

Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Eletrônica
Dispositivos e Circuitos Eletrônicos Básicos

Trabalho II

Projetos de filtros ativos analógicos.

Aluno: João Pedro Samarino
Matrícula: 2013048933

1. Introdução

Este trabalho discorre sobre filtros ativos analógicos, estes são amplamente utilizados, pois não requerem indutores em seus circuitos, o que é uma grande vantagem em relação a filtros passivos compostos de capacitores e indutores.

Existem dois tipos principais de filtros dos quais os outros são derivados, são eles, filtro passa alta (HP) e o filtro passa baixo (LP), os outros filtros como passa faixa, corta faixa podem ser obtidos com a junção destes circuitos.

No filtro passa baixo (LP), o mesmo permite a passagem de frequências baixas, abaixo da sua frequência de corte, as frequências acima das mesmas são atenuadas com um determinado ganho, este é característica de cada circuito. Abaixo podemos ver a característica de um filtro passa baixa ideal.

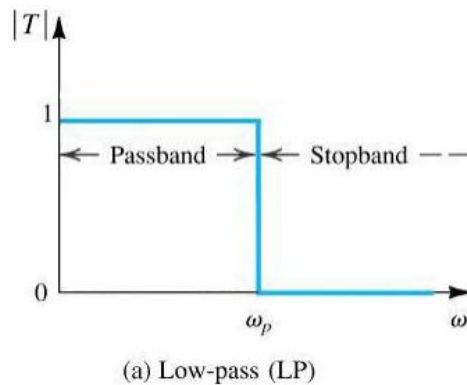


Figura 1: passa baixa ideal.

Já no filtro passa alta (HP), o inverso acontece, o mesmo atenua frequências baixas com um determinado ganho que também é caracterizado pelo circuito em questão, abaixo na imagem pode-se ver a característica de um filtro passa alta ideal.

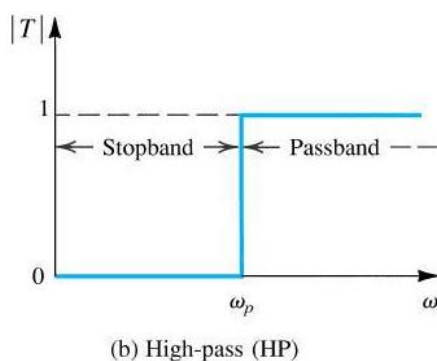


Figura 2: passa alta ideal.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é projetar dois filtros ativos analógicos a partir de amplificadores operacionais com determinadas características.

- Filtro passa baixa com frequência de corte em 1kHz e que dê uma atenuação mínima de 40dB em 2kHz.
- Filtro passa alta com frequência de corte em 6kHz e que dê uma atenuação mínima de 60dB em 1kHz.

3. Filtro Passa baixo

O primeiro passo é calcular o grau do polinômio a ser usado nesse filtro com as determinadas características especificadas, logo temos que:

$$M_{db} = -40dB;$$

$$W_s = 2 \text{ kHz};$$

$$W_p = 1kHz;$$

Por Butterworth:

$$N = \log_{10}((10^{(-40/10)} - 1) / (2 * \log_{10}(2K/1K))) = \text{teto}(6,643) = 7$$

Nesse problema também é possível modelar através do polinômio de Chebyshev, porem, neste existe uma oscilação, ou seja, um ripple a ser modelado também. Por este motivo a implementação foi sobre butterworth.

Por Chebyshev com ondulação de 1dB teríamos:

$$Cn(ws/wp) = \text{raiz}((10^{(-40/10)} - 1) / 0,5089^2) = 196,492$$

$$N = \text{Acosh}(196,492) / \text{Acosh}(2k/1k) = \text{teto}(4,53) = 5$$

Como já dissemos, seguindo com a implementação por Butterworth, usaremos o seguinte polinômio retirado da tabela no slide da matéria:

7	$(s + 1)(s^2 + 0,445s + 1)(s^2 + 1,247s + 1)(s^2 + 1,802s + 1)$
---	---

Como o filtro é passa baixo o polinômio que devemos usar deve ser o mesmo descrito acima porem substituindo S por S/Wp.

