Ej. 9

Se debe diseñar un filtro pasabanda con las siguientes especificaciones:

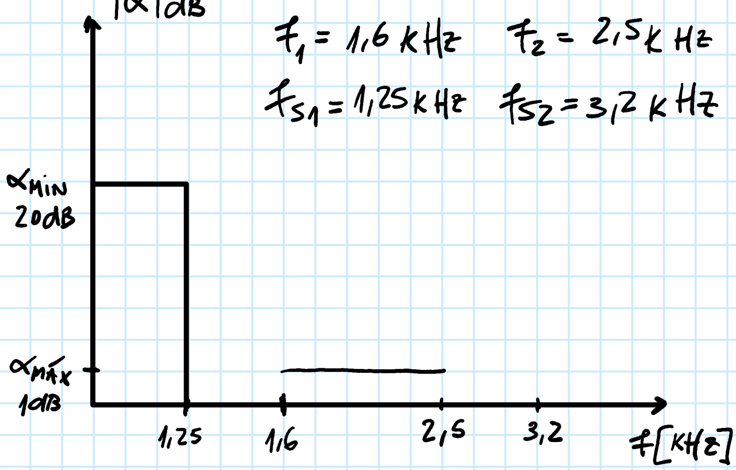
- Frecuencia de corte inferior: 1600 KHz
- Frecuencia de corte superior: 2500 KHz
- ~~Ripple máximo en la banda de paso: 3dB~~
- ~~Máxima planicidad en la banda de paso~~
- Ganancia máxima en la banda de paso: 10 dB
- Atenuación mínima de 20 dB a las frecuencias de 1250 KHz y 3200 KHz

Se pide:

a. Obtener la función transferencia normalizada del filtro ✓
b. Graficar el diagrama de polos y ceros ✓
c. Graficar la transferencia (módulo y fase) del filtro pedido ✓
d. Sintetizar el filtro utilizando estructuras Ackerberg Mossberg ✓
e. Simular el filtro obtenido, verificando las especificaciones de diseño ✓

$f_1 = 1{,}6\ kHz \qquad f_2 = 2{,}5\ kHz$

$f_{S1} = 1{,}25\ kHz \qquad f_{S2} = 3{,}2\ kHz$



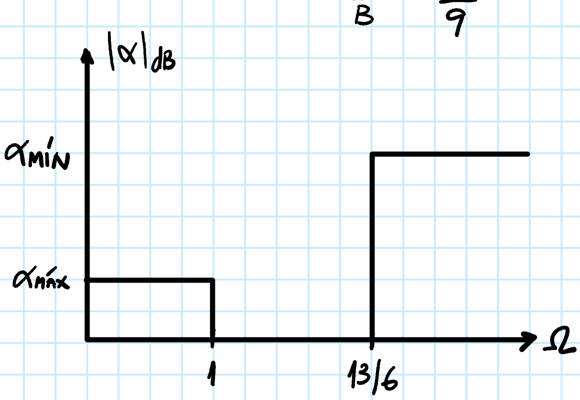
Ejercicio #9

Idem anterior empleando una aproximación de Chebyshev con un ripple en la banda de paso de 1 dB.

$$f_0^2 = f_1 . f_2 \longrightarrow f_0 = 2KHz \qquad B = (f_2 - f_1)\,2\pi = 5{,}6549 \times 10^3 \frac{rad}{s}$$

$$Q = \frac{w_0}{B} = \frac{20}{9}$$

$\lvert W \rvert$	$\lvert \Omega \rvert$
$W_{0N} = 1$	$\Omega_{0N} = 0$
$W_{1N} = 0{,}8$	$\Omega_1 = -1$
$W_{2N} = 1{,}25$	$\Omega_2 = 1$
$W_{S1N} = 0{,}625$	$\Omega_{S1} = -13/6$
$W_{S2} = 1{,}6$	$\Omega_{S2} = 13/6$



$$\varepsilon^2 = 10^{\alpha_{MAX}/10} - 1 = 0{,}25892 \qquad N = \frac{\text{arccosh}\left(\sqrt{\frac{10^{\alpha_{min}/10} - 1}{10^{\alpha_{MAX}/10} - 1}}\right)}{\text{arccosh}\,(w_s/w_p)} \cong 2{,}6 \longrightarrow N = 3$$

$$|T(\Omega)|_L^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 C_3^2(\Omega)}$$

$$|T(s)| = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 C_3^2(\frac{s}{j})}$$

$$|T(s)| = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 C_3^2(\frac{s}{j})}$$

$$|T(s)| = \frac{1}{(s - P_5)} \; \frac{1}{(s - P_3)(s - P_4)}$$

$$|T(s)| = \frac{1}{s + 0{,}4942} \; \frac{1}{s^2 + 0{,}4942 + 0{,}9942}$$

Para la obtención de los polos utilizamos la fórmula de la elipse y obtenemos:

a = 0.4760

P1= 0.2471 + j0.9660 P2= 0.2471 - j0.9660
P3= -0.2471 + j0.9660 P4= -0.2471 - j0.9660
P5= -0.4942 + j0 P6= 0.4942 + j0

Para |T(s)| me quedo con los polos de parte real negativa, es decir P3,P4 y P5

$$|T(\$)|_L = \frac{1}{\$ + 0{,}4942} \cdot \frac{1}{\$^2 + 0{,}4942\$ + 0{,}9942}$$

$$|T(s)| = \frac{1}{\left[Q\left(\frac{s^2+1}{s}\right)\right] + A} \quad \frac{1}{\left[Q\left(\frac{s^2+1}{s}\right)\right]^2 + A\left[Q\left(\frac{s^2+1}{s}\right)\right] + B}$$

