

ENGC46 - Síntese de Circuitos

Trabalho – Síntese de Filtro RC Ativo



Ricardo Augusto de Araújo Machado

Outubro, 2022

Sumário

1	Síntese de Filtro RC Ativo	3
1.1	Especificações do filtro e função de transferência.	3
1.2	Síntese dos biquads - Passa-altas de Sallen-Key.	3
1.3	Resultados.	5

1 Síntese de Filtro RC Ativo

1.1 Especificações do filtro e função de transferência.

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
1 M	250 k	0,1	85	Chebyshev

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

A ordem e a aproximação de Chebyshev para o filtro são calculadas pelos comandos *cheblord* e *cheby1* do *MATLAB*, respectivamente. Dessa forma, a função de transferência obtida é:

$$T(s) = \frac{0.9886s^6}{s^6 + 2.735 \cdot 10^7 s^5 + 3.903 \cdot 10^{14} s^4 + 3.328 \cdot 10^{21} s^3 + 2.23210^{28} s^2 + 8.095 \cdot 10^{34} s + 2.971 \cdot 10^{41}}$$

Com o uso das funções *tf2zp* e *poly* do *MATLAB*, é possível separar a expressão $T(s)$ nos três biquads distintos listados a seguir.

$$T_1(s) = \frac{0.9886s^2}{s^2 + 2.042 \cdot 10^7 s + 1.499 \cdot 10^{14}} \quad (1)$$

$$T_2(s) = \frac{s^2}{s^2 + 5.655 \cdot 10^6 s + 5.669 \cdot 10^{13}} \quad (2)$$

$$T_3(s) = \frac{s^2}{s^2 + 1.276 \cdot 10^6 s + 3.496 \cdot 10^{13}} \quad (3)$$

1.2 Síntese dos biquads - Passa-altas de Sallen-Key.

A topologia Sallen-Key da figura 1 foi adotada para implementar os três biquads passa-altas (equações 1, 2, 3).

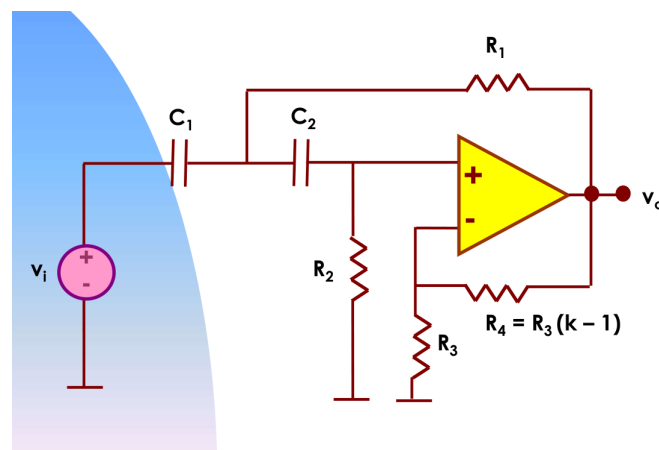


Figura 1: Topologia do passa-altas de Sallen-Key. Fonte: Slide do professor.

Para todos os biquads foi arbitrado que $R_1 = R_2 = R$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ e $C_1 = C_2 = C = 10 \text{ pF}$. Portanto, as expressões de ω_0 , Q e k têm a forma expressa abaixo.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{RC} \quad (4)$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{R_1(C_1 + C_2) + R_2 C_2(1 - k)} \Rightarrow Q = \frac{RC}{2RC + RC(1 - k)} \quad (5)$$

$$k = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (6)$$

Primeiramente, os valores de ω_0 e Q são obtidos pela comparação de coeficientes das funções $T_1(s)$, $T_2(s)$, $T_3(s)$ com a forma padrão de um passa-altas convencional de segunda ordem. Depois, as expressões 4 e 5 são resolvidas no *MATLAB* pelo comando *vpasolve*, com o auxílio de variáveis simbólicas, para obter R , k e R_4 .

