Trabajo Práctico de Laboratorio 1

Teoría Moderna y Filtrado Activo

Revisión Mayo 2024

Objetivos

- Consolidar los conceptos de teoría moderna mediante la implementación circuital.
- Simular e implementar el filtro con componentes activos de precisión.
- Medir las partes de la función transferencia para frecuencias de 0 a 100 kHz.

Descripción

El trabajo práctico consiste en el diseño, análisis, medición y discusión de un filtro activo.
Las instrucciones pormenorizadas de lo que deberán realizar las encontrarán en el Anexo.

Plantillas:

Filtro	Función de aproximación	Frecuencia de corte	Frecuencia de stop	Atenuación máxima en banda de paso	Atenuación mínima en banda de stop
A	Chebyshev	1.5 kHz	4.5 kHz	0.5 dB	16 dB
B	Chebyshev	4.6 kHz	1.2 kHz	1 dB	20 dB

Filtro	Función de aproximación	Frecuencia central	Q	Atenuación máxima en banda de paso	Atenuación mínima en banda de stop (ambas)
C	Chebyshev	1 kHz	3	2 dB	15 dB @100 Hz 15 dB @10 kHz
D	Chebyshev	6 kHz	3	2.5 dB	15 dB @ 0.6 kHz 15 dB @ 60 kHz

Filtro	Función de aproximación	Retardo constante	Desvío del retardo máximo	Atenuación máxima
E	Bessel	80 μs	5% @ 3 kHz	1 dB @ 2 kHz

Filtro	Tipo de filtro	Frecuencia a eliminar	Ancho de banda @3dB
F	Notch	50 Hz	10 Hz

/ /

Filtro	Función de aproximación	Retardo constante	Desvío del retardo máximo	Atenuación máxima
E	Bessel	80 µs	5% @ 3 kHz	1 dB @ 2 kHz

$D_{(0)} = 80\,\mu Seg$

$\omega_p = 2\pi \cdot 2KHz = 12566{,}37\ rad/seg \longrightarrow \omega_{pn} = 1$

$\alpha_{max} = 1dB$

$\omega_s = 2\pi \cdot 3KHz = 18849{,}55\ rad/seg \longrightarrow \omega_{sn} = 1{,}5$

$error = \frac{\Delta D}{D_{(0)}} = \frac{D_{(0)} - D_{(\omega s)}}{D_{(0)}} \longrightarrow D_{(\omega_{sn})} = D_{(1{,}5)} = (1-error)\,D_{(0)} = 76\,\mu Seg$

#1

. $n=2$:

$$\cot gh(s) = \frac{1}{s} + \frac{s}{3} = \frac{s^2+3}{3s}$$

$$T_{2(s)} = \frac{1}{\operatorname{senh}(s) + \cosh(s)} = \frac{1}{s^2+3s+3} \longrightarrow T_{2(s)} = \frac{3}{s^2+3s+3}$$

. $n=3$

$$\cot gh(s) = \frac{1}{s} + \frac{1}{\frac{3}{s}+\frac{s}{5}} = \frac{1}{s} + \frac{5s}{s^2+15} = \frac{6s^2+15}{s^3+15s}$$

$$T_{3(s)} = \frac{15}{s^3+6s^2+15s+15}$$

#2

$\alpha_{max} = 1$

$$\alpha_{(\omega)} = -20\log|T_{(\omega)}| \longrightarrow \alpha_{max} = -20\log|T_{(\omega)}|\Big|_{\omega=\omega_p=1}$$

. $n=2$:

$$T_{2(s)} = \frac{3}{s^2+3s+3} \longrightarrow T_{2(\omega)} = T_{2(s)}\Big|_{s=j\omega} = \frac{3}{3-\omega^2+j3\omega}$$

$$\alpha_{max} = -20\log\left(\frac{3}{\sqrt{(3-\omega^2)^2+9\omega^2}}\right)\Bigg|_{\omega=\omega_p=1} = 1{,}59\ dB$$ X la atenuación en la banda de paso es mayor a la pedida