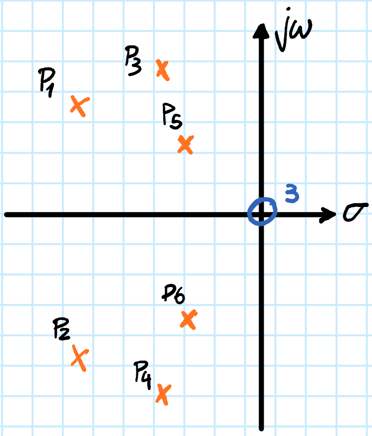
$$|T(s)| = \frac{s}{Qs^2 + As + Q} \quad \frac{s^2}{Q^2s^4 + AQs^3 + (2Q^2+B)s^2 + AQs + Q^2}$$

$$|T(s)| = \frac{(1/Q)\, s}{s^2 + \frac{A}{Q}s + 1} \quad \frac{(1/Q^2)\, s^2}{s^4 + \frac{A}{Q}s^3 + \left(\frac{2Q^2+B}{Q^2}\right)s^2 + \frac{A}{Q}s + 1}$$

$$|T(s)| = \frac{0{,}45\,\$}{\$^2 + 0{,}2224\$ + 1} \quad \frac{0{,}45^2\,\$^2}{\$^4 + 0{,}2224\$^3 + 4{,}8918\$^2 + 0{,}2224\$ + 1}$$

$$\boxed{|T(s)| = \frac{0{,}45\,\$}{\$^2 + 0{,}2224\$ + 1} \quad \frac{0{,}45\,\$}{\$^2 + 0{,}1348\$ + 1{,}5403} \quad \frac{0{,}45\,\$}{\$^2 + 0{,}0875\$ + 0{,}6492}}$$

Obtenemos una ganancia de aproximadamente 6 dB en la banda de paso y una atenuación de más o menos 24dB en las frecuencias límites de la banda de atenuación (con respecto a la banda de paso).

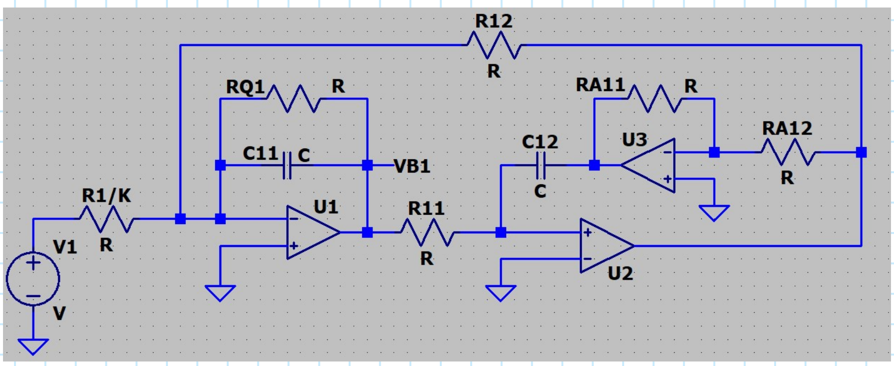


El filtro tiene tres ceros en el origen y seis polos dados en tres pares complejos conjugados.

$Z_{123} = 0 + j0$
$\mathrm{P}_{12} = -0.1112 \pm \mathrm{j}0.9938$
$P_{34} = -0.0674 \pm j1.2393$
$P_{56} = -0.0438 \pm j0.8045$

Ponemos 3 estructuras Ackerberg-Mossberg en cascada considerando OPAMPs ideales. La transferencia de cada una de las estructuras está dada por:

$$T(s) = -K * \frac{\frac{1}{RC}s}{s^2 + \left(\frac{1}{RQC}\right)s + \frac{1}{R^2C^2}}$$



$$T(s) = \underbrace{\frac{-0{,}45\,s}{s^2+0{,}2224\,s+1}}_{T_1}\cdot\underbrace{\frac{-0{,}45\,s}{s^2+0{,}1348\,s+1{,}5403}}_{T_2}\cdot\underbrace{\frac{-0{,}45\,s}{s^2+0{,}0875\,s+0{,}6492}}_{T_3}\cdot(-1) \rightarrow$$ para que no nos quede invertido

Cálculos para T_1

adopto $R = R_A = 1K\Omega \rightarrow R_N = 1,\ R_S = 1K\Omega$

$$\frac{\omega_{b1}}{Q_1} = 0{,}2224 \rightarrow Q_1 = \frac{1}{0{,}2224}$$

$$\frac{1}{R_N C_N Q_1} = 0{,}2224 \rightarrow C_N = \frac{1}{0{,}2224\,R_N Q_1} = 1$$

$$\frac{K_1}{R_N C_N} = 0{,}45 \rightarrow \frac{R_N}{K_1} = \frac{20}{9}$$

$$C = \frac{C_N}{\omega_s R_S} = 79{,}56\,nF$$

$$\frac{R}{K_1} = \frac{R_N}{K_1}\cdot R_S = 2{,}22\,K\Omega$$

$$RQ = R_N Q_1 R_S = 4{,}50\,K\Omega$$

$$R = R_A = 1K\Omega$$

Cálculos para T_2

adopto $R = R_A = 1K\Omega \rightarrow R_N = 1,\ R_S = 1K\Omega$

$$\frac{\omega_{b2}}{Q_2} = 0{,}1348 \rightarrow Q_2 = \frac{\sqrt{1{,}5403}}{0{,}1348} = 9{,}2069$$

$$\frac{1}{R_N C_N Q_2} = 0{,}1348 \rightarrow C_N = \frac{1}{0{,}1348\,R_N Q_2} = 0{,}8057$$

$$\frac{K_2}{R_N C_N} = 0{,}45 \rightarrow \frac{R_N}{K_2} = \frac{1}{0{,}45\,C_N} = 2{,}7581$$

$$C = \frac{C_N}{\omega_s R_S} = 64{,}12\,nF$$

$$\frac{R}{K_2} = \frac{R_N}{K_2}\cdot R_S = 2{,}76\,K\Omega$$

$$RQ = R_N Q_2 R_S = 9{,}21\,K\Omega$$

$$R = R_A = 1K\Omega$$

Cálculos para T_3

adopto $R = R_A = 1K\Omega \rightarrow R_N = 1,\ R_S = 1K\Omega$

$$\frac{\omega_{b3}}{Q_3} = 0{,}0875 \rightarrow Q_3 = \frac{\sqrt{0{,}6492}}{0{,}0875} = 9{,}2083$$

