



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA



David Maykon Krepsky Silva

Filtros Ativos

Data de realização do experimento:

23 de abril de 2015

Série/Turma:

1000/1011

Prof. Dr. Jaime Laelson Jacob

9 de julho de 2015

Resumo

Neste trabalho foi realizado o estudo teórico de filtros ativos compostos por resistores, capacitores e amplificadores operacionais de forma a analisar a resposta em frequência para filtros FPB, e FPB em cascata. A metodologia utilizada consiste em realizar simular o circuito no software Orcad, obtendo a respos em frequência para cada circuito estudado. Durante o laboratório foi possível observar as diferentes respostas em frequência para cada tipo de filtro estudado. Também foi visualizado a melhora no fator Q de filtros em cascata em relação a um filtro FPF comum.

Sumário

Resumo	1
1 Introdução	3
2 Teoria	4
2.1 Filtros ativos	4
2.2 Topologia Sallen-Key	4
2.3 Ganho, frequência de corte e fator Q para FPB Sallen-Key	4
2.4 Largura de banda dos filtros ativos	5
3 Metodologia Experimental	6
3.1 Circuito 1	6
3.2 Circuito 2	6
4 Resultados	8
4.1 Circuito 1	8
4.2 Circuito 2	8
5 Discussão e Conclusão	13
6 Referências	14

1 Introdução

O experimento tem como objetivo desenvolver o conhecimento dos alunos sobre filtros ativos e técnicas para melhorar o desempenho de filtros (associação em cascata). Tais filtros são fundamentais para a área de engenharia elétrica sendo amplamente utilizados nos campos de telecomunicações, instrumentação, controle e etc.

2 Teoria

2.1 Filtros ativos

Filtros ativos utilizam elementos amplificadores (transistores, amplificadores operacionais, etc.) em conjunto com resistores e capacitores para apresentar as características de filtragem desejadas. Este tipo de filtro pode apresentar uma impedância de entrada alta, uma impedância de saída baixa e um ganho muito grande, tornando-os ideais para aplicações onde o sinal possui baixa potência. Porém sua principal característica é que não à necessidade de utilizar indutores para filtros de ordem maior, reduzindo o custo, tamanho e a falta de precisão características dos indutores. O desempenho dos filtros ativos em altas frequências é limitado pelo ganho do circuito, quanto maior o ganho, menor a largura de banda disponível. Filtros ativos também geram ruídos, devido ao elemento de amplificação, porém esses efeitos podem ser minimizados com o uso de amplificadores *low noise* e técnicas de design apropriadas.

2.2 Topologia Sallen-Key

A figura 2.2 mostra uma das topologias mais utilizadas de filtros ativos. Esse é um filtro FPB Sallen-Key de segunda ordem, o qual pode ser utilizado com cascata para a obtenção de filtros de ordem maior. Neste filtro, os dois resistores e os dois capacitores conectados a entrada não inversora definem a frequência de corte do mesmo e o fator Q. Os resistores da entrada inversora definem o ganho de tensão e também o fator Q. Assim, para um determinado fator Q, o ganho e a frequência não podem ser modificados de forma independente.

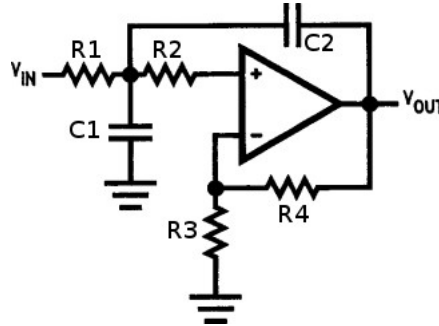


Figura 1: Filtro ativo passa-baixas com topologia Sallen-Key.

2.3 Ganho, frequência de corte e fator Q para FPB Sallen-Key

O ganho é dado pelo divisor resistivo composto pelos resistores R3 e R4. A equação para o calculo do ganho é dada na eq. 1.

$$G = \frac{R3 + R4}{R3} \quad [Volt/Volt]. \quad (1)$$

A frequência de corte é dada pela equação 2.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1R2C1C2}} \quad [Hz]. \quad (2)$$

E o fator Q pela equação 3.

