

ENGC46 - Síntese de Circuitos

Trabalho – Simulação de redes passivas por filtros ativos



Ricardo Augusto de Araújo Machado

Dezembro, 2022

Sumário

1	Simulação de redes passivas por filtros ativos	3
1.1	Projeto do filtro LC passa-altas.	3
1.1.1	Cálculos para obter o filtro LC passa-baixas normalizado. . .	3
1.1.2	Transformação do filtro normalizado para passa-altas.	3
1.2	Conversão do filtro LC passa-altas em filtro RC-ativo.	4
1.3	Resultados.	5

1 Simulação de redes passivas por filtros ativos

1.1 Projeto do filtro LC passa-altas.

O filtro passa-altas a ser implementado segue as especificações da tabela abaixo.

Banda de Passagem (Hz)	Banda de Rejeição (Hz)	Amax(dB)	Amin(dB)	Função de Aproximação
27 k	6,75 k	0,2	55	Butterworth

Tabela 1: Especificações do filtro passa-altas a ser implementado.

1.1.1 Cálculos para obter o filtro LC passa-baixas normalizado.

O primeiro passo para a síntese do projeto é obter a ordem do filtro(n) e o valor de ϵ com base nas expressões 1 e 2.

$$n > \frac{\log(\frac{10^{A_{min}/10}-1}{10^{A_{max}/10}-1})}{\log(\frac{\omega_s}{\omega_p})^2} = \frac{\log(\frac{10^{55/10}-1}{10^{0,2/10}-1})}{\log(\frac{2\pi \cdot 27000}{2\pi \cdot 6750})^2} \Rightarrow n > 5.669 \Rightarrow n = 6 \quad (1)$$

$$\epsilon = \sqrt{10^{A_{max}/10} - 1} = \sqrt{10^{0,2/10} - 1} \Rightarrow \epsilon = 0,21709 \quad (2)$$

Após obter os valores para ϵ e n , os indutores e capacitores do circuito são determinados pelas equações 3 e 4.

$$C_k = 2\epsilon^{\frac{1}{n}} \sin(\frac{2k-1}{2n}\pi), k \text{ ímpar} \quad (3)$$

$$L_k = 2\epsilon^{\frac{1}{n}} \sin(\frac{2k-1}{2n}\pi), k \text{ par} \quad (4)$$

Pelas duas equações acima são obtidos os seguintes valores de indutância e capacitância:

$$C_1 = 0.4013 \text{ F} ; C_3 = 1.4977 \text{ F} ; C_5 = 1.0964 \text{ F}$$

$$L_2 = 1.0964 \text{ H} ; L_4 = 1.4977 \text{ H} ; L_6 = 0.4013 \text{ H}$$

1.1.2 Transformação do filtro normalizado para passa-altas.

Para transformar o filtro passa-baixas normalizado($\omega_p = 1\text{rad/s}$) em passa-altas com $\omega_p = 2\pi \cdot 27000\text{rad/s}$ é preciso converter os indutores para capacitores e vice-versa e depois dividir as indutâncias e capacitâncias por $a = 2\pi \cdot 27000$. Como as resistências de carga e de fonte são de 750Ω , também é necessário escalar as impedâncias do circuito por $b = 750$. Todo o procedimento é mostrado na equação 5.

$$C_{kd} = \frac{1}{abL_k} ; L_{kd} = \frac{b}{aC_k} \quad (5)$$

Os valores obtidos para as indutâncias e capacitâncias desnormalizadas são:

$$L_{1d} = 0.0110 \text{ H} ; L_{3d} = 0.00295 \text{ H} ; L_{5d} = 0.00403 \text{ H}$$

$$C_{2d} = 7.1687 \cdot 10^{-9} \text{ F} ; C_{4d} = 5.2478 \cdot 10^{-9} \text{ F} ; C_{6d} = 1.9585 \cdot 10^{-8} \text{ F}$$

A figura 1 mostra o circuito obtido para o filtro LC passa-altas.