$$\frac{1}{R_N C_N Q_3} = 0{,}0875 \rightarrow C_N = \frac{1}{0{,}0875\,R_N Q_3} = 1{,}2411$$

$$\frac{K_3}{R_N C_N} = 0{,}45 \rightarrow \frac{R_N}{K_3} = \frac{1}{0{,}45\,C_N} = 1{,}7905$$

$$C = \frac{C_N}{\omega_s R_S} = 98{,}76\,nF$$

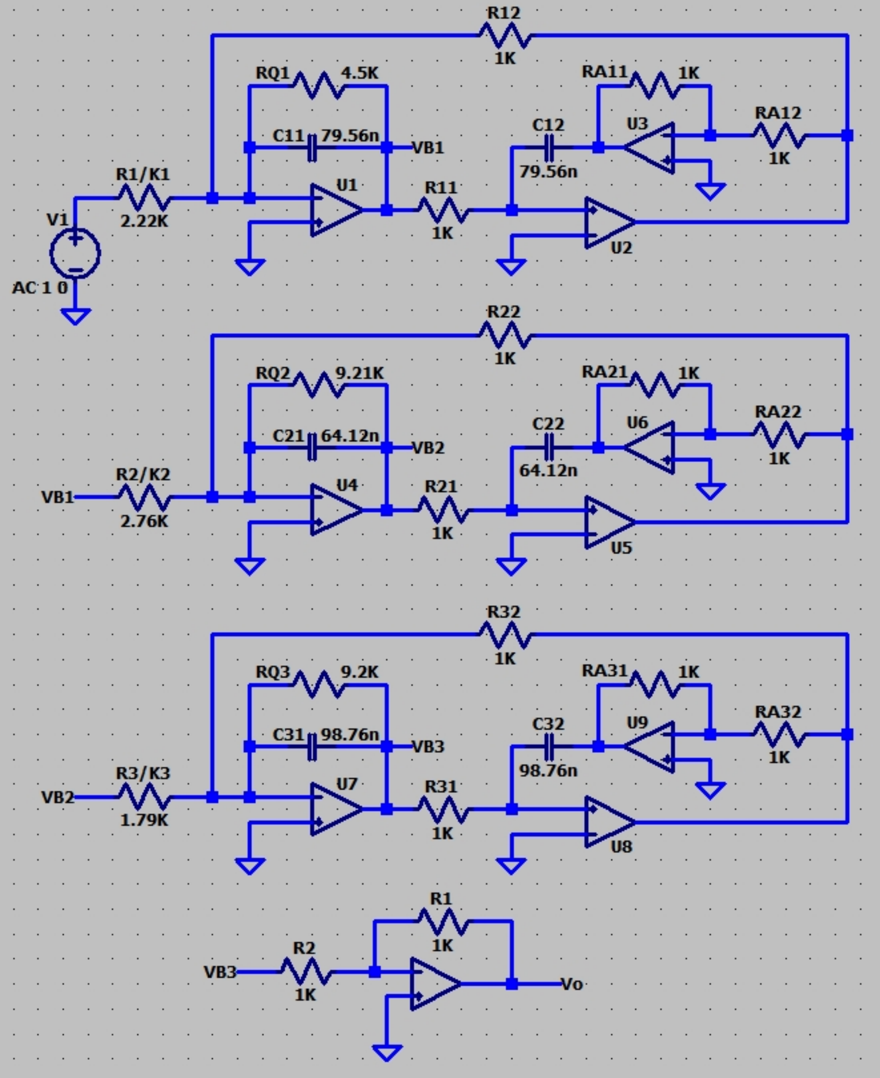
$$\frac{R}{K_3} = \frac{R_N}{K_3}\cdot R_S = 1{,}79\,K\Omega$$