Os valores obtidos para o biquad 1 são:

$$C = 10 \text{ pF} ; R_3 = 10 \text{ k}\Omega ; k_1 = 1.33 ; R = 8167.63 \text{ }\Omega ; R_4 = 3318.32 \text{ }\Omega$$

Os valores obtidos para o biquad 2 são:

$$C = 10 \text{ pF} ; R_3 = 10 \text{ k}\Omega ; k_2 = 2.25 ; R = 13281.33 \text{ }\Omega ; R_4 = 12490.07 \text{ }\Omega$$

Os valores obtidos para o biquad 3 são:

$$C = 10 \text{ pF} ; R_3 = 10 \text{ k}\Omega ; k_3 = 2.78 ; R = 16913.81 \text{ }\Omega ; R_4 = 17841.53 \text{ }\Omega$$

Após obter os valores para os resistores e capacitores dos biquads, o circuito passa-altas é simulado no *LTSpice* conforme mostra a figura 2.

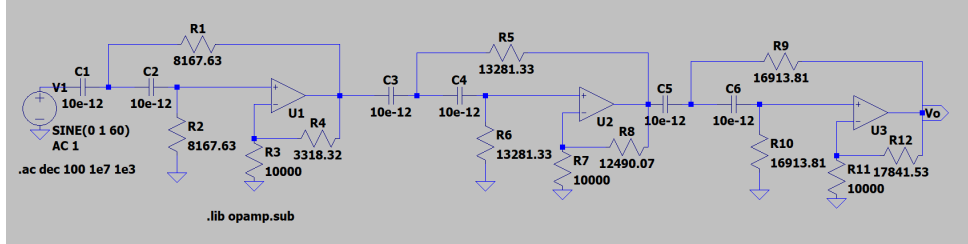


Figura 2: Diagrama esquemático do circuito passa-altas montado.

1.3 Resultados.

A figura 3 mostra a magnitude da função de transferência calculada pela aproximação de Chebyshev.

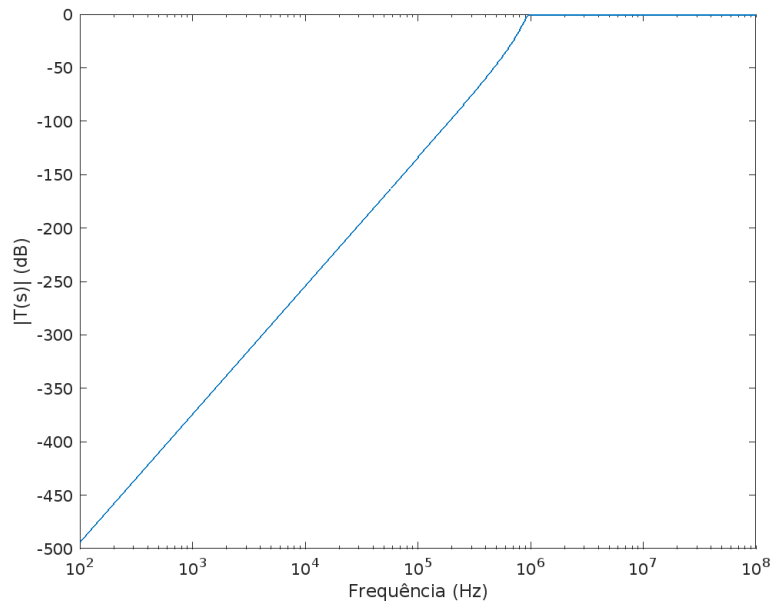


Figura 3: Magnitude da função de transferência $T(s)$ calculada teoricamente.

A tabela 2 compara os resultados obtidos entre a função de transferência calculada e o circuito simulado.

	Frequência (Hz)	Ganho (dB)		
		Especificada	Aproximação	Circuito
Banda de Passagem	$f_p = 1 \text{ M}$	$A_{max} = 0,1$	0,1	0,1
Banda de Rejeição	$f_s = 250\text{k}$	$A_{min} = 85$	87,3969	87,3969

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

Para fins de comparação entre o resultado teórico e os valores obtidos na simulação do circuito, a função $T(s)$ é multiplicada por $\frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{0.9886}$ com o objetivo de igualar os ganhos na banda de passagem.

