

# Projeto de Filtros RLC com Simulação SPICE

Henrique Pedro da Silva

Aluno da UFPE

Recife, Brasil

henrique.pedro@ufpe.br

**Abstract—** Este relatório apresenta o projeto de um filtro RLC passivo que satisfaz requisitos específicos de desempenho. Utilizando o software LTSpice, foram obtidas as curvas de Bode para verificar se os requisitos foram atendidos. Os resultados foram analisados utilizando a função zoom para destacar os valores relevantes do projeto. Os passos adotados no projeto são descritos, juntamente com justificativas para suas escolhas. Este relatório demonstra de forma objetiva como o filtro projetado atende aos requisitos estabelecidos.

## I. INTRODUÇÃO

Neste relatório, será abordado o projeto de um filtro Butterworth passa-alta de ordem mínima que atende aos seguintes requisitos específicos:  $A_p = 2\text{dB}$ ,  $A_s = 45\text{dB}$ ,  $f_p = 175\text{MHz}$ ,  $f_s = 100\text{MHz}$ , e uma carga RL de  $1,2\text{k}\Omega$ . O filtro Butterworth é conhecido por proporcionar uma resposta de magnitude maximamente plana na banda de passagem, sendo ideal para aplicações onde é crucial manter a amplitude dos sinais de frequência desejada enquanto atenua eficientemente as frequências indesejadas. O objetivo é utilizar esses requisitos para projetar um filtro eficaz que cumpra com precisão as especificações fornecidas.

## II. PROJETANDO O FILTRO

Nesta seção, segue-se um passo a passo para determinar os componentes que serão utilizados no filtro.

### A. Determinar ordem mínima do filtro

$$|H(jw)| = \frac{1}{1 + \left(\frac{w}{w_c}\right)^{2N}} \quad (1)$$

Faz-se a substituição  $N \rightarrow \eta$  para estabelecer um limitante inferior para a ordem do filtro em decorrência do valor de atenuação especificado.

A partir de uma atenuação  $A_p$  tem-se:

$$A_p = 10 \log \left( 1 + \left( \frac{w_p}{w_c} \right)^{2\eta} \right) \quad (2)$$
$$\left( \frac{w_p}{w_c} \right)^{2\eta} = 10^{\frac{A_p}{10}} - 1$$

De forma similar, pode-se analisar a atenuação  $A_s$  na banda de bloqueio e obtém-se:

$$\left( \frac{w_s}{w_c} \right)^{2\eta} = 10^{\frac{A_s}{10}} - 1 \quad (3)$$

Divide-se (3) por (2) e obtém-se:

$$\left( \frac{w_s}{w_p} \right)^{2\eta} = \frac{10^{\frac{A_s}{10}} - 1}{10^{\frac{A_p}{10}} - 1} \quad (4)$$

E por fim, observa-se que a ordem  $N$  do filtro é o menor valor inteiro igual ou maior que  $\eta$ , ou seja,  $\lceil \eta \rceil$ .

$$N = \log \left( \frac{10^{\frac{A_s}{10}} - 1}{10^{\frac{A_p}{10}} - 1} \right)^{\frac{1}{2\eta}} \quad (5)$$

Utiliza-se os valores de  $A_s$ ,  $A_p$ ,  $w_s$ , e  $w_p$  e obtém-se que para atender os requerimentos tem-se  $N = 10$ .

### B. Determinar frequência de corte

Observa-se em (2) que a frequência de corte só depende da frequência da banda de passagem, da atenuação de passagem e da ordem do filtro. Logo, tem-se:

$$w_c = \frac{w_p}{\left( 10^{\frac{A_p}{10}} - 1 \right)^{\frac{1}{2N}}} \quad (6)$$

Daí obtém-se  $F_c \approx 179\text{ MHz}$ .

### C. Determinar componentes do filtro prototipo passa-baixa

$N$	$C_1$	$L_2$	$C_3$	$L_4$	$C_5$	$L_6$	$C_7$	$L_8$	$C_9$	$L_{10}$
2	1.4142	1.4142								
3	1.0000	2.0000	1.0000							
4	0.7654	1.8478	1.8478	0.7654						
5	0.6180	1.6180	2.0000	1.6180	0.6180					
6	0.5176	1.4142	1.9319	1.9319	1.4142	0.5176				
7	0.4450	1.2470	1.8019	2.0000	1.8019	1.2470	0.4450			
8	0.3902	1.1111	1.6629	1.9616	1.9616	1.6629	1.1111	0.3902		
9	0.3473	1.0000	1.5321	1.8794	2.0000	1.8794	1.5321	1.0000	0.3473	
10	0.3129	0.9080	1.4142	1.7820	1.9754	1.9754	1.7820	1.4142	0.9080	0.3129
$N$	$L'_1$	$C'_2$	$L'_3$	$C'_4$	$L'_5$	$C'_6$	$L'_7$	$C'_8$	$L'_9$	$C'_{10}$

Figure 1: Componentes do filtro prototipo.

Utiliza-se os valores da Figure 1 para montar o circuito protótipo. O software utilizado arredonda os valores na exibição para facilitar a visualização.