Com isso teremos o seguinte polinômio:

$$(s/wp+1)(s^2/wp^2+0,445s/wp+1)(s^2/wp^2+1,247s/wp+1)(s^2/wp^2+1,802s/wp+1)$$

A topologia utilizada neste trabalho para os circuitos foi à mesma mostrada em sala de aula (Sallen Key para passa baixa), e está que foi utilizada na implementação deste circuito em questão, como o polinômio é de ordem (7), foram utilizadas (4) camadas, sendo (3) destas de segunda ordem e uma de primeira ordem, os valores obtidos podem ser verificados abaixo:

Para todas as camadas foram utilizados sempre capacitores de 10nF.

Camada 1 (circuito de 1° ordem):

$$R = 1/(\omega_p * c) = 1/(2 * 10^3 \pi * 10^{-8}) = 15,915K \text{ Ohm.}$$

Camada 2 (circuito de 2° ordem):

$$R = 1/(\omega_p * c) = 1/(2 * 10^3 \pi * 10^{-8}) = 15,915K \text{ Ohm.}$$

$$(3-G) = 0,4455 \rightarrow G=2,5545.$$

$$2,5545=1+(R1/R2) \rightarrow \text{utilizando } R1 = 10k, \text{ temos } R2=6,43293K \text{ Ohm.}$$

Camada 3 (circuito de 2° ordem):

$$R = 1/(\omega_p * c) = 1/(2 * 10^3 \pi * 10^{-8}) = 15,915K \text{ Ohm.}$$

$$(3-G) = 1,2475 \rightarrow G=1,7525.$$

$$1,7525=1+(R1/R2) \rightarrow \text{utilizando } R1 = 10k, \text{ temos } R2=13,289K \text{ Ohm.}$$

Camada 4 (circuito de 2° ordem):

$$R = 1/(\omega_p * c) = 1/(2 * 10^3 \pi * 10^{-8}) = 15,915K \text{ Ohm.}$$

$$(3-G) = 1,8025 \rightarrow G=1,1975.$$

$$1,1975=1+(R1/R2) \rightarrow \text{utilizando } R1 = 1k, \text{ temos } R2=5,0632K \text{ Ohm.}$$

Abaixo podemos ver o circuito montado, com as especificações encontradas:

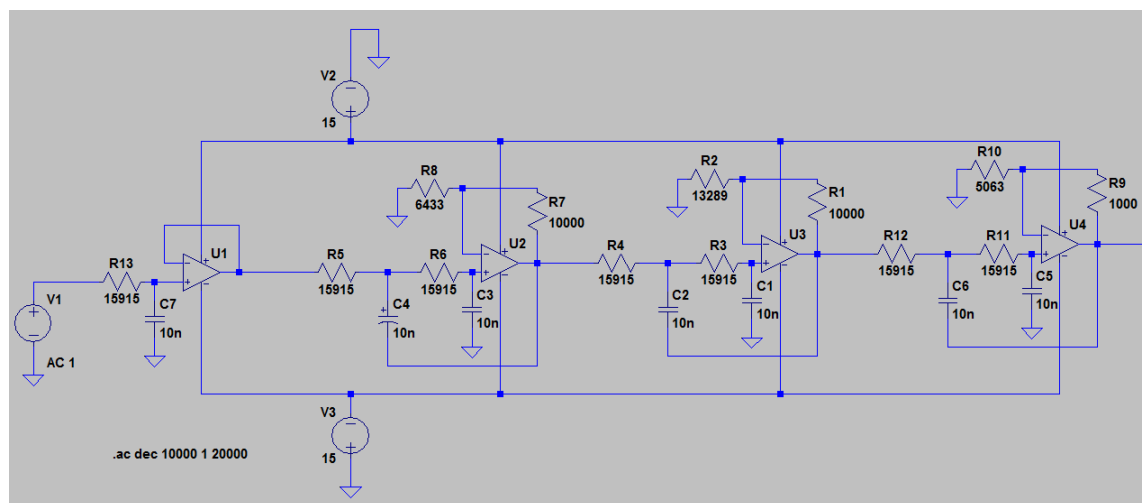


Figura 3: Circuito passa baixa (butterworth) montado.

