

TRABAJO DE LABORATORIO N°5

ÍNDICE

Introducción	3
I. Introduccion teorica	3
II. Diseño del filtro (teoría)	4
II.1. Aproximación de la función de atenuación	4
II.2. Síntesis del filtro	4
a) Diseño de la etapa pasabajo	4
b) Diseño del filtro pasa-alto	8
III. Analisis teorico del filtro diseñado	12
III.1. Sensibilidad de la frecuencia del polo de cada bicuadrática (ω_p) y del ancho de banda (ω_p/Q_p)	12
III.2. Peor desviación (elementos con una tolerancia del 10%) y simulación de Montecarlo	13
IV. Simulación	17
IV.1 Simulación del filtro pasabajo	17
a) Ganancia	17
b) Respuesta en frecuencia (Bode, frecuencia de corte a -30dB)	17
IV.2 Simulación del filtro pasa-alto	18
a) Ganancia	18
b) Respuesta en frecuencia (Bode, frecuencia de corte a -30dB)	19
IV.3 Simulación del filtro total (pasabanda)	19
a) Ganancia	19
b) Respuesta en frecuencia (Bode, frecuencia de corte a -3dB)	20
V. Comparación entre los resultados teóricos y obtenidos por simulación	20
Conclusión	21

Introducción

Un filtro activo es un filtro electrónico analógico distinguido por el uso de uno o más componentes activos, que lo diferencia de los filtros pasivos que solamente usan componentes pasivos. Estos filtros son particularmente distinguidos por utilizar amplificadores operacionales en donde se utilizan sus realimentaciones para sintetizar las funciones de transferencia que definirán el filtro con pocos componentes y sin necesidad de bobinas. En este trabajo práctico, vamos a diseñar un filtro a partir del diagrama de Bode y de la función de transferencia de la Figura 1.

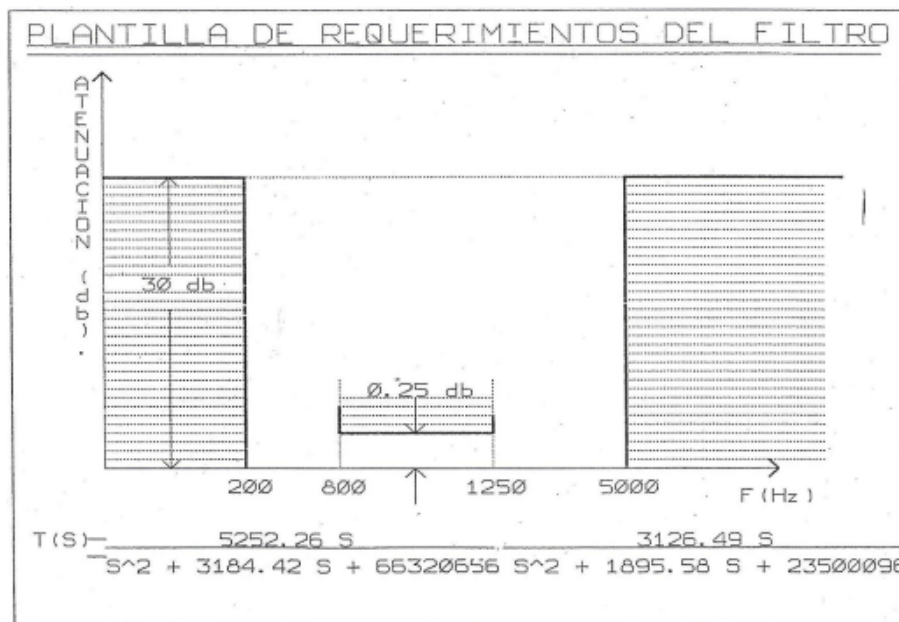


Figura 1 : Diagrama de Bode del Filtro a diseñar y función de transferencia

I. Introduccion teorica

Los filtros son circuitos que permiten el paso de una determinada banda de frecuencias mientras atenúan todas las señales que no estén comprendidas dentro de esta banda. Existen filtros activos y pasivos: los filtros pasivos sólo tienen resistencias, inductores y capacitores mientras que en los filtros activos, se utilizan transistores o amplificadores operacionales además de resistencias, inductores y capacitores. El rango de frecuencias atenuadas se conoce como banda de rechazo, mientras que el rango de frecuencias transmitidas se conoce como banda de paso.

Existen cuatro tipos de filtros: pasa bajos, pasa altos, pasa banda y rechaza banda. En el presente informe se hará alusión a los primeros 3 filtros.

II. Diseño del filtro (teoría)

II.1. Aproximación de la función de atenuación

Para obtener la función de transferencia del filtro pasa banda, buscaremos simular este comportamiento mediante el acoplamiento de 2 filtros, uno pasa bajo y otro pasa alto. Para ello se empleó un código en matlab que se encuentra en el Anexo del presente informe. Las funciones de transferencia obtenidas resultan:

$$F_{tot} = \frac{16\,420\,000 \cdot s^2}{s^4 + 5080s^3 + 95\,860\,000s^2 + 200\,600\,000\,000s + 1\,559\,000\,000\,000\,000}$$

$$F_{PB} = \frac{32\,840\,000}{s^2 + 3184s + 66\,320\,000}$$

$$F_{PA} = \frac{0.5s^2}{s^2 + 1896s + 23\,500\,000}$$

Entonces, vamos a tener que sintetizar dos etapas : un filtro pasabajo y un filtro pasa-alto que vamos a conectar en cascada después para formar el filtro pasabanda final.

II.2. Síntesis del filtro

a) Diseño de la etapa pasabajo

Buscamos diseñar un circuito que permite obtener una función de transferencia de la forma:

$$F_{PB} = \frac{32\,840\,000}{s^2 + 3184s + 66\,320\,000}$$

Igualamos los coeficientes con la función de transferencia que describe un filtro pasa bajos dada por:

$$F_{PB} = \frac{K\omega_p^2}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p}s + \omega_p^2}$$

Entonces:

$$\omega_p^2 = 66320000$$

$$\omega_p = \sqrt{66320000}$$

$$\omega_p = 8143,7$$

$$\frac{\omega_p}{Q_p} = 3184$$

$$Q_p = \frac{\omega_p}{3184}$$

$$Q_p = 2,56$$

$$K\omega_p = 32840000$$

$$K = \frac{32840000}{\omega_p^2}$$

$$K = 0,49$$

Para armar este filtro utilizamos el esquema de la Figura 2.