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{R_1 C_1 + R_2 C_1 + R_1 C_2 \left(1 - \frac{R_3 + R_4}{R_3}\right)} \quad (3)$$

2.4 Largura de banda dos filtros ativos

A frequência de corte (f_c é a frequência para qual o filtro apresentará uma atenuação de 3dB e é o parâmetro fundamental para o projeto de filtros. Outro parâmetro importante para os filtros do tipo passa-faixa e rejeita-faixa é a largura da banda de passagem, a qual é composta por uma frequência de corte inferior (denominada f_1) e uma superior (f_2). Para os filtros ativos, a largura de banda do sinal deve ser menor que a largura de banda do componente amplificador, a um ganho constante, para evitar a distorção do sinal.

3 Metodologia Experimental

Este experimento foi dividido em 2 circuitos.

3.1 Circuito 1

Para o circuito mostrado na figura 2:

- calcular o ganho na banda de passagem;
- calcular a frequência de corte;
- simular o circuito com o software Orcad;
- gerar o gráfico da resposta em frequência do circuito;
- determinar o ganho na banda de passagem simulado;
- determinar a frequência de corte do circuito simulado;
- determinar o tipo de resposta (Butterworth, Chebyshev, Bessel, etc.);
- determinar a ordem do filtro e a atenuação em DB/década;
- comparar os resultados teóricos com o simulado.

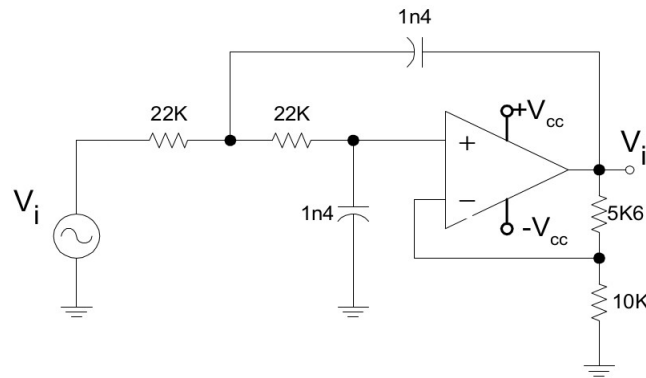


Figura 2: Filtro ativo passa-baixas.

3.2 Circuito 2

Para o circuito mostrado na figura 3:

- calcular a frequência de corte para o primeiro estágio do filtro;
- simular o primeiro estágio e comparar a resposta em frequência obtida com o resultado teórico;
- calcular a frequência de corte para o segundo estágio do filtro;
- simular o segundo estágio e comparar a resposta em frequência obtida com o resultado teórico;

- simular o circuito em cascata com o inversor no software Orcad e obter a resposta em frequência;
- determinar o ganho na banda de passagem simulado;
- determinar a frequência de corte do circuito;
- determinar o tipo de resposta (Butterworth, Chebyshev, Bessel, etc.);
- determinar a ordem do filtro e a atenuação em DB/década;
- comparar os resultados teóricos com o simulado.
- inserir uma forma de onda quadrada de frequência fundamental igual a 90% da frequência de corte encontrada e analisar a forma de onda na saída.

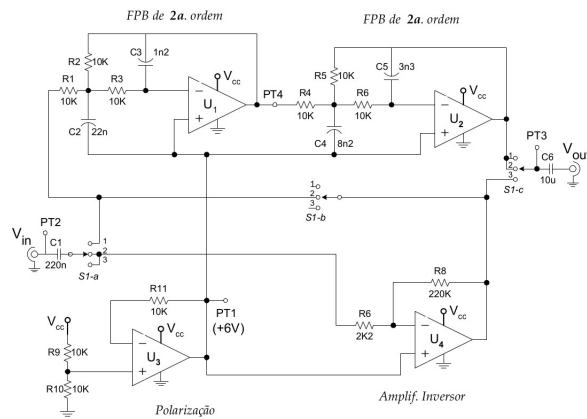


Figura 3: Filtro ativo passa-baixas em cascata com circuito de polarização.