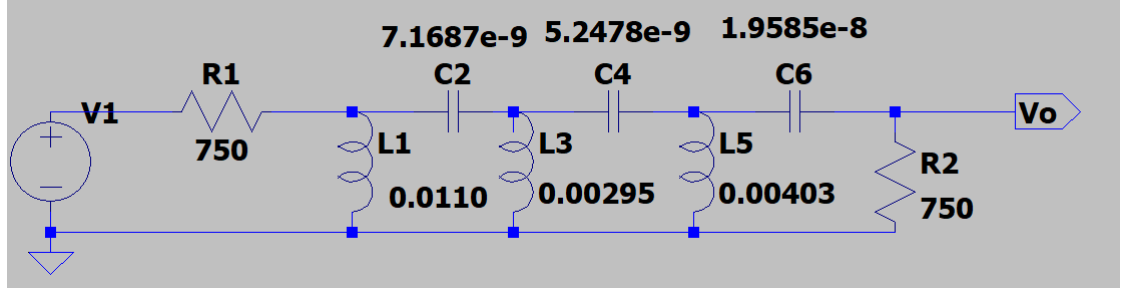


Figura 1: Diagrama esquemático do circuito LC passa-altas.

1.2 Conversão do filtro LC passa-altas em filtro RC-ativo.

Para converter o circuito da figura 1 em um filtro RC ativo substitui-se os indutores aterrados por *GICs de Antoniou*. Os valores das capacitâncias e resistências dos *GICs* são determinados abaixo.

Cálculos do *GIC* relativo ao indutor L_1 :

Valores arbitrados : $R_L = 5000 \Omega$, $R = 10000 \Omega$

$$\text{Valor calculado : } L_1 = CRR_L \Rightarrow C = \frac{L_1}{RR_L} = 2.203 \cdot 10^{-10} F$$

Cálculos do *GIC* relativo ao indutor L_2 :

Valores arbitrados : $R_L = 5000 \Omega$, $R = 10000 \Omega$

$$\text{Valor calculado : } C = \frac{L_2}{RR_L} = 5.904 \cdot 10^{-11} F$$

Cálculos do *GIC* relativo ao indutor L_3 :

Valores arbitrados : $R_L = 5000 \Omega$, $R = 10000 \Omega$

$$\text{Valor calculado : } C = \frac{L_3}{RR_L} = 8.065 \cdot 10^{-11} F$$

A figura 2 mostra o circuito passsa-altas RC ativo obtido.

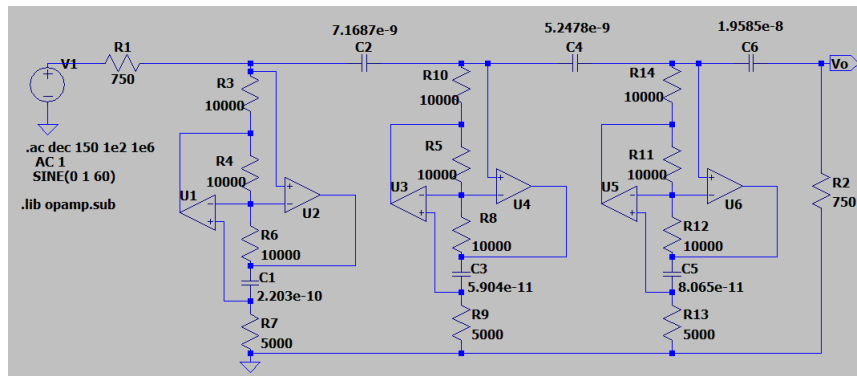


Figura 2: Diagrama esquemático do circuito RC ativo passa-altas.

1.3 Resultados.

Os dados das simulações no *LTSpice* são exportados ao *MATLAB* para comparar as respostas dos circuitos 1 e 2.

A figura 3 compara a magnitude da resposta em frequência do filtro passa-altas LC e do circuito ativo RC.