Como é visto na figura 4, a curva simulada no circuito é ajustada muito bem aos valores da função teórica. Além disso, a atenuação mínima em ambos os casos é aproximadamente $A_{min} = 18.5102 - (-68.8867) = 87.3969 \text{ dB}$.

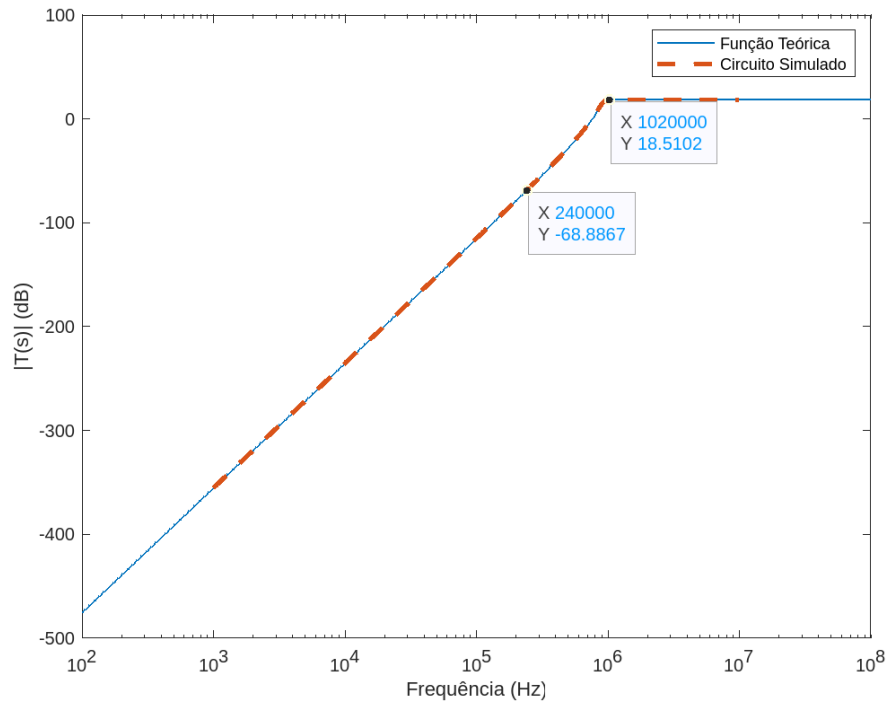


Figura 4: Comparação entre a magnitude da função teórica e a resposta do circuito simulado.

As figuras 5 e 6 comparam a curva simulada com função teórica apenas na região da banda de passagem. Para ambas as curvas a atenuação máxima é $A_{max} = 0.1 \text{ dB}$.

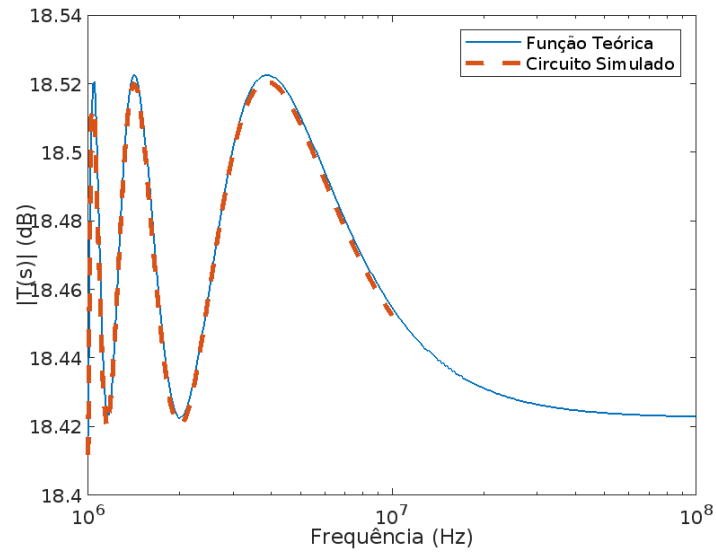


Figura 5: Comparação entre a magnitude da função teórica e a resposta do circuito simulado na banda de passagem.