4 Resultados

Os resultados foram obtidos para cada circuito.

4.1 Circuito 1

Utilizando a eq. 1, temos:

$$G_{teorico} = \frac{10e3 + 5,6e3}{10e3} = 1,56 \quad \left[\frac{V}{V} \right]$$

A partir da eq. 2, encontramos que

$$f_{cteorico} = \frac{1}{2\pi\sqrt{22e322e31.4e^{-9}1.4e^{-9}}} = 5170 \quad [Hz]$$

Após simular o circuito, foi obtido o gráfico mostrado na figura 4.

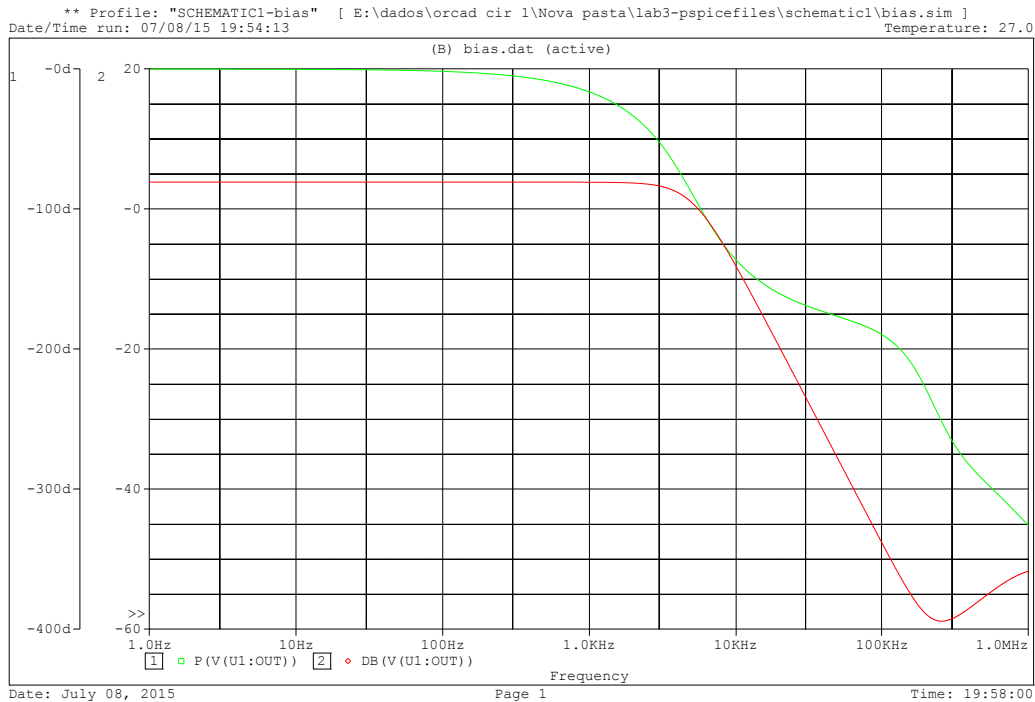


Figura 4: Frequência e fase para o filtro passa-baixas.

A frequência de corte encontrada a partir do gráfico foi $f_c = 5058 \quad [Hz]$ e o ganho $G = 3.862 \quad [dB]$.

Como pode ser observado no gráfico da figura 4, a atenuação é de -40 dB por década e o tipo de resposta é Butterworth.

4.2 Circuito 2

Para o primeiro estágio, a frequência de corte teórica é $f_{c1} = 4545 \quad [Hz]$ e a frequência de corte simulada é $f_{c1} = 4398 \quad [Hz]$. A figura 5 mostra o gráfico da resposta em frequência

do primeiro estágio. Este filtro é um Chebyshev passa-baixas, com atenuação -38,7 dB/década (segunda ordem) e ganho de -151 [V/V]. Note que o valor do ganho é negativo devido ao amplificador inversor.