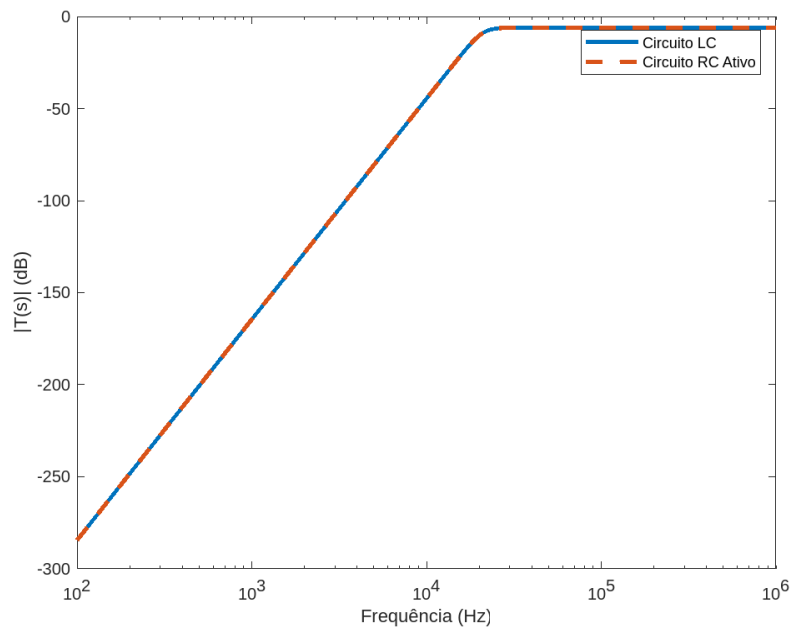


Figura 3: Diagrama de Bode da magnitude do circuito LC e do circuito RC ativo.

As figuras 4 e 5 mostram os diagramas de Bode da magnitude na banda de passagem e na banda de rejeição, respectivamente.

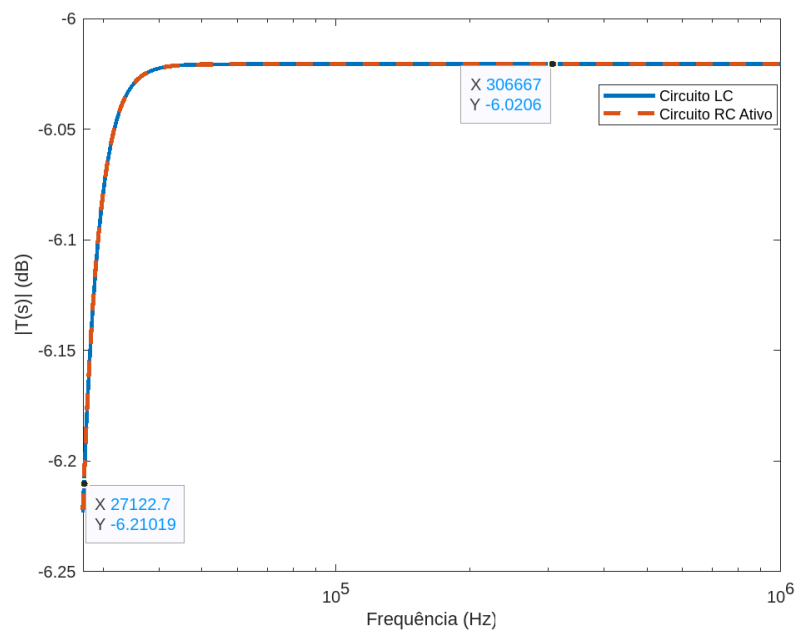


Figura 4: Diagrama de Bode da magnitude do circuito LC e do circuito RC ativo na banda de passagem.