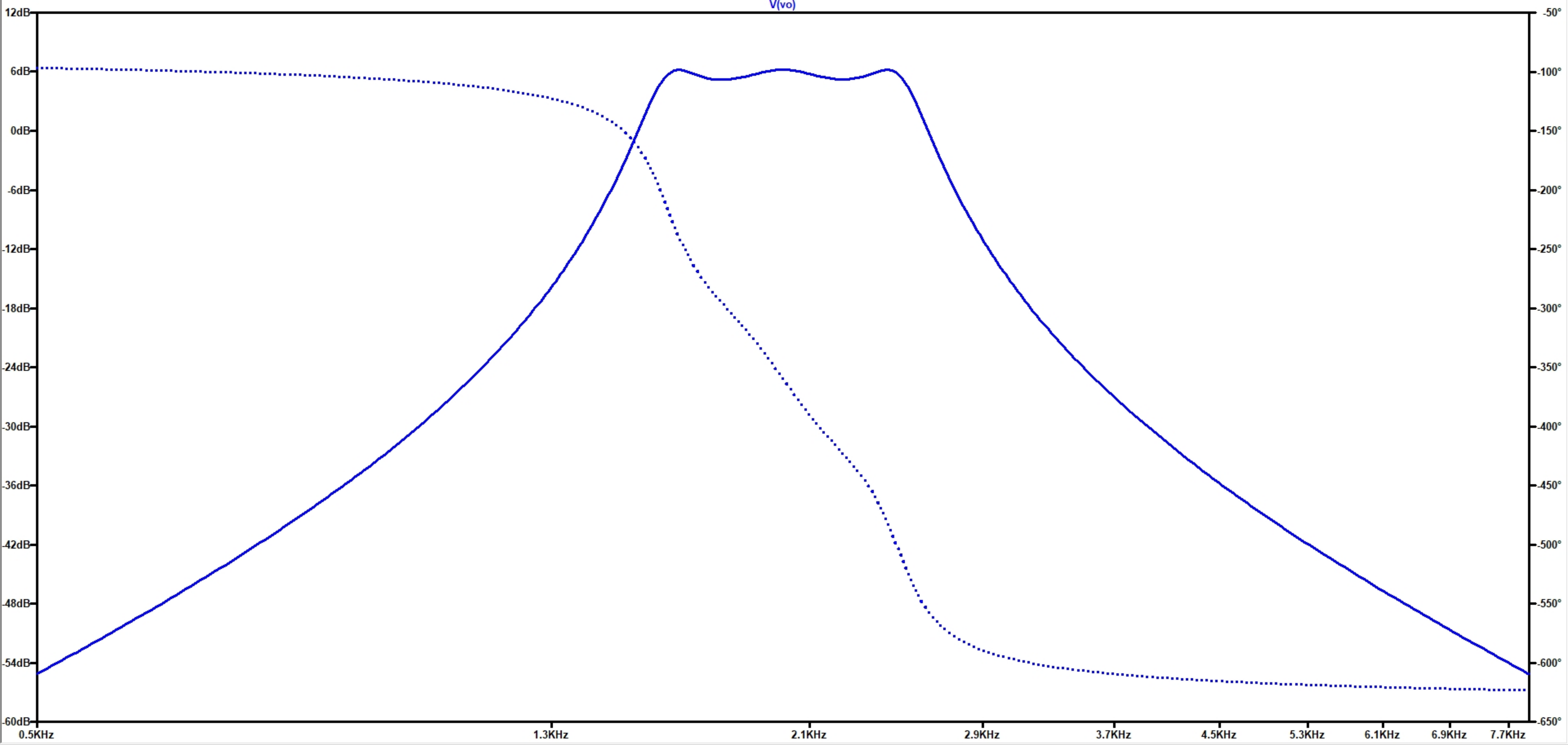
$$RQ = R_N Q_3 R_S = 9{,}20\,K\Omega$$

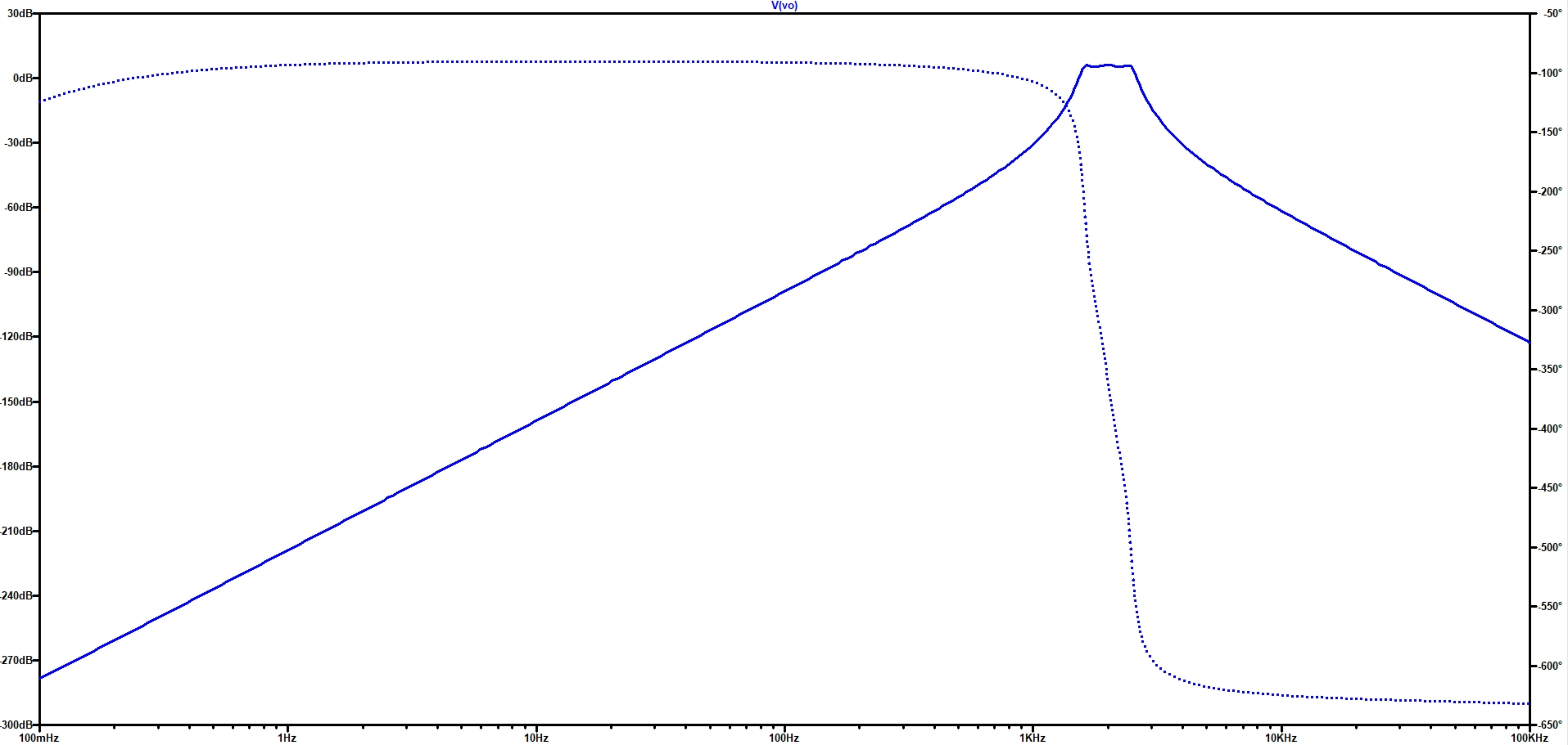
$$R = R_A = 1K\Omega$$

Al Simular en LT Spice obtenemos las siguientes mediciones:

En el centro de la banda de paso obtenemos una ganancia de 6.1dB, que cumple con los requisitos.
Tanto en f1 como en f2 la ganancia es de 5.16 dB verificando así el ripple de 1dB para la banda de paso.
Finalmente tanto en fs1 y fs2 la atenuación es de 18.6 dB o bien de más o menos 24dB respecto a la banda de paso.