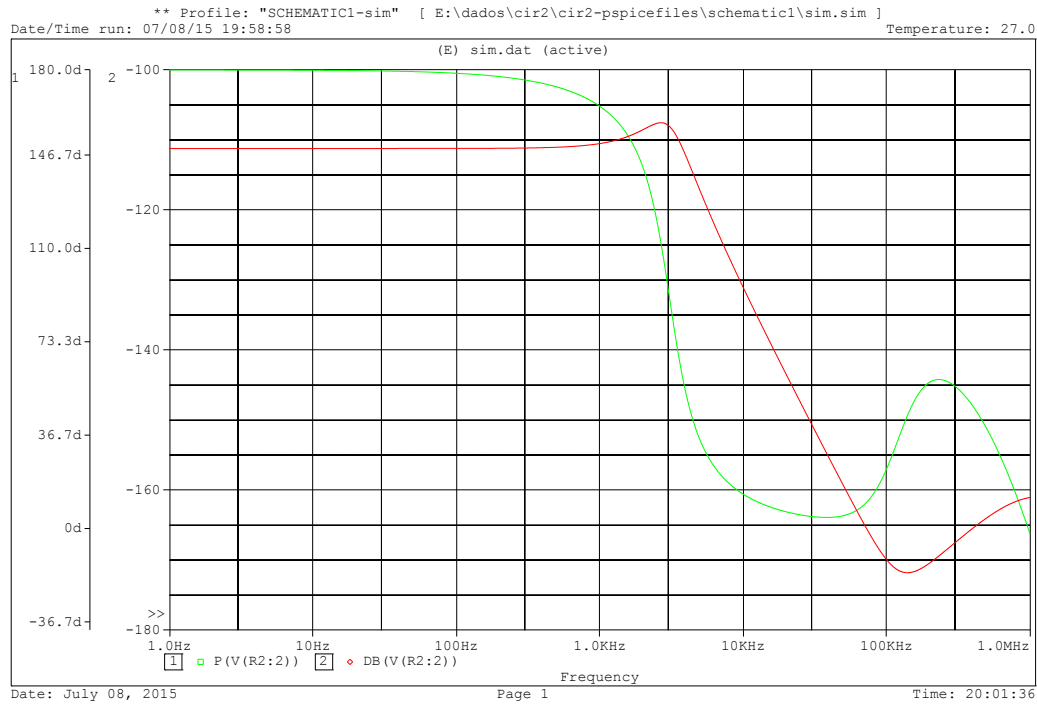


Figura 5: Frequência e fase para primeiro estágio do filtro em cascata.

Para o segundo estágio, a frequência de corte teórica é $f_{c1} = 3150$ [Hz] e a frequência de corte simulada é $f_{c1} = 3039$ [Hz]. A figura 6 mostra o gráfico da resposta em frequência do segundo estágio. Este filtro é um passa-baixas, com atenuação -40 dB/década (segunda ordem) e ganho de -154 [V/V]. Note que o valor do ganho é negativo devido ao amplificador inversor.