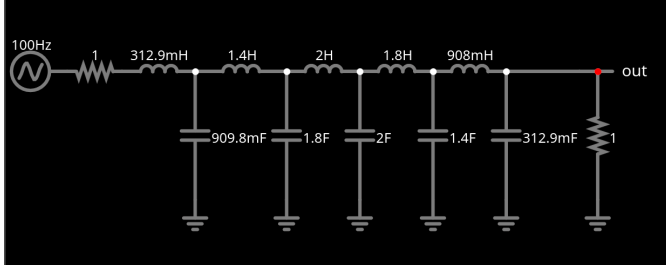


Figure 2: Filtro prototipo de ordem 10.

#### D. Transformacao passa-baixa passa-alta

A transformação de passa-baixa para passa-alta é obtida substituindo a variável  $s$  na função de transferência do filtro protótipo por  $\frac{k_f}{s}$ , onde  $k_f$  é o fator de escalonamento de frequência.

No diagrama de circuito, as impedâncias  $sL$  são substituídas por  $\left(s \left(\frac{1}{k_f L}\right)\right)$ , equivalente a um capacitor de valor  $\frac{1}{k_f L}$ .

Analogamente, as impedâncias  $\frac{1}{sC}$  são substituídas por  $s \left(\frac{1}{k_f C}\right)$ , equivalente a um indutor com valor  $\frac{1}{k_f C}$ . As resistências, que não dependem de  $s$ , mantêm seus valores do filtro protótipo.

Para atender os requisitos o nosso  $k_f = 2\pi f_c$ .

Ou seja:

$$k_f = 1099557428.76 \quad (7)$$

Ja o  $k_i$  simplesmente escalonamos o resistor de  $1\Omega$  para  $1200\Omega$  obtem-se:

$$k_i = 1200 \quad (8)$$

Realizando as operacoes acima obtem-se o seguinte circuito passa-alta escalonado para nossos requisitos:

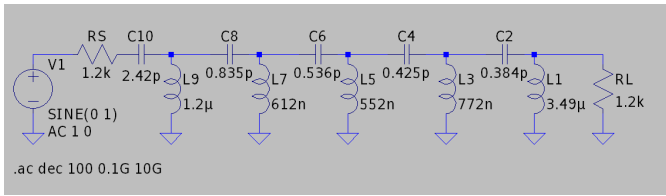


Figure 3: Filtro passa alta com requisitos do projeto.

### III. VERIFICACAO DOS REQUISITOS

Faz-se análise do gráfico de bode da frequência e da fase no LTSpice para confirmar que os requisitos foram atendidos.

#### A. Atenuacao da banda de rejeicao

O requisito é que na banda passante o filtro apresente atenuação acima de 45 dB.

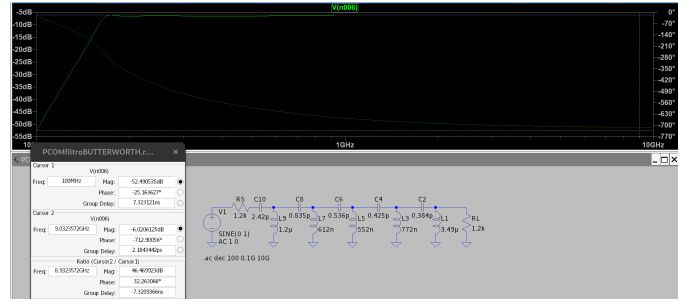


Figure 4: Observa-se uma atenuação de 46 dB..

Confirma-se que a atenuação está acima de 45 dB, ou seja, atende aos requisitos.

#### B. Atenuacao na banda de passagem

O requisito é que na banda de passagem o filtro não apresente atenuação acima de 2 dB.

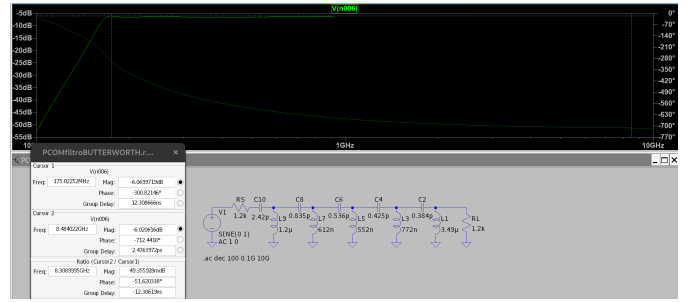


Figure 5: Observa-se uma atenuação de 0 dB.

Confirma-se que a atenuação está abaixo de 2 dB, ou seja, atende aos requisitos.

### IV. CONCLUSÃO

Este relatório detalhou o projeto de um filtro Butterworth passa-alta de ordem mínima, projetado para atender especificações rigorosas de desempenho. Utilizando LTSpice, foram simuladas as respostas de frequência do filtro para verificar se os requisitos foram alcançados. Os resultados das simulações confirmaram que o filtro projetado apresenta uma atenuação superior a 45 dB na banda de rejeição e uma atenuação abaixo de 2 dB na banda de passagem, conforme especificado. A transformação do filtro passa-baixa protótipo para passa-alta foi realizada com sucesso, ajustando os componentes para obter uma frequência de corte de aproximadamente 179 MHz. Este relatório demonstrou de maneira conclusiva como o filtro projetado atende eficazmente às exigências estabelecidas, garantindo desempenho adequado para suas aplicações previstas.