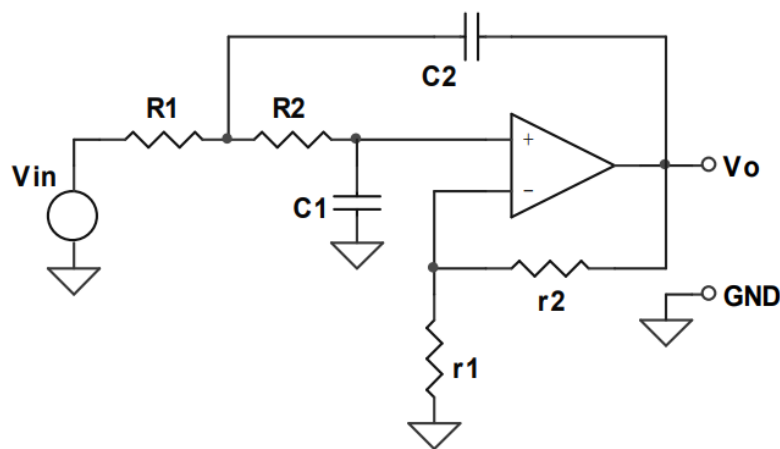


Figura 2 : Esquema del filtro pasabajo utilizado

Analizando la malla de entrada del terminal positivo, se obtiene la siguiente matriz:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R2} + sC1 & -\frac{1}{R2} \\ -\frac{1}{R2} & \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + sC2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v^+ \\ v_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ sc2v_0 + \frac{1}{R1}Vin \end{bmatrix}$$

Tomando $R1=R2=R$ y $C1=C2=C$ se obtiene:

$$T_{FB} = \left(\frac{v^+}{v_o} \right)_{v_i=0} = \frac{\frac{sC}{R}}{\frac{1}{R^2} + \frac{3sC}{R} + s^2C^2}$$

$$T_{FB} = \frac{\frac{s}{RC}}{\left(\frac{1}{RC} \right)^2 + \frac{3s}{RC} + s^2}$$

Obteniendo:

$$N_{FB} = \frac{s}{RC}$$

$$D = \left(\frac{1}{RC}\right)^2 + \frac{3s}{RC} + s^2$$

Análogamente:

$$T_{FF} = \left(\frac{v^+}{v_i}\right)_{v_o=0} = \frac{\frac{1}{R^2}}{\frac{1}{R^2} + \frac{3s}{R} + s^2 C^2}$$

$$T_{FF} = \frac{\left(\frac{1}{RC}\right)^2}{\left(\frac{1}{RC}\right)^2 + \frac{3s}{RC} + s^2}$$

Obteniendo:

$$N_{FF} = \left(\frac{1}{RC}\right)^2$$

Entonces:

$$T(s) = \frac{kN_{FF}}{D - kN_{FB}} = \frac{\frac{k}{R^2 C^2}}{s^2 + \frac{(3-k)}{RC}s + \left(\frac{1}{RC}\right)^2}$$

Igualando los coeficientes con la función de transferencia obtenida, obtenemos:

$$\omega_p^2 = 66320000 = \left(\frac{1}{RC}\right)^2$$

$$\frac{1}{RC} = 8143,7$$

Si $C=1F$:

$$R = 1,22 \cdot 10^{-4} [\Omega]$$

Por otro lado:

$$\frac{(3-k)}{RC} = \frac{\omega_p}{Q_p}$$

$$3 - k = \frac{1}{Q_p}$$

$$k = 3 - \frac{1}{Q_p}$$

$$k = 2,61$$

A su vez:

$$k = 1 + \frac{r_2}{r_1}$$

Tomando $r_2 = 10k\Omega$:

$$r_1 = \frac{r_2}{k-1}$$

$$r_1 = 6210\Omega$$

Por último, para ajustar la ganancia, como se obtuvo teóricamente un valor de $K = 0,49$ (lo cual es distinto a 2,61) debemos colocar un atenuador a la entrada:

$$\frac{32840000}{2,61.66320000} = 0,19$$

$$\frac{R_A R_B}{R_A + R_B} = R$$

$$\frac{R_B}{R_A + R_B} = 0,19$$

$$R_A = \frac{R}{0,19} = \frac{1,22 \cdot 10^{-4} [\Omega]}{0,19}$$

$$R_A = 6,43 \cdot 10^{-4} [\Omega]$$

$$R_B = \frac{R}{1-0,19}$$

$$R_B = 1,5 \cdot 10^{-4} [\Omega]$$

De esta forma, se obtienen todos los valores necesarios para conformar el filtro, sin embargo, estos valores resultan inconvenientes. Es por ello que escalearemos los resultados obtenidos en un factor de 10^7 :

$$R = 1220 \Omega$$

$$R_A = 6430 \Omega$$

$$R_B = 1500 \Omega$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

El filtro de la etapa pasa-bajo diseñada está representado en la Figura 3.

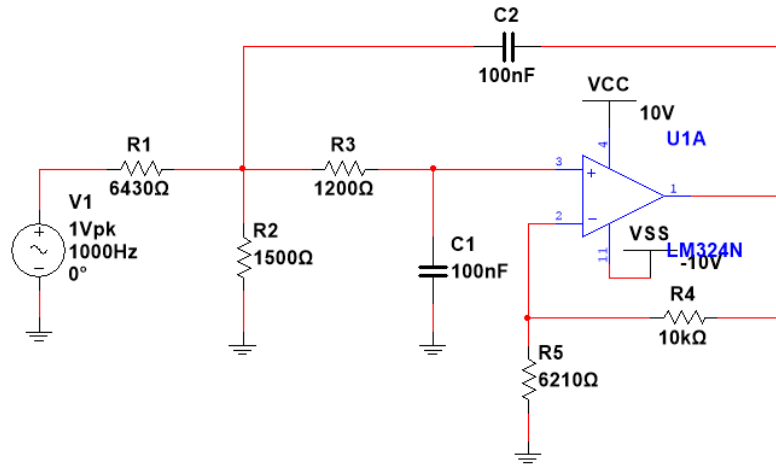


Figura 3: Esquema del circuito diseñado para la etapa pasabajo

b) Diseño del filtro pasa-alto

Ahora, buscamos diseñar un circuito que permite obtener una función de transferencia de la forma:

$$F_{PA} = \frac{0.5s^2}{s^2 + 1896s + 23\,500\,000}$$

Igualamos los coeficientes con la función de transferencia que describe un filtro pasa bajos dada por:

$$F_{PA} = \frac{Ks^2}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p}s + \omega_p^2}$$

Entonces:

$$\omega_p^2 = 23\,500\,000$$

$$\omega_p = \sqrt{23\,500\,000}$$

$$\omega_p = 4847,7$$

$$\frac{\omega_p}{Q_p} = 1896$$

$$Q_p = \frac{\omega_p}{1896}$$

$$Q_p = 2,44$$

$$K = 0,5$$

Para armar este filtro utilizamos el siguiente modelo:

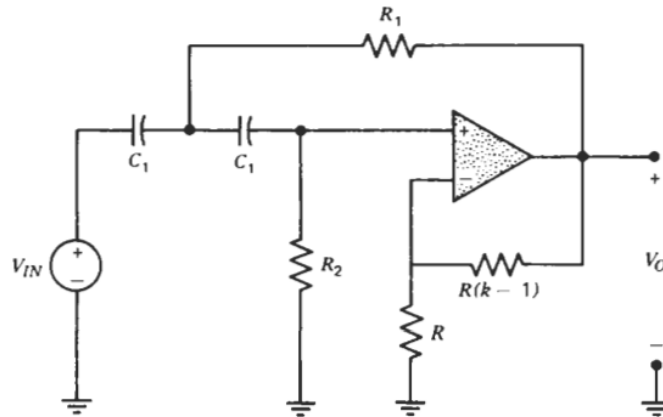


Figura 4: Modelo de filtro pasa alto utilizado

Analizando la malla de entrada del terminal positivo, se tiene la siguiente matriz:

$$\begin{bmatrix} SC2 + \frac{1}{R2} & -SC2 \\ -SC2 & SC1 + SC2 + \frac{1}{R1} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v^+ \\ v_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ SC1v_{in} + \frac{1}{R1}V_o \end{bmatrix}$$

Tomando $R1=R2=R$ y $C1=C2=C$ se obtiene:

$$T_{FB} = \left(\frac{v^+}{v_o} \right)_{v_i=0} = \frac{\frac{sC}{R}}{s^2C^2 + 3\frac{sC}{R} + \frac{1}{R^2}}$$

$$T_{FB} = \frac{\frac{s}{RC}}{\left(\frac{1}{RC}\right)^2 + \frac{3s}{RC} + s^2}$$