. $n=3$:

$$T_{3(s)} = \frac{15}{s^3+6s^2+15s+15} \longrightarrow T_{3(\omega)} = T_{3(s)}\Big|_{s=j\omega} = \frac{15}{15-6\omega^2+j(15\omega-\omega^3)}$$

$$\alpha_{max} = -20\log\left(\frac{15}{\sqrt{(15-6\omega^2)^2+(15\omega-\omega^3)^2}}\right)\Bigg|_{\omega=\omega_p=1} = 0{,}9029725095\ dB$$ ✓ $\alpha_{max} < 1dB$

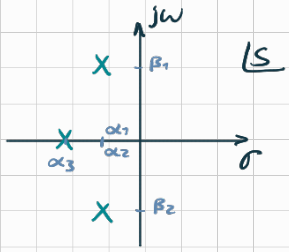
Para cumplir con la plantilla, se deberá utilizar un Bessel de orden 3 $\longrightarrow$ siendo $\alpha_{max} \cong 0{,}9$

#3

$$\varphi = atg\left(\frac{Im}{Re}\right) \longrightarrow D_{(\omega)} = -\frac{\partial\left[atg\left(\frac{Im}{Re}\right)\right]}{\partial\omega}$$

Se hace uso de la siguiente identidad trigonométrica: $\dfrac{\partial\{atg(x)\}}{\partial x} = \dfrac{1}{1+x^2}\,x'$

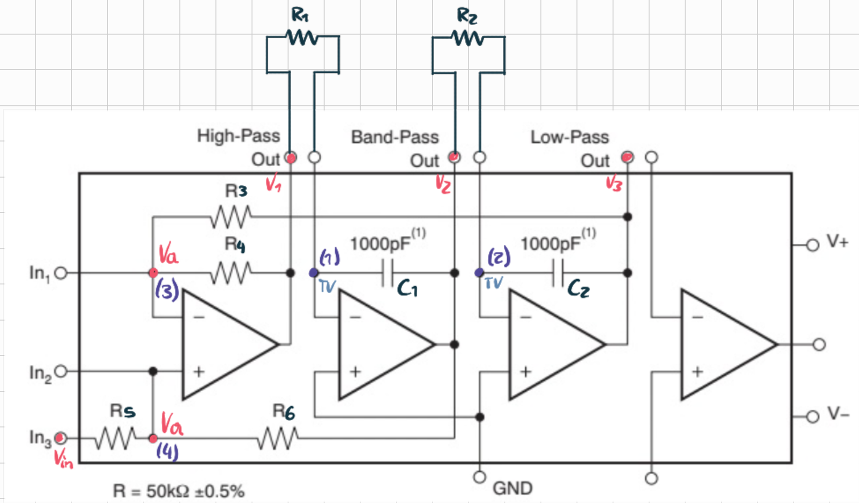
$$atg\left(\frac{\omega \pm \beta}{\alpha}\right)$$



$$D_{(\omega)} = \frac{\alpha_1}{\alpha_1^2+(\omega+\beta_1)^2} + \frac{\alpha_2}{\alpha_2^2+(\omega+\beta_2)^2} + \frac{\alpha_3}{\alpha_3^2+(\omega+\beta_3)^2}$$

$$D_{(\omega)} = \frac{\alpha_1}{\alpha_1^2+(\omega+\beta_1)^2} + \frac{\alpha_1}{\alpha_1^2+(\omega-\beta_1)^2} + \frac{\alpha_3}{\alpha_3^2+\omega^2}$$

Obtención de la Función Transferencia del UAF42 como Pasa Bajos



(1) $V_1 G_1 + V_2\, s C_1 = 0$

(2) $V_2 G_2 + V_3\, s C_2 = 0$

(3) $V_a(G_3+G_4) - V_1 G_4 - V_3 G_3 = 0$

(4) $V_a(G_5+G_6) - V_{in} G_5 - V_2 G_6 = 0$

✱ Se obtiene $T_{(s)}$ por medio de cálculo simbólico:

$$T_{(s)} = \frac{V_3}{V_{in}} = \frac{G_1G_2G_5(G_3+G_4)}{s^2\, G_4C_1C_2(G_5+G_6) + s\, G_1G_6C_2(G_3+G_4) + G_1G_2G_3(G_5+G_6)}$$