R12
1K
RQ1
4.5K
C11
79.56n
VB1
RA11
1K
C12
79.56n
U3
RA12
1K
R1/K1
2.22K
U1
R11
1K
U2
V1
AC 1 0
R22
1K
RQ2
9.21K
C21
64.12n
VB2
RA21
1K
C22
64.12n
U6
RA22
1K
VB1
R2/K2
2.76K
U4
R21
1K
U5
R32
1K
RQ3
9.2K
C31
98.76n
VB3
RA31
1K
C32
98.76n
U9
RA32
1K
VB2
R3/K3
1.79K
U7
R31
1K
U8
R1
1K
R2
1K
VB3
Vo


V(vo)
12dB
6dB
0dB
-6dB
-12dB
-18dB
-24dB
-30dB
-36dB
-42dB
-48dB
-54dB
-60dB
-50°
-100°
-150°
-200°
-250°
-300°
-350°
-400°
-450°
-500°
-550°
-600°
-650°
0.5KHz
1.3KHz
2.1KHz
2.9KHz
3.7KHz
4.5KHz
5.3KHz
6.1KHz
6.9KHz
7.7KHz

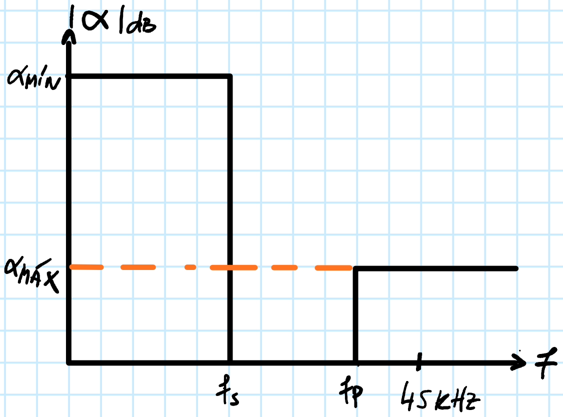

V(vo)
30dB
0dB
-30dB
-60dB
-90dB
-120dB
-150dB
-180dB
-210dB
-240dB
-270dB
-300dB
-50°
-100°
-150°
-200°
-250°
-300°
-350°
-400°
-450°
-500°
-550°
-600°
-650°
100mHz
1Hz
10Hz
100Hz
1KHz
10KHz
100KHz

Ej. 10

jueves, 26 de mayo de 2022 15:37

Un tono de 45 KHz y n tono de 45 KHz y 200 mV de amplitud es distorsionada por un tono de 12 KHz y 2 V de amplitud. Diseñar un filtro pasa altos que atenúe la señal interferente, de tal forma que el remanente no sea mayor que el 2% de los 200 mV.

La ganancia en alta frecuencia deberá ser de 0 db y la máxima atenuación en la banda de paso menor a 1 dB. Emplear la aproximación que necesite menor número de etapas.



2% de 200 mV $\longrightarrow$ 4 mV

$$\alpha_{mín} = 20\log(2/4mV) = 53{,}98\,dB$$

$$\alpha_{máx} = 1\,dB$$

$$f_s = 12kHz \longrightarrow \omega_{SN} = 0{,}3$$

$$f_p = 40kHz \longrightarrow \omega_{PN} = 1$$

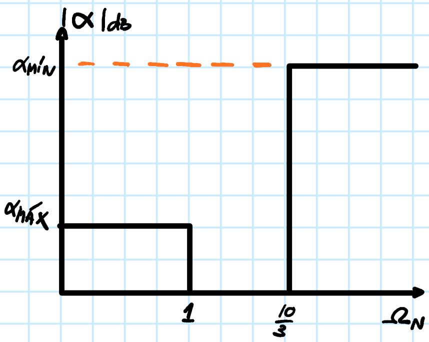
$$f_T = 45kHz \longrightarrow \omega_{TN} = 1{,}125$$

$\lvert W\rvert$	$\lvert\Omega\rvert$
$\omega_{PN}=1$	$\Omega_{PN}=1$
$\omega_{SN}=0{,}3$	$\Omega_{SN}=\frac{10}{3}$
$\omega_{TN}=1{,}125$	$\Omega_{TN}=\frac{8}{9}$

Para emplear el menor número de etapas usamos una aproximación de Chebyshev. (ya que debería darnos un menor orden)
No podemos usar 45 KHz como límite de la banda de paso del pasa altos ya que tendríamos una atenuación de 1dB en ese punto (si bien al ser un filtro Chebyshev no podemos estar seguros la atenuación que tendrá exactamente en 45 KHz al menos aseguramos de que en ese punto conocido no se atenúe).
Elegimos entonces una frecuencia menor de 40KHz como fp.

$$\varepsilon^2 = 10^{\alpha_{MAX}/10} - 1 = 0{,}25892$$

$$N = \frac{\operatorname{arccosh}\left(\sqrt{\dfrac{10^{\alpha_{min}/10}-1}{10^{\alpha_{MAX}/10}-1}}\right)}{\operatorname{arccosh}(\omega_s/\omega_p)} = 4{,}04 \longrightarrow N=4$$



$$|T(\Omega)|_L^2 = \frac{1}{1+\varepsilon^2 C_4^2(\Omega)} = \frac{1}{1+\varepsilon^2(8\Omega^4-8\Omega^2+1)^2}$$

$$|T(\Omega)|_L^2 = \frac{1}{64\varepsilon^2\Omega^8 - 128\varepsilon^2\Omega^6 + 80\varepsilon^2\Omega^4 - 16\varepsilon^2\Omega^2 + 2}$$

$$|T(\Omega)|_L^2 = \frac{1/(64\varepsilon^2)}{\Omega^8 - 2\Omega^6 + 1{,}25\Omega^4 - 0{,}25\Omega^2 + \frac{1}{32\varepsilon^2}}$$

$$|T(\$)|_L^2 = \frac{1/(64\varepsilon^2)}{\$^8 + 2\$^6 + 1{,}25\$^4 + 0{,}25\$^2 + \frac{1}{32\varepsilon^2}}$$

Con Matlab obtuvimos las siguientes raíces para el denominador:

S1= -0.1395 + 0.9834i, **S2**= -0.1395 - 0.9834i, S3= 0.1395 + 0.9834i, S4= 0.1395 - 0.9834i
S5= -0.3369 + 0.4073i, **S6**= -0.3369 - 0.4073i, S7= 0.3369 + 0.4073i, S8= 0.3369 - 0.4073i