Obteniendo:

$$N_{FB} = \frac{s}{RC}$$

$$D = \left(\frac{1}{RC}\right)^2 + \frac{3s}{RC} + s^2$$

Análogamente:

$$T_{FF} = \left(\frac{v^+}{v_i} \right)_{v_o=0} = \frac{\frac{s^2C^2}{R^2}}{\frac{1}{R^2} + \frac{3sC}{R} + s^2C^2}$$

$$T_{FF} = \frac{\frac{s^2}{RC}}{\left(\frac{1}{RC}\right)^2 + \frac{3s}{RC} + s^2}$$

Obteniendo:

$$N_{FF} = s^2$$

Entonces:

$$T(s) = \frac{kN_{FF}}{D - kN_{FB}} = \frac{ks^2}{s^2 + \frac{(3-k)}{RC}s + \left(\frac{1}{RC}\right)^2}$$

Igualando los coeficientes con la función de transferencia obtenida:

$$\omega_p^2 = 23500000 = \left(\frac{1}{RC}\right)^2$$

$$\frac{1}{RC} = 4847,7$$

Si $C=1F$:

$$R = 2,063 \cdot 10^{-4} \Omega$$

Por otro lado:

$$\frac{(3-k)}{RC} = \frac{\omega_p}{Q_p}$$

$$3 - k = \frac{1}{Q_p}$$

$$k = 3 - \frac{1}{Q_p}$$

$$k = 2,59$$

A su vez:

$$k = 1 + \frac{r_2}{r_1}$$

Tomando $r_2=10k\Omega$:

$$r_1 = \frac{r_2}{k-1}$$

$$r_1 = 6210\Omega$$

Por último, para ajustar la ganancia, como se obtuvo teóricamente un valor de $K = 0,5$ (lo cual es distinto a $2,59$) debemos colocar un atenuador a la entrada:

$$G_{AT} = \frac{0,5}{2,59} = 0,19$$

$$\frac{Z_A Z_B}{Z_A + Z_B} = \frac{1}{sC}$$

$$\frac{Z_B}{Z_A + Z_B} = 0,19$$

$$Z_A = \frac{1}{sC0,19} = \frac{1}{s0,19}$$

Z_A es la impedancia de un capacitor de 0,19 [F]

$$C_A = 0,19[F]$$

$$Z_B = \frac{Z_A}{\frac{1}{0,19} - 1}$$

$$Z_B = \frac{1}{s0,19} 0,24$$

Z_B es la impedancia de un capacitor de 0,81F.

$$C_B = 0,81F$$

De esta forma, se obtienen todos los valores necesarios para conformar el filtro, sin embargo, estos valores resultan inconvenientes. Es por ello que escalemos los resultados obtenidos en un factor de 10^8 :

$$R = 20,63[k\Omega]$$

$$C_A = 1,9[nF]$$

$$C_B = 8,1[nF]$$

$$C = 10[nF]$$

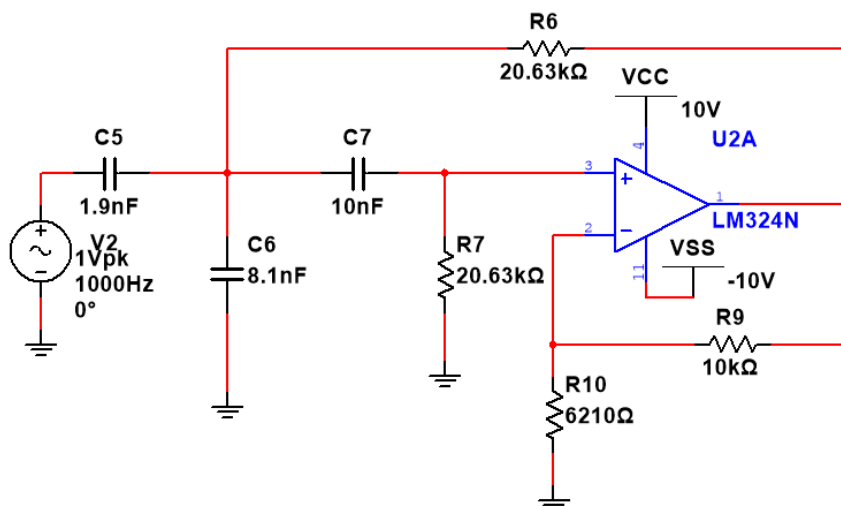


Figura 5: Esquema de la etapa pasa alto diseñada

En conjunto se obtiene el siguiente filtro pasa-banda representado en la Figura 6.

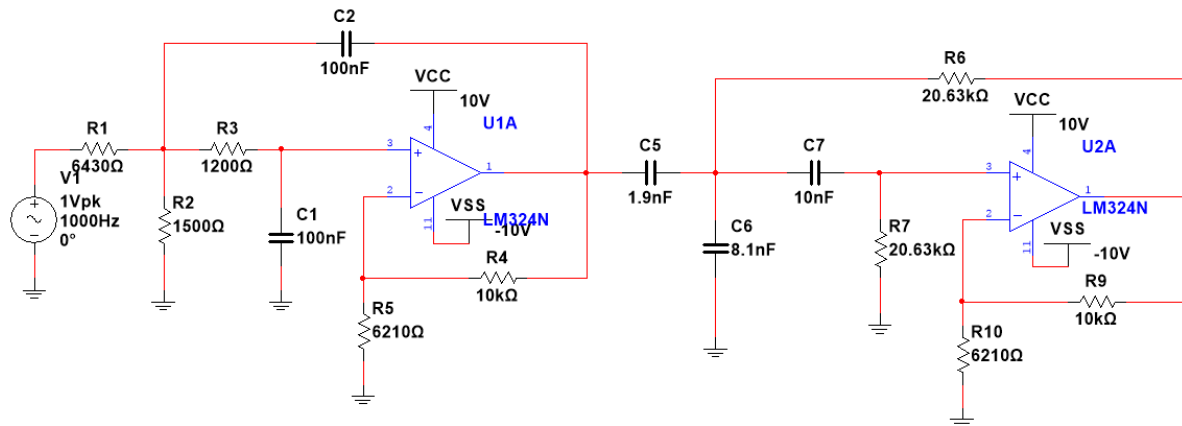


Figura 6 : Esquema del filtro pasabanda diseñado

III. Analisis teorico del filtro diseñado

III.1. Sensibilidad de la frecuencia del polo de cada bicuadrática (ω_p) y del ancho de banda (ω_p/Q_p)

Para calcular la sensibilidad respecto a la frecuencia, consideraremos que esta se calcula como:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} = R_1^{-1/2} R_2^{-1/2} C_1^{-1/2} C_2^{-1/2}$$

Dado que la sensibilidad se calcula como:

$$S_{R_1 R_2 C_1 C_2}^{\omega_p} = \lim_{\Delta R_1 R_2 C_1 C_2 \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega_p / \omega_p}{\Delta R_1 R_2 C_1 C_2 / R_1 R_2 C_1 C_2} = \frac{R_1 R_2 C_1 C_2}{\omega_p} \frac{\partial \omega_p}{\partial R_1 R_2 C_1 C_2}$$

$$S_{R_1}^{\omega_p} = S_{R_2}^{\omega_p} = S_{C_1}^{\omega_p} = S_{C_2}^{\omega_p} = -\frac{1}{2}$$

Esto implica que ante una variación unitaria de cualquiera de los componentes, se tiene una variación de la frecuencia a la mitad de su valor.

