRO PASSA-BANDA ATIVO COM Q E FREQÜÊNCIA PRÓPRIA AJUSTÁVEIS INDEPENDENTEMENTE

Por Luiz Amaral
PY1LL/AC2BR

É comum se terem filtros passa-banda ativos ou com **Q** fixo, ou com **Q** dependente da freqüência.

Esse artigo mostra um filtro simples, onde o ajuste de freqüência é independente do ajuste de **Q**, o que pode significar uma grande vantagem em certos projetos.

A topologia sugerida é mostrada na Figura abaixo.



Usando-se a matriz admitância, pode-se mostrar que a função de transferência deste circuito é dada por:

F(S) = -[(R4+R3)/(R1.R3.C2)].S/[S^2+(R2.R3.C2–R2.R4.C1+R1.R3.C2).S+1/(R1.R2.C1.C2)]   (1)

Pode-se ver facilmente que **F(0)=0** e que **F(∞)=0**, significando que o filtro é passa-banda.

Reescrevendo-se **(1)** na forma clássica **F(S)= b.S/[S^2+(2.ω_0/Q).S+ω_0^2]**, tem-se por comparação:

ω_0=√[1/(R1.R2.C1.C2)]   (2)

Q=2. R3.(√R1.R2.C1.C2)/[R3.(R1.C1+R2.C2)-R2.R4.C1]   (3)

Já se pode ver em **(2)** que a freqüência **ω_0** é independente de **R3** e **R4**. Mas ainda o **Q** depende de todos os componentes.

Façamos **R1=R2=R** e **C1=C2=C (4)**:

ω_0**=1/(R.C) (5)**

Q=2.R3/(2.R3-R4) (6)

Vê-se agora que a freqüência ω_0 só depende de **R** e **C** e o **Q** só depende de **R3** e **R4**.

Como para **R4=2.R3** o **Q** tende ao infinito, nesse valor o circuito oscila (na freqüência ω_0) e, portanto, esse valor não deve ser escolhido, mantendo-se sempre **2.R3>R4**.

Com **R4=0** ou **R3**$\rightarrow\infty$, tem-se o caso equivalente da saída conectada diretamente à entrada + do amplificador operacional, quando então **Q=1**.

O ganho na freqüência ω é o módulo da função de transferência $|F(j.\ \omega)|$. Calculemos esse valor na freqüência ω_0 sob a condição **(5)**:

$$F(S)=-[(R3+R4)/(R3.R.C)].S/\{S^2+[(2.R3-R4)/(R3.R.C)].S+1/(R^2.C^2)\} \quad (7)$$

Que, com $S\rightarrow j.\ \omega$, resulta:

$$F(j.\ \omega)=-[(R3+R4)/(R3.R.C)].\ j.\ \omega/[1/(R^2.C^2)-\omega^2+(2.R3-R4)/(R3.R.C).j.\ \omega] \quad (8)$$

E:

$$|F(j.\ \omega)|^2=[(R3+R4)/(R3.R.C)]^2.\ \omega^2/\{[1/(R^2.C^2)-\omega^2]^2+[(2.R3-R4)/(R3.R.C)]^2.\omega^2\} \quad (9)$$

Se $w=\omega_0$, tem-se:

$$Ganho(\omega_0)=|F(j.\ \omega_0)|=(R3+R4)/(2.R3-R4) \quad (10)$$

Usando-se **(6)** em **(10)**, obtém-se:

$$Ganho(\omega_0)=(3.Q-2)/2 \quad (11)$$

No caso de **Q=1**, **Ganho(**ω_0**)=1/2**

O ganho aqui é a relação entre a tensão de saída **Vs** e **Vi** a de entrada. Como a primeira é limitada pela tensão simétrica de alimentação $V_\pm$, dada a tensão do sinal de entrada na freqüência ω_0[(1)], o ganho nesta freqüência está limitado pela saturação do amplificador, isto é, a tensão de saída atingir, em seu pico, a tensão simétrica de alimentação:

$$Ganho\ max(\omega_0)= V_\pm/Vs=(3.Qmax-2)/2$$

ou

[(1)] **O que na verdade importa, é a amplitude da componente de Fourier do sinal na freqüência ω_0.**

$Qmax=[2.V_{\pm}/Vs+2]/3$ (12)

A expressão **(12)** mostra que, com uma entrada **Vi**, o **Q** está limitado ao valor **Qmax** para se manter o circuito linear e, portanto, as propriedades do filtro sem distorção do sinal. Portanto, uma tensão de alimentação maior vai permitir um maior **Q** sem saturação.

Quando **R4=2.R3**, como já vimos anteriormente, o circuito oscila, mas, como em qualquer oscilador senoidal linear a amplitude cresce indefinidamente, a saída não será senoidal e sim aproximadamente quadrada. Para se obter um oscilador senoidal é necessário se realimentar a entrada com o sinal de saída de modo apropriado e limitado, isto é, o sinal quadrado na saída de um limitador *externo* passa pelo filtro e sua componente fundamental é obtida na saída do amplificador. O **Q** é limitado pela saturação do amplificador e, portanto, limitado para o correto funcionamento do oscilador.

O filtro deste artigo pode ser usado nos detectores analógicos de **FSK** que, após a determinação das freqüências, têm seu **Q** ajustado para a melhor eficiência operacional, isto é, suficientemente alto para separar as duas freqüências do **FSK** e eliminar os ruídos fora da banda, mas suficientemente baixo para permitir o 'baud-rate' da comunicação.

Se o leitor desejar construir um filtro freqüência ajustável, pode usar um potenciômetro duplo tipo controle de volume/tom de amplificadores estéreo (dois idênticos no mesmo eixo) para variar simultaneamente **R1** e **R2**, lembrando que a freqüência linear é dada por $\mathbf{F_0=\omega_0/(2.\pi)}$. Como **R1** e **R2** não podem ser nulos, em série com cada potenciômetro deve haver um resistor fixo limitador de freqüência máxima. Limitação semelhante na relação entre **R3** e **R4** também deve existir para evitar oscilações do filtro.

Aqui vale uma consideração sobre a independência entre os ajustes de **Q** e de freqüência. A equação **(2)** mostra que a freqüência é sempre independente de **R3** e **R4**, mas **(3)** mostra que o **Q** depende de todos os componentes. Assim, quando se impõem as condições **(4)**, pequenas diferenças entre **R1** e **R2** e entre **C1** e **C2**, vão resultar em pequena dependência do **Q** na freqüência escolhida. Claro que, como tudo isso vale para um ganho de malha aberta infinito, e esta condição nunca é verdadeira, a interdependência sempre vai ocorrer.

Deve-se lembrar ainda que a freqüência máxima de operação desse tipo de circuito, como em qualquer um com amplificador operacional, está limitada pela curva ganho x freqüência do mesmo, isto é, para que as propriedades do amplificador sejam válidas, seu ganho em malha aberta deve ser o maior possível na freqüência de trabalho escolhida.