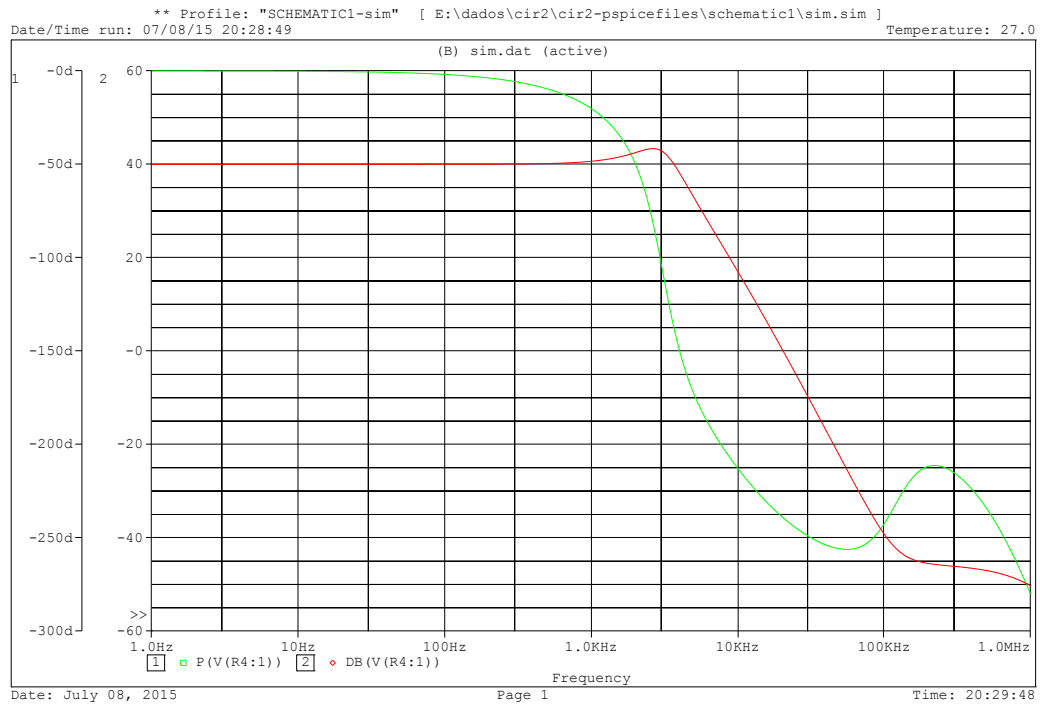


Figura 6: Frequência e fase para segundo estágio do filtro em cascata.

A saída do amplificador em cascata é exibida na figura 7, onde foi encontrado que a frequência de corte é de $f_{c1} = 2735 \text{ [Hz]}$. O filtro possui resposta em frequência do tipo passa baixas de ordem quatro, com atenuação de -22dB/oitava.

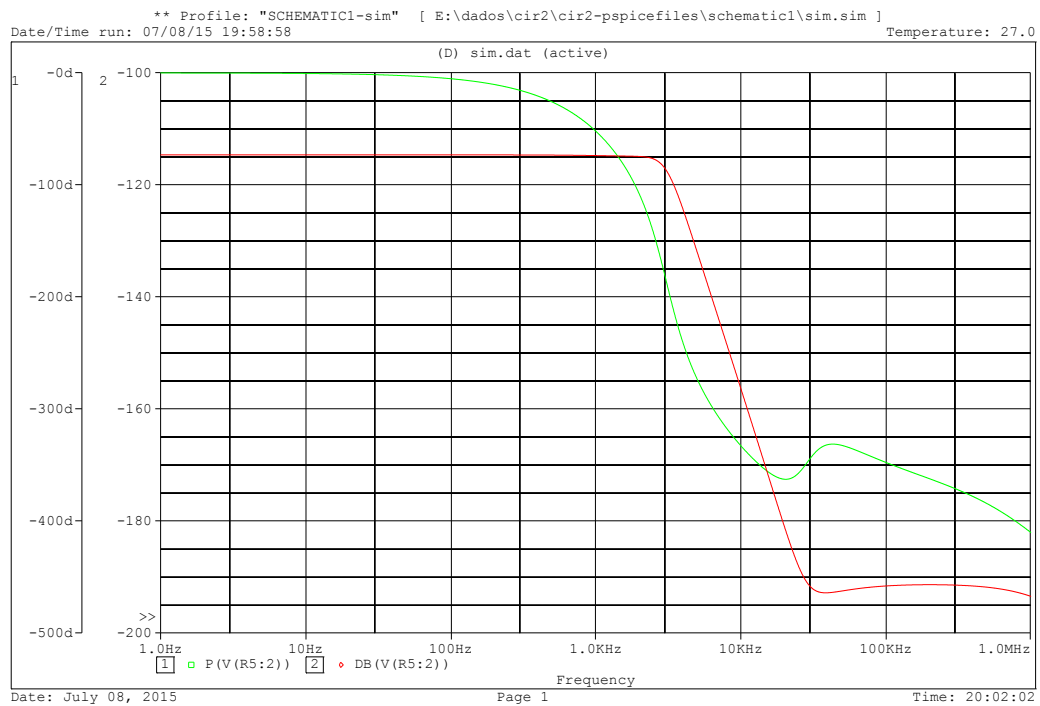


Figura 7: Frequência e fase para primeiro estágio do filtro em cascata.