Esto es aplicable tanto para el filtro pasa alto como para pasa bajo.

En cuanto al ancho de banda, se sabe que:

$$\frac{\omega_p}{Q_p} = \frac{3-k}{RC}$$

Como $k=1+r_2/r_1$:

$$\frac{\omega_p}{Q_p} = \frac{2-r_2/r_1}{RC}$$

Entonces:

$$S_{R,C,r_1,r_2}^{\omega_p/Q_p} = \lim_{\Delta R, C, r_1, r_2 \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega_p/Q_p / \omega_p/Q_p}{\Delta R, C, r_1, r_2 / R, C, r_1, r_2} = \frac{R, C, r_1, r_2}{\omega_p/Q_p} \frac{\partial \omega_p/Q_p}{\partial R, C, r_1, r_2}$$

$$S_R^{\omega_p/Q_p} = \frac{R}{\frac{2-r_2/r_1}{RC}} (-1) R^{-2} \frac{2-r_2/r_1}{C}$$

$$S_R^{\omega_p/Q_p} = -1$$

Análogamente:

$$S_C^{\omega_p/Q_p} = -1$$

Esto implica que ante una variación unitaria de cualquiera de los componentes, se tiene una variación en uno del ancho de banda.

III.2. Peor desviación (elementos con una tolerancia del 10%) y simulación de Montecarlo

Para realizar el análisis con la peor desviación se analizará el caso para cuando todos los componentes tienen un valor equivalente al 110% y al 90% de sus valores calculados. Inicialmente se considerará el caso en el que el valor de los componentes tienen un valor del 110%.

En la figura 7 se muestra la señal de salida (azul) y se puede observar que al tener una tolerancia en los componentes la salida ya difiere del valor ideal pero en este caso es muy poca la diferencia.

Se obtiene una tensión de salida de 1.954 Vp-p ante una entrada de 2Vp-p, por lo que la ganancia resulta de 0,977.

Para el análisis en el dominio de la frecuencia se hizo el gráfico de Bode (Figura 8) y se puede observar que al tener componentes con un valor distinto, se sigue manteniendo la respuesta de un filtro pasa banda pero las frecuencias de corte se encuentran desplazadas.

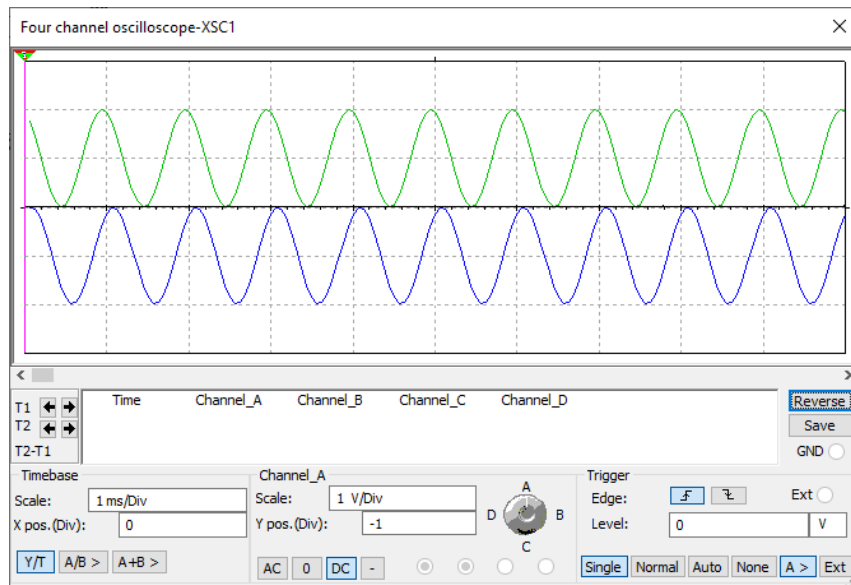
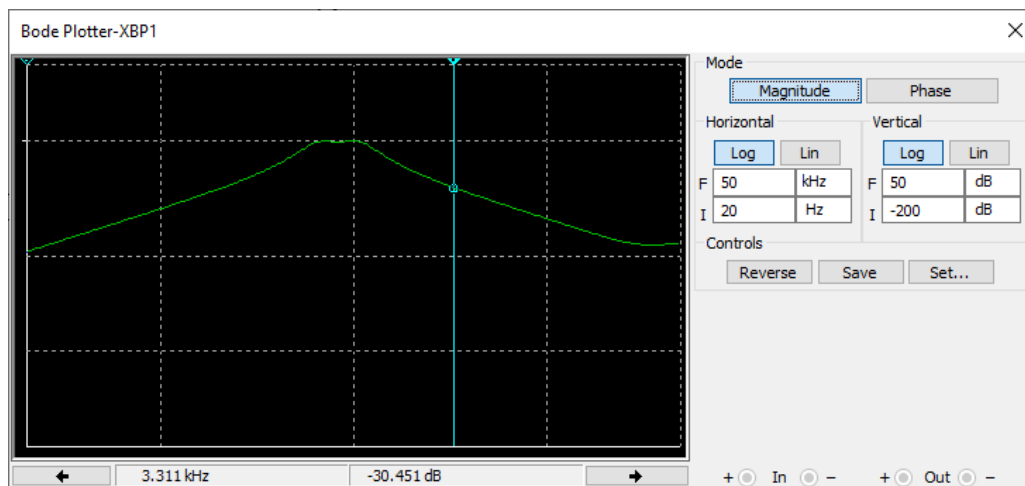
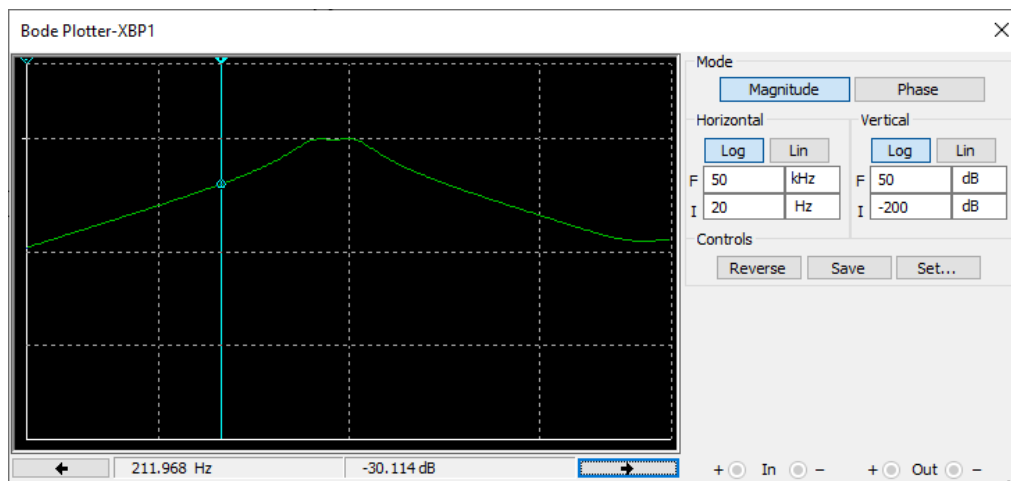


Figura 7: Simulación de la salida tomando en cuenta errores de +10% para los valores de los componentes (azul) y de la salida ideal (verde)



Figuras 8 y 9: Medición de las frecuencias de corte por simulación tomando en cuenta el error de tolerancia de los componentes

Si ahora los componentes tienen un valor del 90% se observan los siguientes resultados. Se observa en la Figura 10 que la tensión de salida (azul) se encuentra con una menor amplitud respecto a la que se tenía (verde) en el caso anteriormente analizado, pero aún su ganancia se encuentra alrededor de 1. Se obtiene una tensión de salida de 1,904 Vp-p ante una entrada de 2Vp-p, obteniendo así una ganancia de 0,952.