Abaixo podemos ver o diagrama de bode do mesmo, onde se podem ver as propriedades de atenuação do circuito da (figura 3).

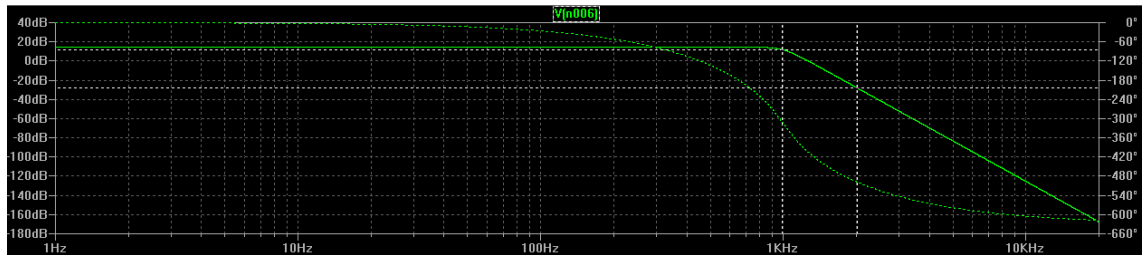


Figura 3: simulação (diagrama de bode) circuito passa baixa (butterworth)

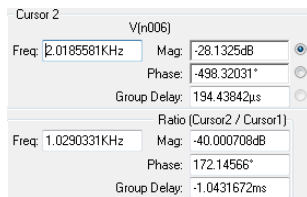


Figura 4: valores de atenuação

4. Filtro Passa alta

Neste filtro também iremos usar butterworth, por sua simplicidade e não existir atenuação antes da região de corte, logo:

O primeiro passo é calcular o grau do polinômio a ser usado nesse filtro com as determinadas características especificadas, logo temos que:

$$M_{db} = -60dB;$$

$$W_s = 1kHz;$$

$$W_p = 6kHz;$$

Por Butterworth:

$$N = \log_{10}((10^{(-60/10)} - 1) / (2 * \log_{10}(1K/6K))) = \text{teto}(|3,8552|) = 4$$

Usaremos o seguinte polinômio retirado da tabela no slide da matéria:

$$4 \quad (s^2 + 0,765s + 1)(s^2 + 1,848s + 1)$$

Como o filtro é passa alta, o polinômio que devemos usar deve ser o mesmo descrito acima porem substituindo S por W_p/S .

Com isso teremos o seguinte polinômio:

$$(wp^2 / s^2 + 0,765wp/s + 1)(wp^2 / s^2 + 1,848wp / s^2 + 1)$$

A topologia utilizada neste circuito também foi (Sallen Key para passa alta), como o polinômio é de ordem (2), foram utilizadas (2) camadas de segunda ordem, os valores obtidos podem ser verificados abaixo:

Para todas as camadas foram utilizados sempre capacitores de 10nF.