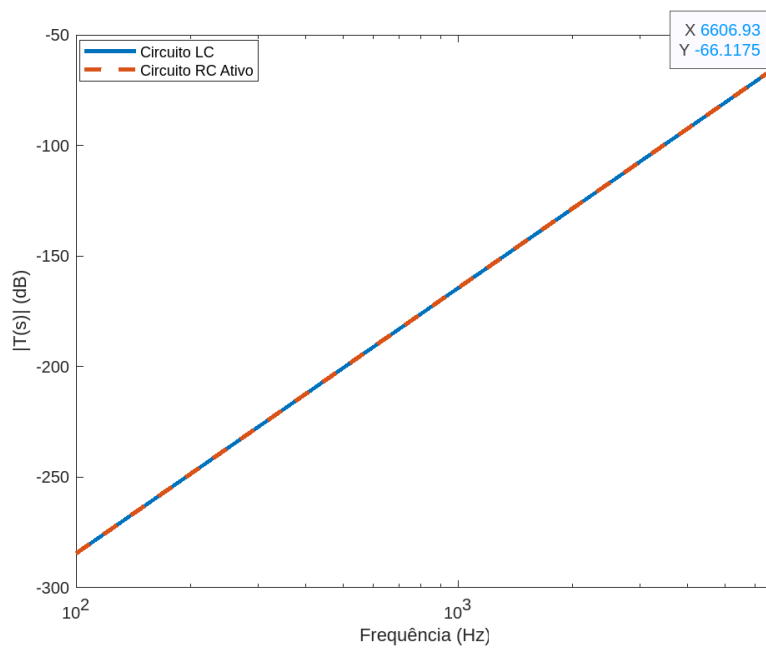


Figura 5: Diagrama de Bode da magnitude do circuito LC e do circuito RC ativo na banda de rejeição.

A figura 6 compara a fase da resposta em frequência do filtro passa-altas LC e do circuito ativo RC.

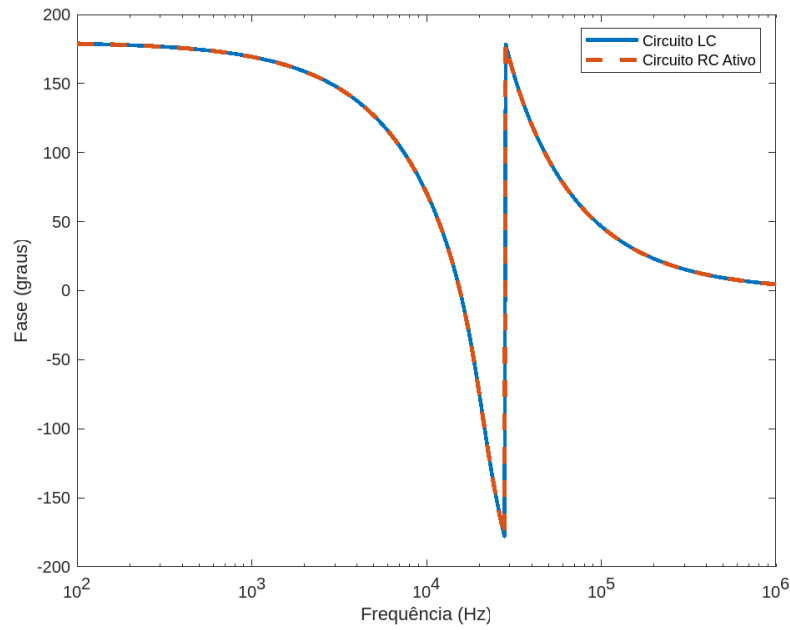


Figura 6: Diagrama de Bode da fase do circuito LC e do circuito RC ativo.

Em ambos os circuitos a atenuação máxima é $A_{max} = 0,18959 \text{ dB}$ e a atenuação mínima é $A_{min} = 60,0969 \text{ dB}$, como mostra a tabela 2.

	Frequência (Hz)	Ganho (dB)	
		Filtro LC	Filtro ativo
Banda de Passagem	$f_p = 27000$	0,18959	0,18959
Banda de Rejeição	$f_s = 6750$	60,0969	60,0969

Tabela 2: Comparação dos resultados obtidos com o gabarito do filtro.