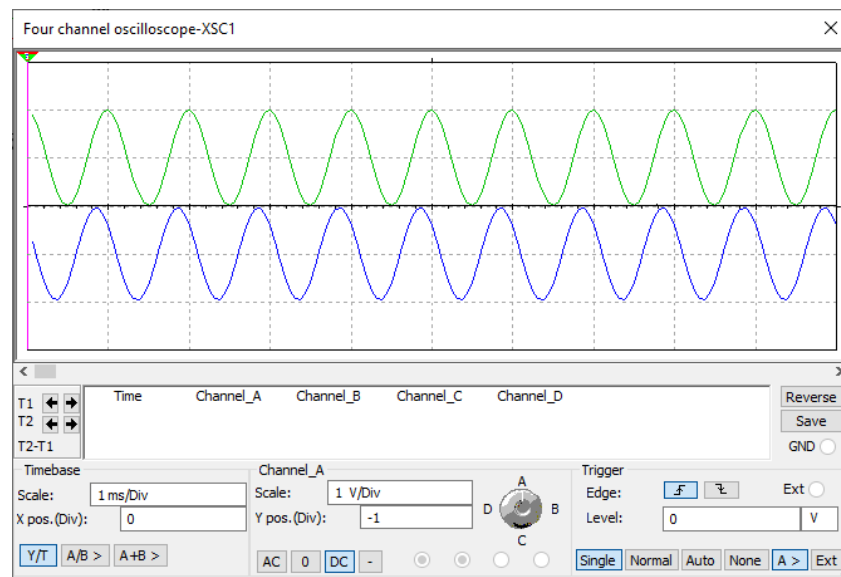


Figura 10 : Simulación de la salida tomando en cuenta errores de 90% para los valores de los componentes (azul) y de la salida ideal (verde)

También se realizó un diagrama de Bode (ver Figuras 11 y 12) donde nuevamente se observa un comportamiento de filtro pasa banda pero con sus frecuencias de corte nuevamente desplazadas.

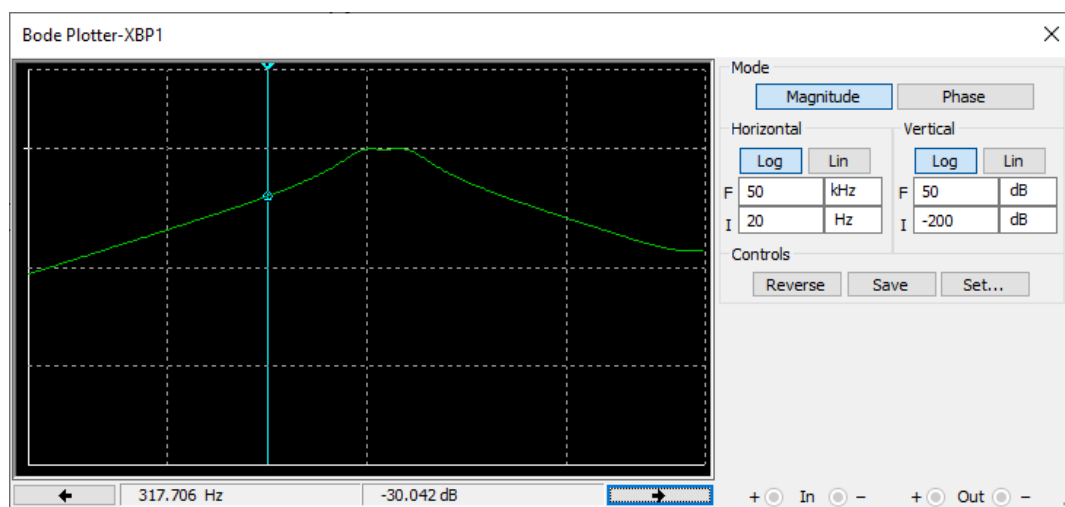


Figura 11 : Medición de la primera frecuencia de corte en el diagrama de Bode de simulación con errores de componentes del 90%

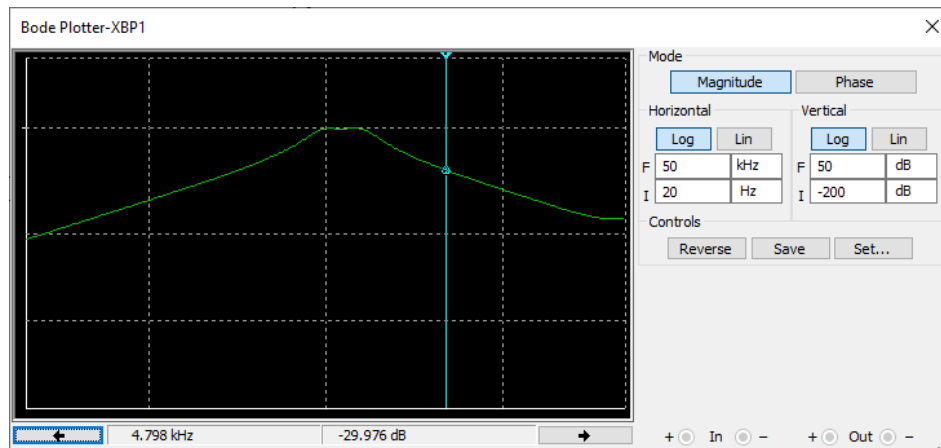


Figura 12 : Medición de la primera frecuencia de corte en el diagrama de Bode de simulación con errores de componentes del 90%

Si ahora se colocan tolerancias a los componentes del 10%, mediante el simulador multisim se realizó un análisis de Montecarlo haciendo 10 mediciones (ver Figura 13). En la Figura 14 se muestran los diagramas de módulo y fase que se obtuvieron. Se puede observar que para distintos análisis el comportamiento del filtro pasa banda resulta similar.