Síntesis del circuito:

$$\begin{cases} R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R \\ C_1 = C_2 = C \end{cases} ;\ \Omega_z = R = 50\,k\Omega \longrightarrow R_n = 1$$

$$T_{KHN(s)} = \frac{V_3}{V_{in}} = \frac{2G_1G_2}{s^2\, 2C^2 + s\, 2G_1C + 2G_1G_2} = \frac{\frac{G_1G_2}{C^2}}{s^2 + s\frac{G_1}{C} + \frac{G_1G_2}{C^2}}$$

/ /

Siendo la Transferencia de un Pasa Bajos Bessel de orden 3

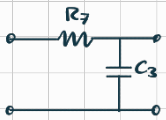
$$T_{B3(s)} = \frac{15}{s^3+6s^2+15s+15} = \underbrace{\frac{\omega_0^2}{s^2+\frac{\omega_0}{Q}s+\omega_0^2}}_{T_1} \cdot \underbrace{\frac{\frac{15}{\omega_0^2}}{s+\omega_{02}}}_{T_2}$$

$$\begin{cases} \omega_{02} = \dfrac{15}{\omega_0^2} \\ \omega_{02} = \alpha_3 \\ \omega_0^2 = \alpha_1^2+\beta_1^2 \\ \dfrac{\omega_0}{Q} = 2\alpha_1 \end{cases} \qquad \begin{cases} \alpha_3 = \dfrac{15}{\omega_0^2} \end{cases} \qquad \begin{cases} \omega_0^2 = \alpha_1^2+\beta_1^2 \\ Q = \dfrac{\sqrt{\alpha_1^2+\beta_1^2}}{2\alpha_1} \end{cases}$$

* $T_{1(s)} = T_{KHN(s)}$

$$\begin{cases} \dfrac{G_{1n}G_{2n}}{C_n^2} = \omega_0^2 \\ \dfrac{G_{1n}}{C_n} = \dfrac{\omega_0}{Q} \end{cases} \qquad \begin{cases} G_{2n} = \omega_0 Q\, C_n \\ G_{1n} = \dfrac{\omega_0}{Q} C_n \end{cases} \qquad \begin{cases} R_{2n} = \dfrac{1}{\omega_0 Q C_n} \\ R_{1n} = \dfrac{Q}{\omega_0}\,\dfrac{1}{C_n} \end{cases}$$

* $T_{2(s)} = \dfrac{\frac{15}{\omega_0^2}}{s+\frac{15}{\omega_0^2}}$



$$T_{(s)} = \frac{\frac{1}{R_7C_3}}{s+\frac{1}{R_7C_3}} = \frac{\frac{15}{\omega_0^2}}{s+\frac{15}{\omega_0^2}} \quad \begin{cases} R_7C_3 = \dfrac{\omega_0^2}{15} \end{cases} \; ; \; C_3 = 1 \quad \begin{cases} C_3 = 1 \\ R_7 = \dfrac{\omega_0^2}{15} \end{cases}$$

Desnormalización:

$D(\omega)\Big|_{\omega=0} = 80\,\mu Seg \longrightarrow \Omega_\omega = \omega_0 = \dfrac{1}{D(0)} = 12500\ rad/seg$ | $R = 50\,k\Omega\ ;\ C = 1000\,pF = 1\,nF$

$\Omega_{Z_1} = R = 50\,k\Omega\ ;\ \Omega_\omega = 12500\ rad/seg$

$C_n = \Omega_\omega \Omega_{Z_1} C = 0{,}625$

$R_1 = \Omega_{Z_1} R_{1n} = \Omega_{Z_1} \dfrac{Q}{\omega_0}\,\dfrac{1}{C_n} = 21752{,}048\,\Omega$

$R_2 = \Omega_{Z_1} R_{2n} = \Omega_{Z_1} \dfrac{1}{\omega_0 Q C_n} = 45549{,}692\,\Omega$

$C_3 = 1\,nF \longrightarrow C_3 = \dfrac{1}{\Omega_\omega \Omega_{Z_2}} C_{3n} \longrightarrow \Omega_{Z_2} = \dfrac{1}{\Omega_\omega}\,\dfrac{C_n}{C_3} = 80000$

$R_7 = \Omega_{Z_2} R_{7n} = \Omega_{Z_2} \cdot \dfrac{\omega_0^2}{15} = 34450{,}308\,\Omega$