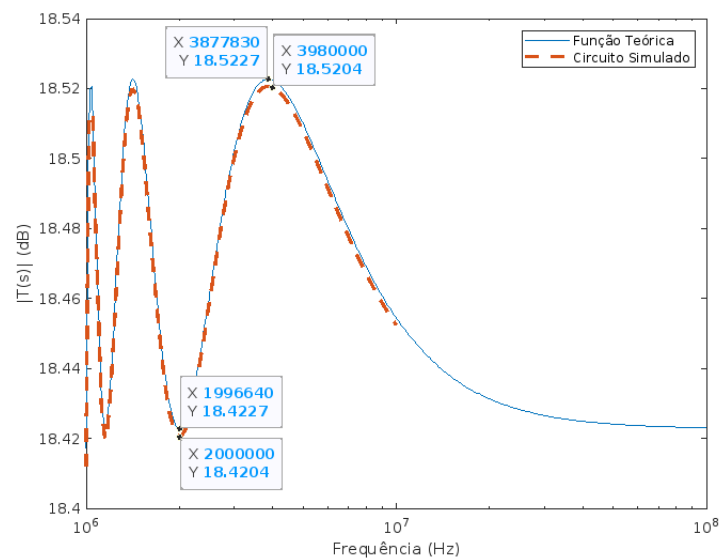


Figura 6: Comparação entre pontos da função teórica e a resposta do circuito simulado na banda de passagem.

A figura 7 compara a curva simulada com função teórica apenas na região da banda de rejeição.

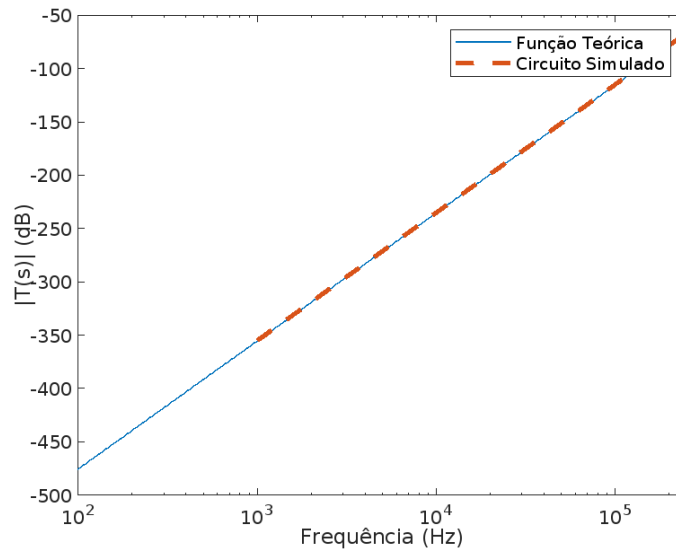


Figura 7: Comparação entre a magnitude da função teórica e a resposta do circuito simulado na banda de rejeição.

A figura 8 compara a resposta de fase da função teórica com a resposta obtida na simulação do circuito.

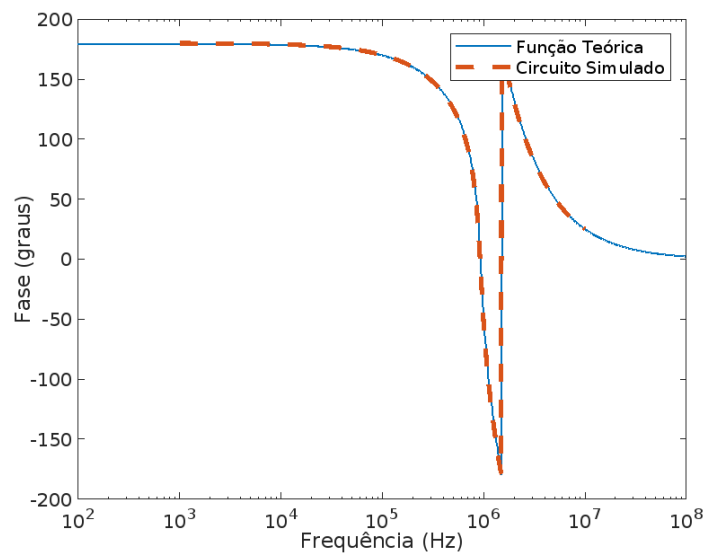


Figura 8: Comparação entre a fase da função teórica e a resposta do circuito simulado.