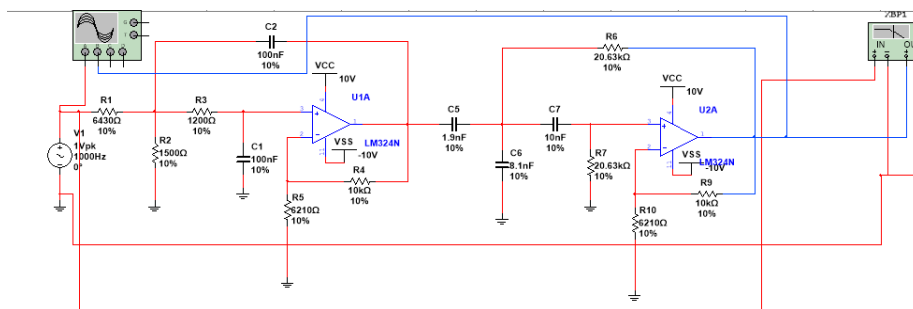


Figura 13 : Circuito para la simulación de Montecarlo

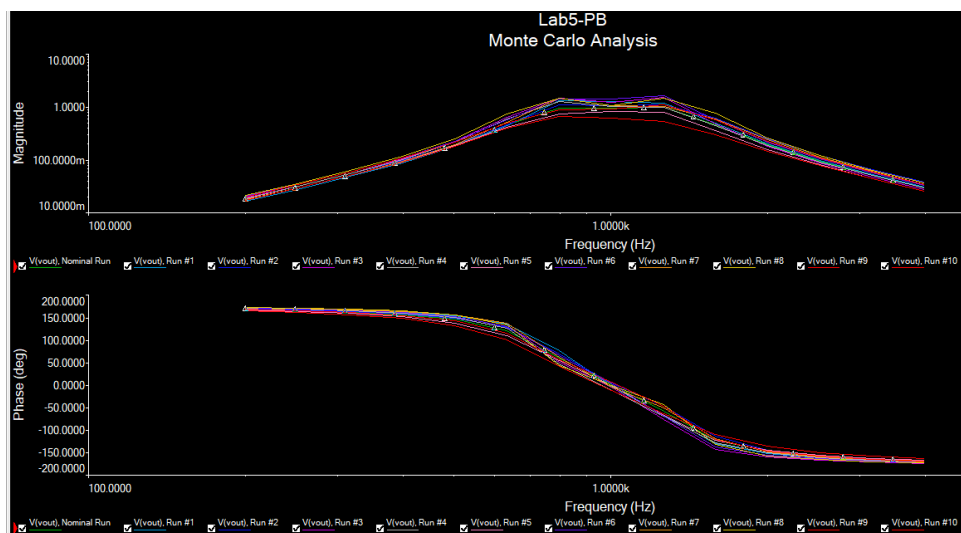


Figura 14: Simulación de Montecarlo

IV. Simulación

Para diseñar el filtro pasabanda, procedimos por etapas. Primero simulamos el filtro pasabajo y después simulamos el filtro pasa alto antes de juntarlos para poder simular el filtro completo.

IV.1 Simulación del filtro pasabajo

a) Ganancia

Primero, simulamos el filtro pasabajo con una entrada senoidal de amplitud 2Vp-p y de frecuencia 1kHz (Figura 15). En esas condiciones, obtenemos una tensión de salida de amplitud 1,95Vp-p. La ganancia obtenida por simulación es entonces: $G=1.95/2=0.975=-0.22\text{dB}$.

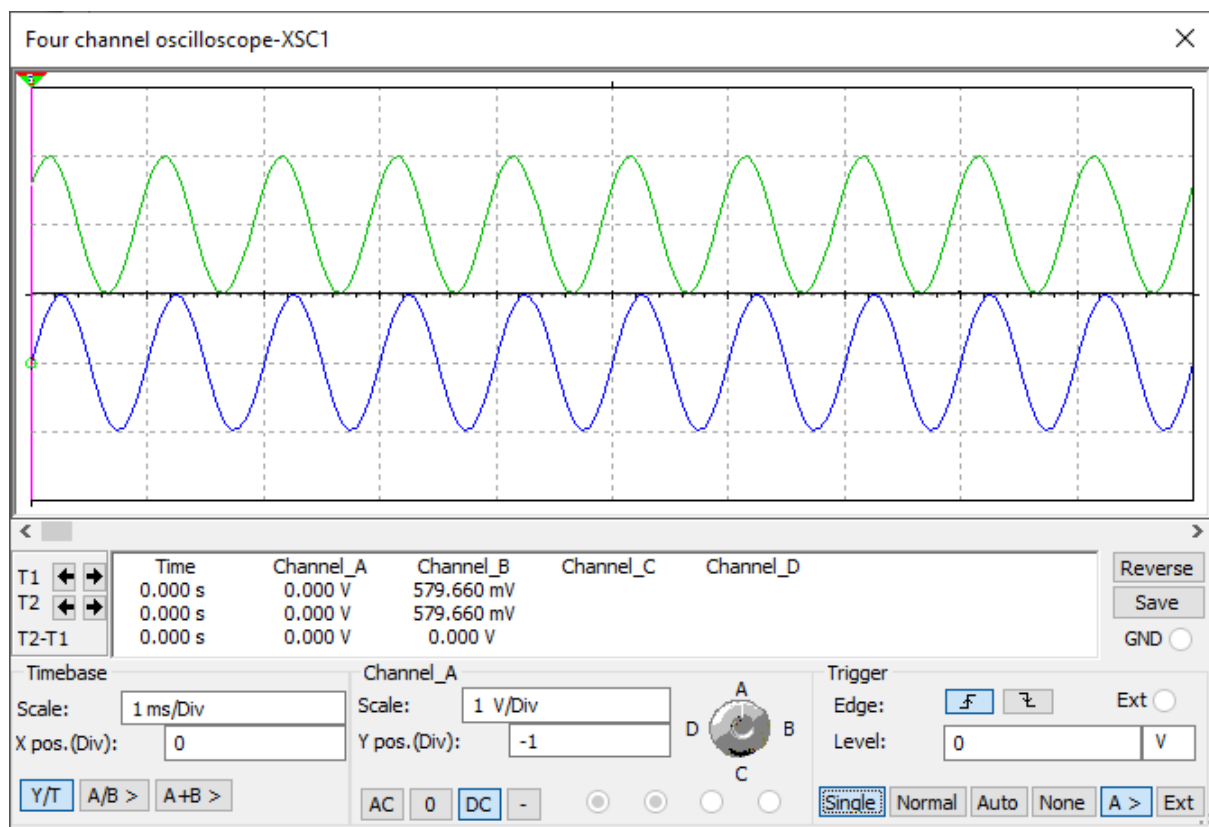


Figura 15 : Simulación de V_{in} (verde) y de V_{out} (azul) con $f=1\text{kHz}$

b) Respuesta en frecuencia (Bode, frecuencia de corte a -30dB)

Se realizó el diagrama de Bode del filtro pasa bajo, obteniendo una frecuencia de corte de 5,3 kHz a -30 dB (Figura 16).