Para |T(s)| me quedo con las raíces de parte real negativa, es decir, s1,s2,s5 y s6

$$|T(s)|_L = \frac{1}{(s-s_1)(s-s_2)} \frac{1}{(s-s_5)(s-s_6)} A \qquad \text{Siendo } A = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon^2 64}}$$

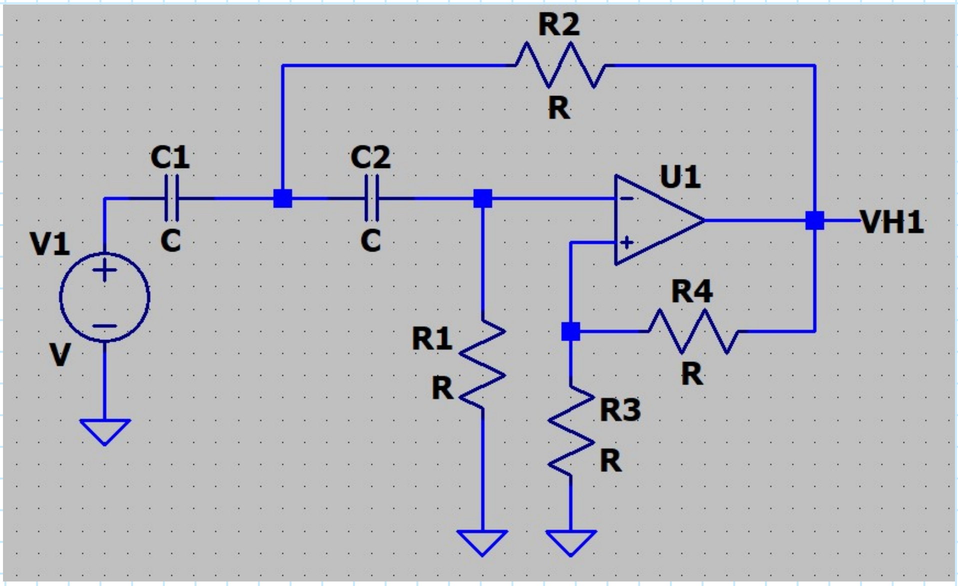
$$|T(s)|_L = \frac{1}{s^2+0{,}279s+0{,}9865} \frac{1}{s^2+0{,}6738s+0{,}279} . A$$

$$|T(s)| = \frac{1}{\frac{1}{s^2}+0{,}279\frac{1}{s}+0{,}9865} \frac{1}{\frac{1}{s^2}+0{,}6738\frac{1}{s}+0{,}279} . A$$

$$|T(s)| = \frac{s^2}{0{,}9865s^2+0{,}279s+1} \frac{s^2}{0{,}279s^2+0{,}6738s+1} A$$

Para sintetizar el filtro utilizamos 2 estructuras pasa altos Sallen-Key, una para cada transferencia de segundo orden. La transferencia de esta estructura está dada por la siguiente ecuación:

$$T(s) = \frac{(K+1)s^2}{s^2 + \left[\frac{1}{R_1}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right) - \frac{K}{R_2C_1}\right]s + \frac{1}{R_1R_2C_1C_2}} \quad donde\ K = \frac{R_4}{R_3}$$



$$T(s) = \frac{1{,}0137\, s^2}{s^2 + 0{,}2828 s + 1{,}0137} \cdot \frac{3{,}5842 s^2}{s^2 + 2{,}4150 s + 3{,}5842} \cdot A$$

$$T(s) = \underbrace{\frac{s^2}{s^2 + 0{,}2828 s + 1{,}0137}}_{T_1} \cdot \underbrace{\frac{s^2}{s^2 + 2{,}4150 s + 3{,}5842}}_{T_2} \cdot 0{,}8925$$