Para a ultima etapa, foi inserido um sinal de onda quadrada com frequência de 2461 Hz na entrada do filtro em cascata. A onda encontrada na saída está na figura 8.

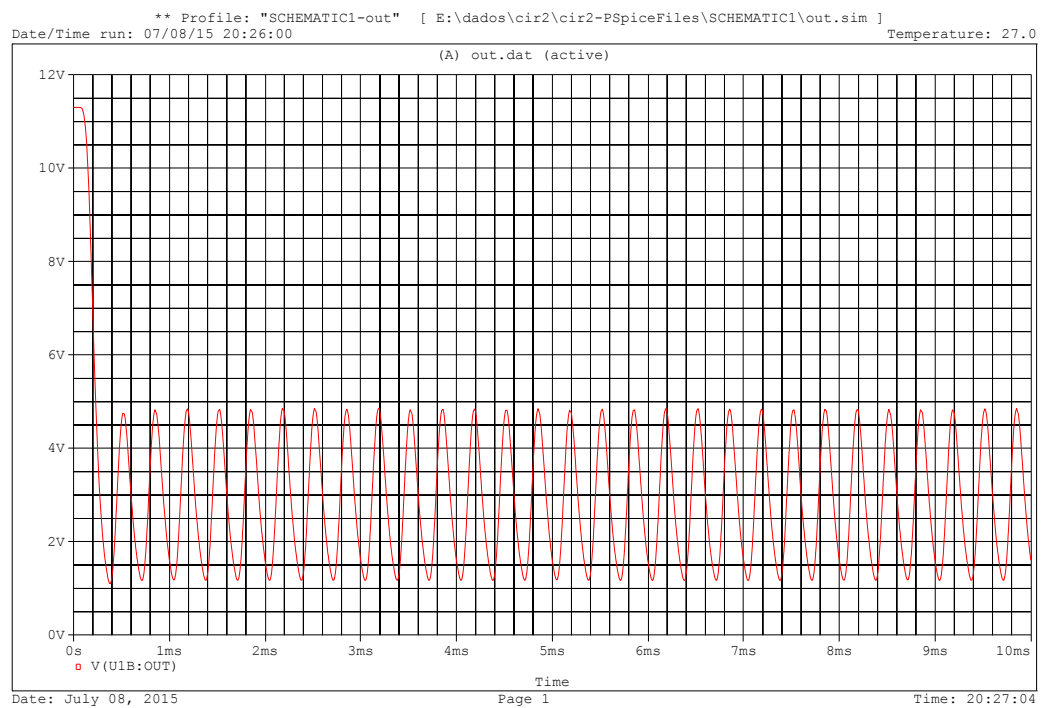


Figura 8: Frequência e fase para primeiro estágio do filtro em cascata.

5 Discussão e Conclusão

Com base nos resultados obtidos para os circuitos 1 e 2, conclui-se que o cálculo para o projeto de filtros ativos possui fundamento, pois a resposta obtida na simulação é bastante próxima da resposta calculada de acordo com a teoria. Observou-se também que pode-se utilizar de vários filtros em cascata para obter uma determinada resposta em frequência. Isso ajuda a reduzir a ordem do filtro, tornando-os mais baratos e a melhorar o fator de qualidade (Q) do filtro. Um outro aspecto importante que foi observado é que uma onda quadrada, quando tem suas componentes harmônicas removidas por um filtro ativo, se torna uma senoide com período fundamental igual ao da onda original, porém, com pequenas distorções, devidas ao fato do filtro não ser ideal.

Sendo assim, vimos nesse laboratório conceitos fundamentais para o engenheiro eletricitista, de modo a firmar os conhecimentos adquiridos durante as aulas teóricas.

6 Referências

[1] Roteiro da atividade prática.

[2] "Active Filter Design Techniques". Kugelstad, THomas. AmpOps For Everyone, Texas Instruments, 2008.

[3] "Electronic Devices and Circuit Theory, 11th ed.". Robert L. Boylestad, 11th 2006, Prentice Hall .