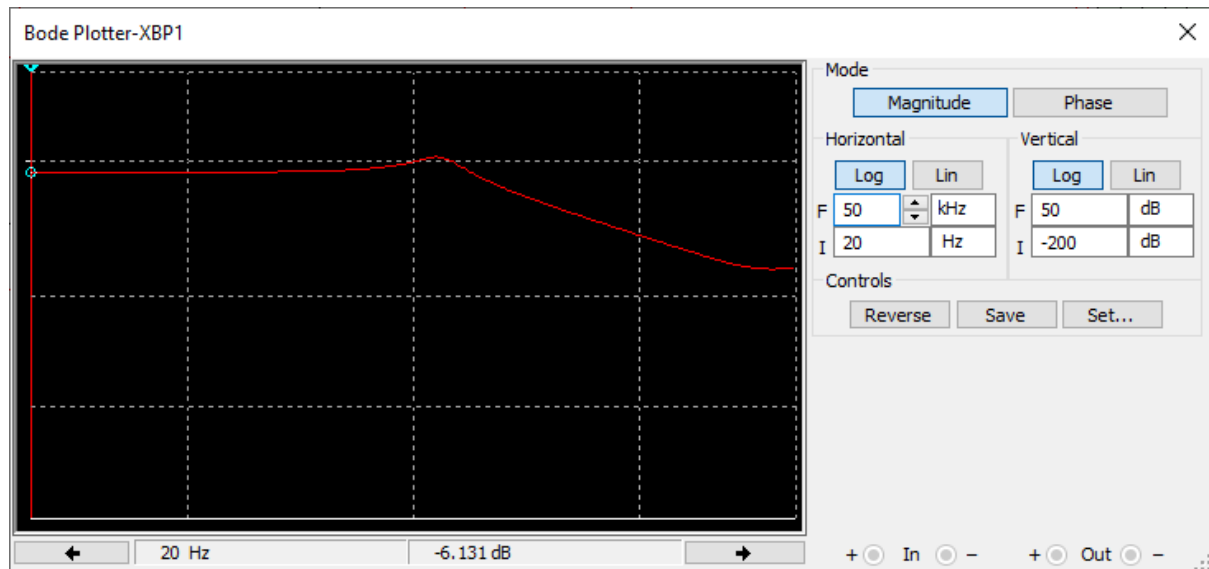


Figura 16: Diagrama de Bode del filtro pasa bajo

IV.2 Simulación del filtro pasa-alto

a) Ganancia

Luego, simulamos el filtro pasaalto con una entrada senoidal de amplitud 2Vp-p y de frecuencia 1kHz. En esas condiciones, obtenemos una tensión de salida de amplitud 2,1Vp-p. La ganancia obtenida por simulación es entonces : $G=2,1/2=1,05=0,42\text{dB}$

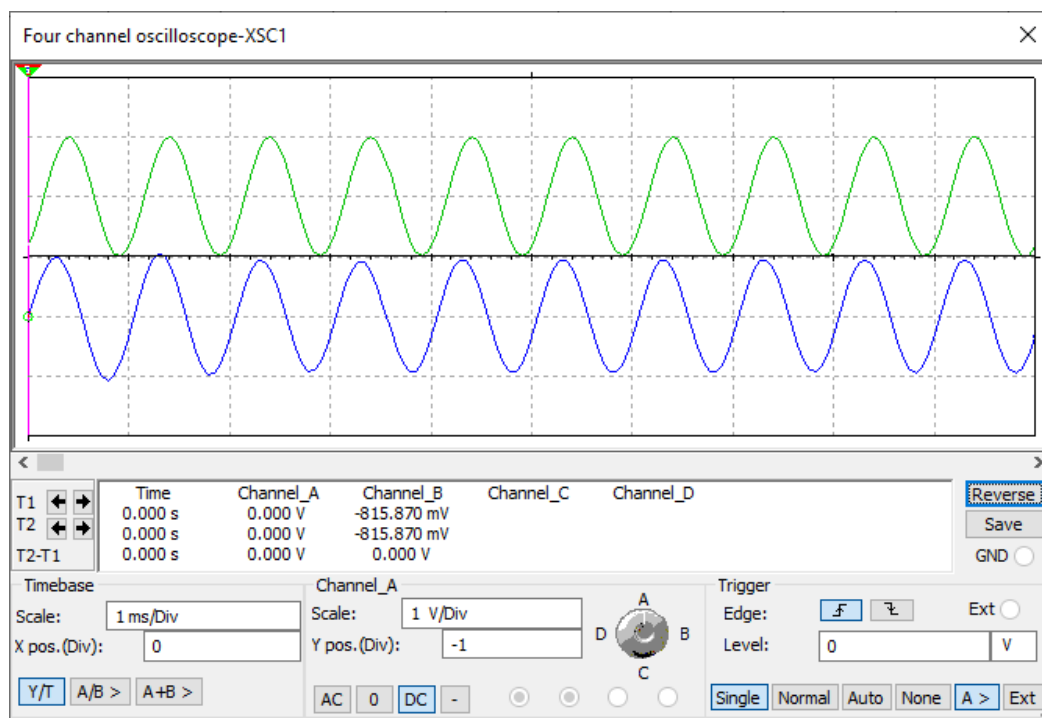


Figura 17 : Simulación de Vin (verde) y de Vout (azul) con f=1kHz

b) Respuesta en frecuencia (Bode, frecuencia de corte a -30dB)

Luego, se realizó el diagrama de Bode, donde se obtuvo una frecuencia de corte de 188,4 Hz a -30dB.

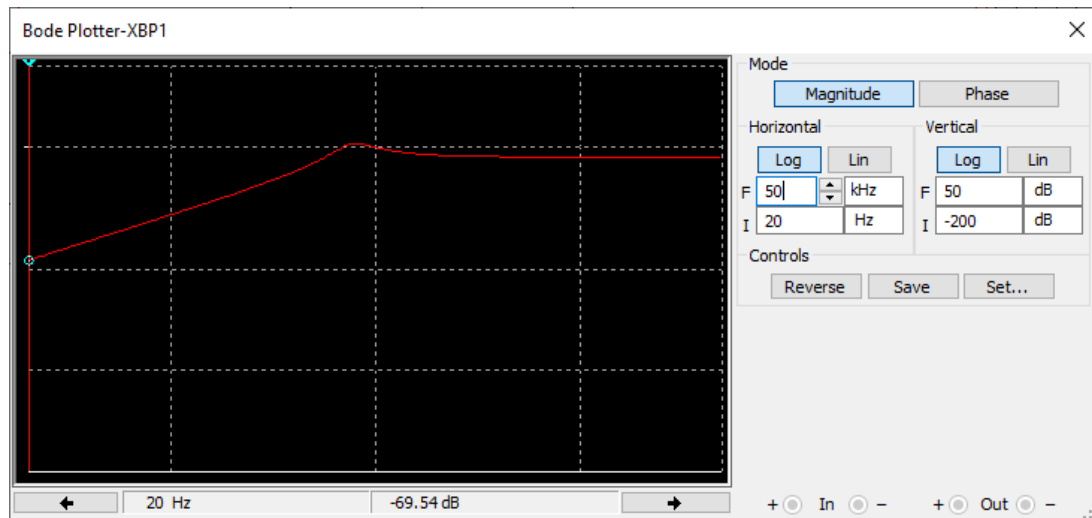


Figura 18: Diagrama de Bode del filtro pasa alto

IV.3 Simulación del filtro total (pasabanda)

a) Ganancia

Finalmente, simulamos el filtro pasabanda con una entrada senoidal de amplitud 2Vp-p y de frecuencia 1kHz. En esas condiciones, obtenemos una tensión de salida de amplitud 1,86Vp-p. La ganancia obtenida por simulación es entonces : $G=1,86/2=0,93=-0,63\text{dB}$

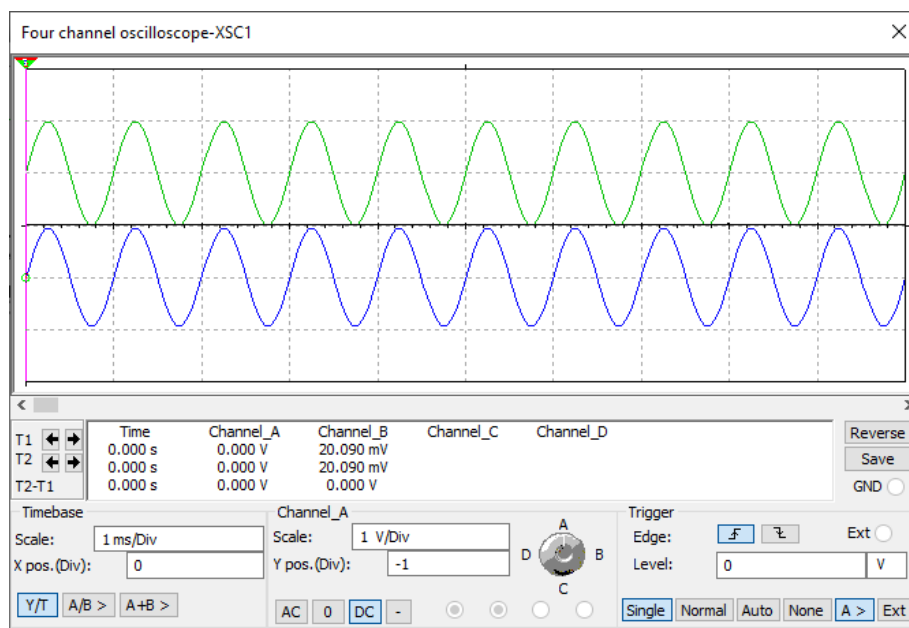


Figura 19: Simulación de V_{in} (verde) y de V_{out} (azul) con $f=1\text{kHz}$

b) Respuesta en frecuencia (Bode, frecuencia de corte a -3dB)

El diagrama de Bode obtuvo unas frecuencias de corte a -30 dB en 255 Hz y 3,92 kHz.