Juntamos las 3 constantes del numerador en una sola

Cálculos para T_1

$R_{1N} = 1 \qquad C_1 = C_2$

$K + 1 = 1 \rightarrow K = 0 \rightarrow R_3 >> R_4$

$\frac{2}{R_{1N} C_N} = 0{,}2828 \rightarrow C_N = 7{,}0721$

$\frac{1}{R_{1N} R_{2N} C_N^2} = 1{,}0137 \rightarrow R_{2N} = 0{,}0197$

$R_1 = 1K\Omega$

$R_2 = 19{,}7\Omega$

$C_1 = C_2 = 28{,}1389 nF$

$R_3 = 100K\Omega$

$R_4 = 10\Omega$

Cálculos para T_2

$R_{1N} = 1 \qquad C_1 = C_2$

$\frac{2}{R_{1N} C_N} = 2{,}4150 \rightarrow C_N = 0{,}8282$

$\frac{1}{R_{1N} R_{2N} C_N^2} = 3{,}5842 \rightarrow R_{2N} = 0{,}4068$

$R_1 = 1K\Omega$

$R_2 = 406{,}7591\Omega$

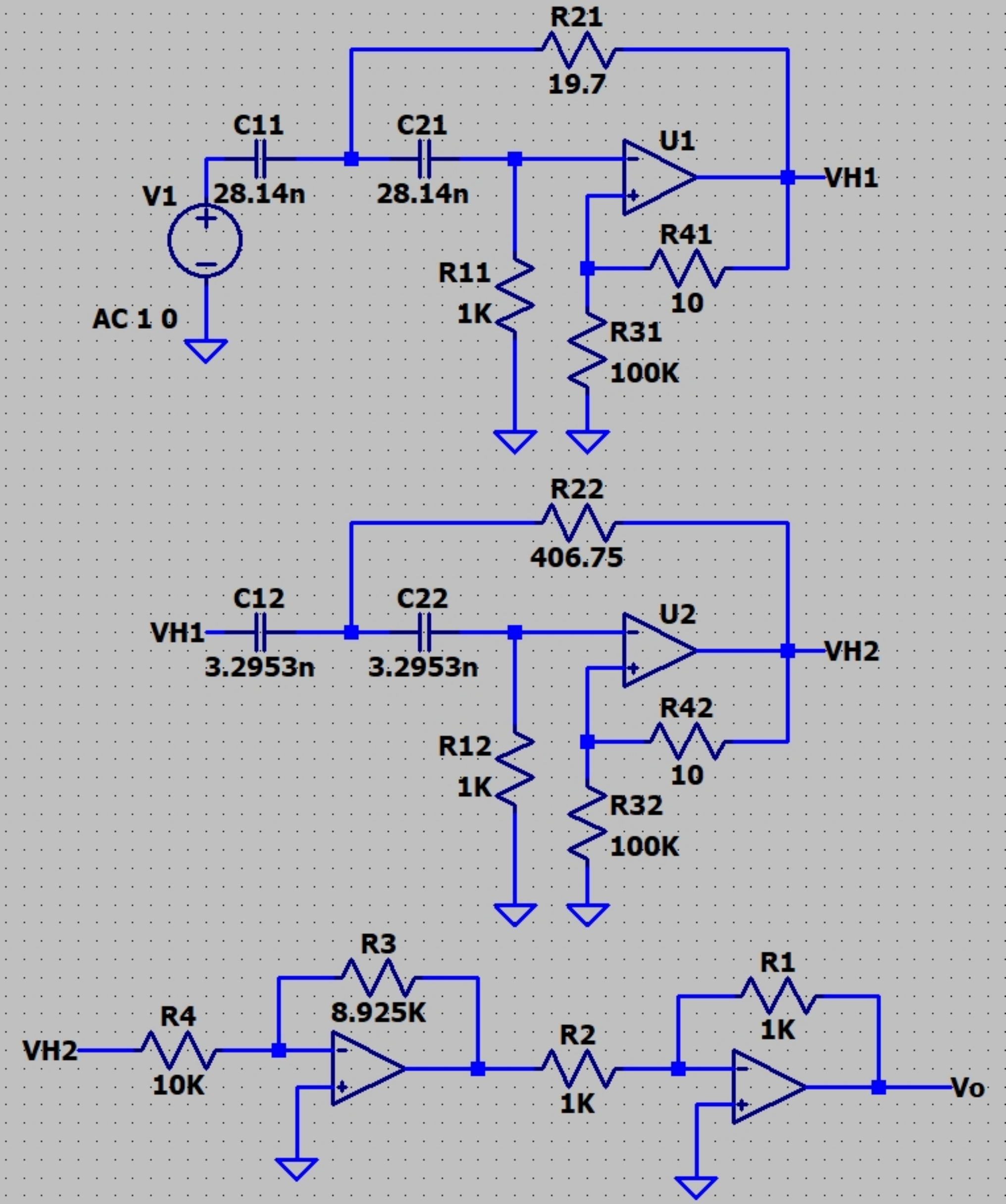
$C_1 = C_2 = 3{,}2953 nF$

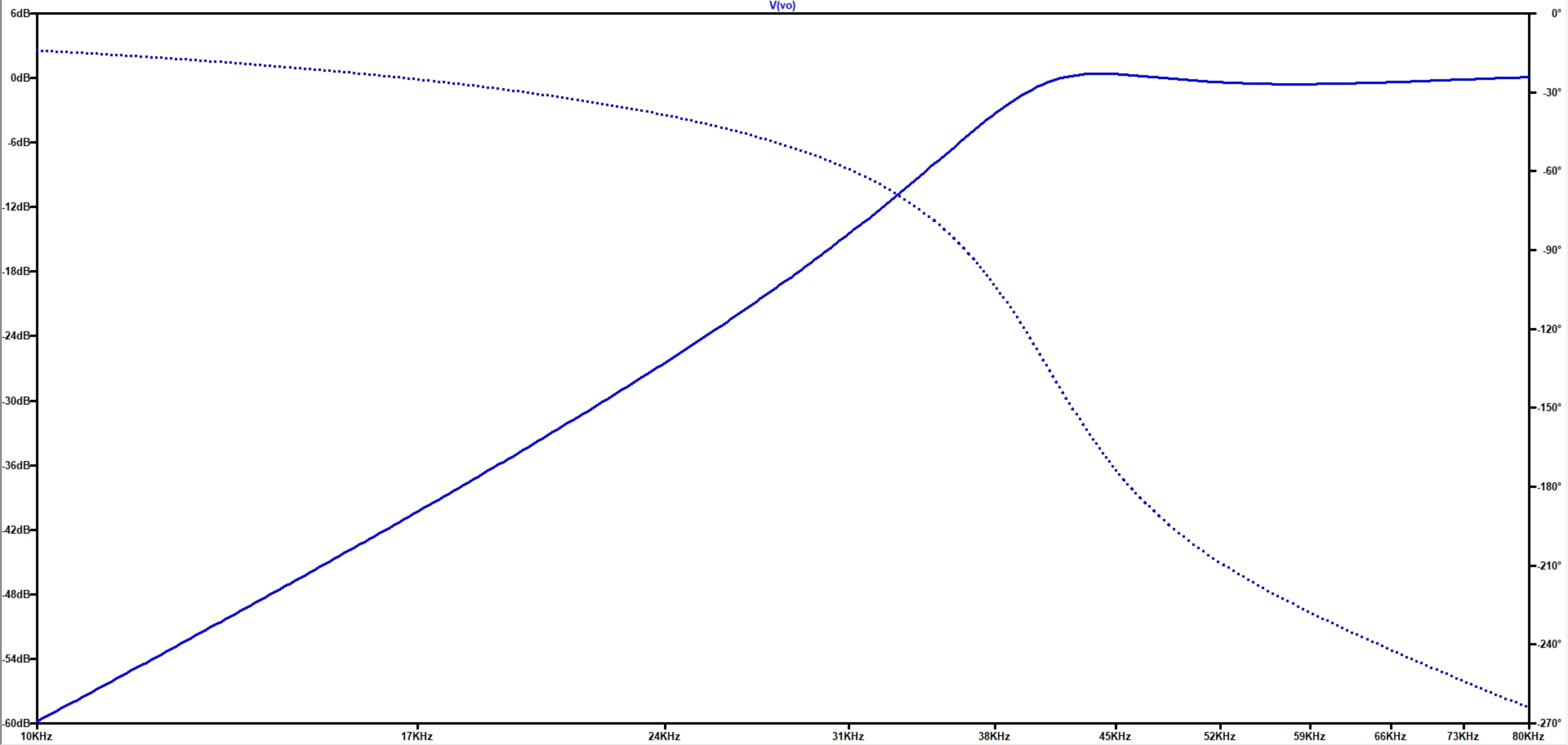
$R_3 = 100K\Omega$

$R_4 = 10\Omega$

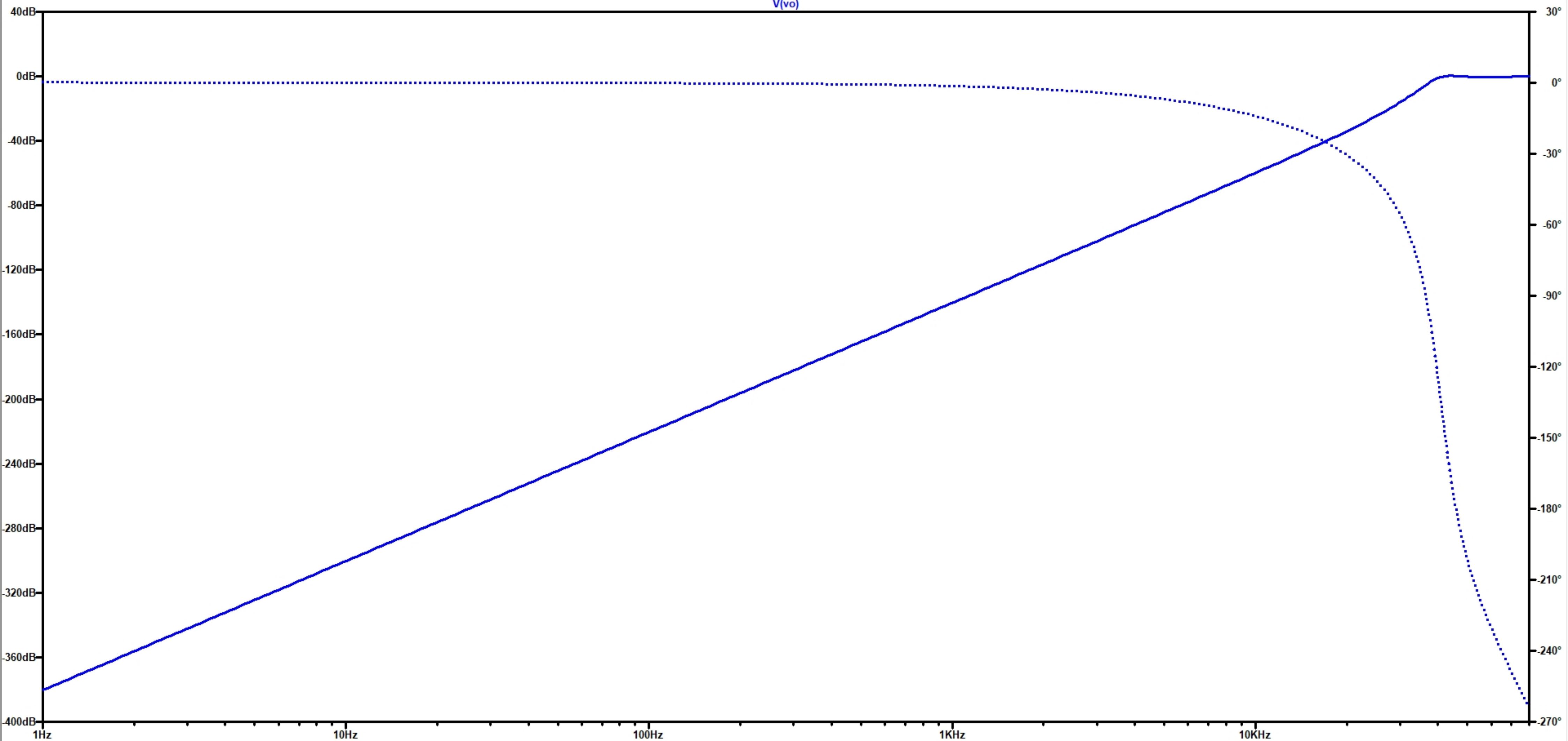
Para lograr la atenuación de 0.8925 que se presenta, a las dos estructuras de segundo orden le agregamos un inversor con dicha atenuación y otro inversor de ganancia unitaria para compensar la inversión anterior.