Camada 1 (circuito de 2° ordem):

$$R = 1/(w_p * c) = 1/(12 * 10^3 \pi * 10^{-8}) = 2,652K \text{ Ohm.}$$

$$(3-G) = 0,765 \rightarrow G = 2,235.$$

$$2,235 = 1 + (R1/R2) \rightarrow \text{utilizando } R1 = 10k, \text{ temos } R2 = 8,097K \text{ Ohm.}$$

Camada 2 (circuito de 2° ordem):

$$R = 1/(w_p * c) = 1/(12 * 10^3 \pi * 10^{-8}) = 2,652K \text{ Ohm.}$$

$$(3-G) = 1,848 \rightarrow G = 1,152.$$

$$1,152 = 1 + (R1/R2) \rightarrow \text{utilizando } R1 = 1k, \text{ temos } R2 = 6,5789K \text{ Ohm.}$$

Abaixo podemos ver o circuito montado, com as especificações encontradas:

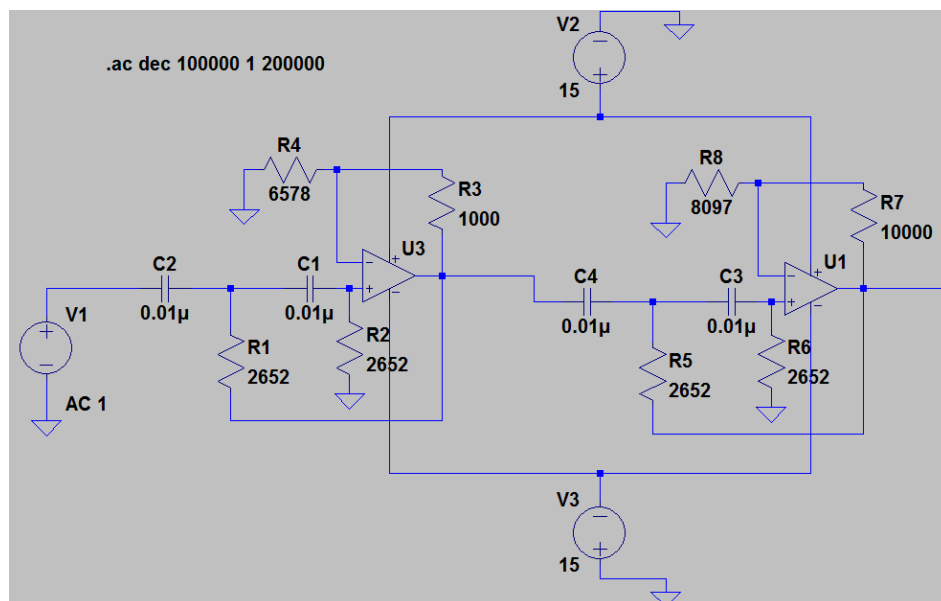


Figura 5: Circuito passa alta (butterworth) montado.

Abaixo podemos ver o diagrama de bode do mesmo, onde se podem ver as propriedades de atenuação do circuito da (figura 5).

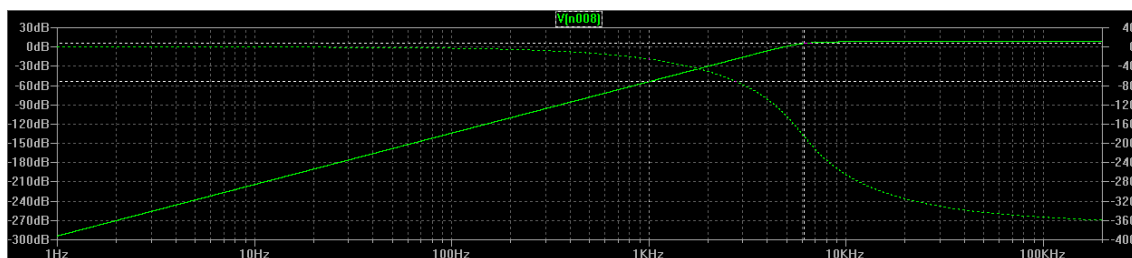


Figura 6: simulação (diagrama de bode) circuito passa alta (butterworth)

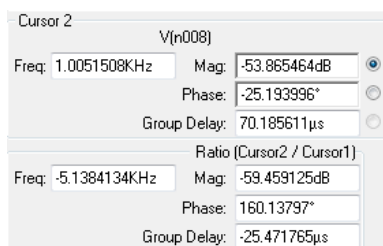


Figura 7: valores de atenuação