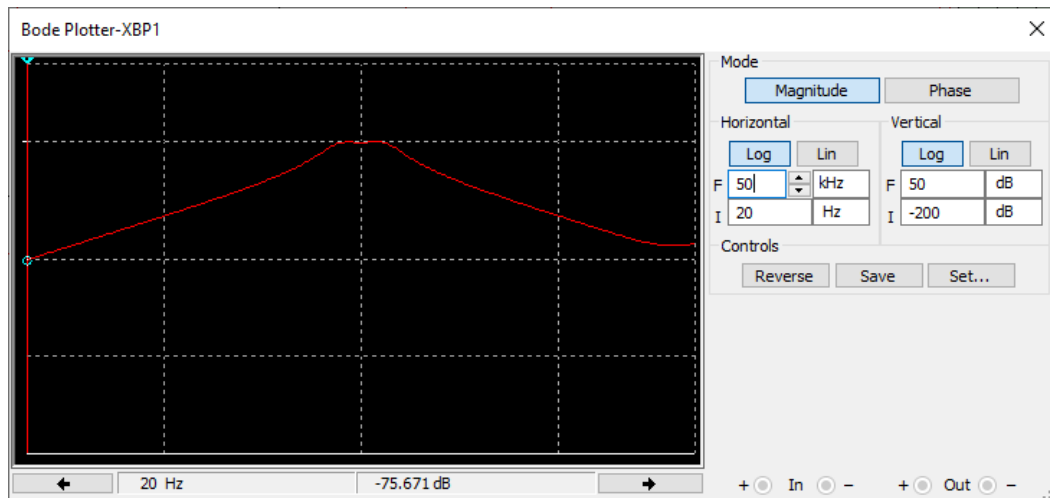


Figura 20: Diagrama de Bode del filtro pasabanda

V. Comparación entre los resultados teóricos y obtenidos por simulación

A continuación se muestra una tabla comparativa de los resultados obtenidos en las simulaciones y los que se buscaban.

Resultado	Frecuencia de corte inferior (a -30dB) (Hz)	Frecuencia de corte superior (a -30dB) (Hz)	Ganancia en banda de paso (a 1kHz) (dB)
Buscado	200	5000	0,25
Obtenido	255	3920	0,63

Los resultados obtenidos si bien no son exactos, podemos considerar que la respuesta del filtro obtenido es aceptable respecto a las especificaciones de lo que se buscaba. En cuanto a las simulaciones de las desviaciones se obtuvieron los siguientes resultados.

Tolerancia	Frecuencia de corte inferior (a -30dB) (Hz)	Frecuencia de corte superior (a -30dB) (Hz)	Ganancia en banda de paso (a 1kHz)
+10%	211,97	3311	0,977
0%	255	3920	0,93
-10%	317,7	4798	0,952

Se puede observar que ante variaciones del valor de los componentes dado que estos al no ser ideales poseen una cierta tolerancia, el comportamiento del filtro varía tanto en ganancia como en frecuencia pero su naturaleza de filtro pasa banda no es afectada. Estas pequeñas variaciones se pueden considerar aceptables.

Conclusión

En este trabajo lo primero que debimos hacer fue un filtro paso bajo y encontrar la función de transferencia que se pedía, luego se realizó el mismo procedimiento con el filtro pasa alto. Luego de juntar ambos filtros se obtuvo el filtro pasa banda el cual cumplía con las especificaciones indicadas.

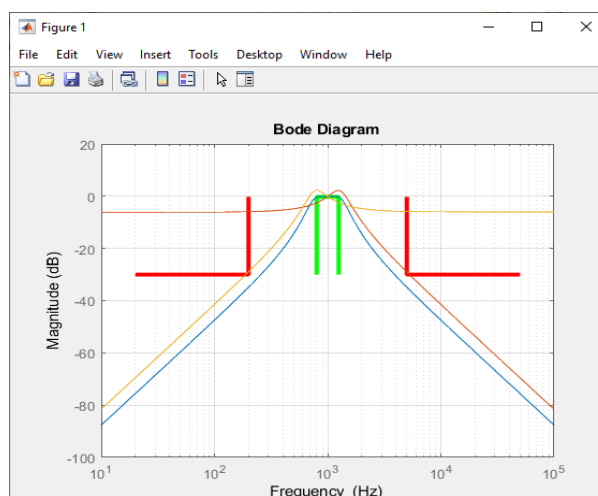
Se analizó el caso en que los componentes no sean ideal, es decir, que tengan una tolerancia en este caso fue de que tengan un valor del 110% y del 90% y se observó que aunque los componentes tengan una tolerancia el filtro seguía cumpliendo las especificaciones que pedían, también realizando la simulación del monte carlos se observó que la variación era lineal.

Anexo

```

clc;
clear;
close all;
%% Parametros de Entrada
fp=[800 1250]; %Banda de Paso [Hz]
fs=[200 5000]; %Banda de Rechazo [Hz]
Wp=2*pi*fp; %Banda de Paso [rad/s]
Ws=2*pi*fs; %Banda de Rechazo [rad/s]
Ap=0.25; %Atenuacion maxima en Banda de Paso [dB]
As=30; %Atenuacion minima en Banda de Rechazo [dB]
%% Calculo de FT
[n,Wp]=cheb1ord(Wp,Ws,Ap,As,'s');
[num,den]=cheby1(n,Ap,Wp,'s');
Filtro=tf(num,den) %Funcion de transferencia calculada
[sos,g] = tf2sos(num,den); %Descomponemos en bicuadraticas
%Implementacion como PasaAlto/PasaBajo
PasaBajo=tf(2*g*sos(1,1:3),sos(1,4:6))
PasaAlto=tf(1/2*sos(2,1:3),sos(2,4:6))
%% Graficos
figure;
hold on;
%Especificaciones Filtro
plot([fs(1)/10 fs(1) fs(1)],[-As -As -Ap],'Color','r','LineWidth',3);
plot([fs(2) fs(2) fs(2)*10],[-Ap -As -As],'Color','r','LineWidth',3);
plot([fp(1) fp(1) fp(2) fp(2)],[-As -Ap -Ap -As],'Color','g','LineWidth',3);
%Filtro
h = bodeplot(Filtro);
p = getoptions(h);
p.PhaseVisible='off';
p.FreqUnits='Hz';
p.Grid='on';
setoptions(h,p);
bode(PasaBajo);
bode(PasaAlto);

```



Arquitectura del filtro pasabanda encontrada con Matlab (Diagrama de Bode)