Simulando en LT Spice obtuvimos que para la frecuencia de 45KHz tenemos una ganancia de aproximadamente 300mdB por lo que consideramos ganancia nula.
El tono de 12KHz que estaba interfiriendo se atenuó en más o menos 53dB que era lo que buscábamos.
Por último en la frecuencia de la banda de paso(40KHz) tenemos una atenuación de 1 dB con lo que se cumple con el ripple de un 1dB.


R21
19.7
C11
C21
U1
28.14n
28.14n
V1
VH1
R41
R11
1K
10
AC 1 0
R31
100K
R22
406.75
C12
C22
U2
VH1
3.2953n
3.2953n
VH2
R42
R12
1K
10
R32
100K
R3
8.925K
R1
R4
1K
VH2
R2
10K
1K
Vo



V(vo)
6dB
0dB
-6dB
-12dB
-18dB
-24dB
-30dB
-36dB
-42dB
-48dB
-54dB
-60dB
0°
-30°
-60°
-90°
-120°
-150°
-180°
-210°
-240°
-270°
10KHz
17KHz
24KHz
31KHz
38KHz
45KHz
52KHz
59KHz
66KHz
73KHz
80KHz


V(vo)
40dB
0dB
-40dB
-80dB
-120dB
-160dB
-200dB
-240dB
-280dB
-320dB
-360dB
-400dB
30°
0°
-30°
-60°
-90°
-120°
-150°
-180°
-210°
-240°
-270°
1Hz
10Hz
100Hz
1KHz
10KHz