



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



DEPARTAMENTO DE
ELECTRONICA

Tarea 3 ELO-108

Filtros

Estudiante
Felipe Cruz

ROL
201604106-0

Paralelo: 1

Profesor
Christian Rojas

Ayudante
Rubén Gonzalez

Fecha : 27 de junio de 2020

Índice

1. Introducción	3
1.1. Enunciado de ejercicios	4
1.1.1. Ejercicio 1	4
1.1.2. Ejercicio 2	5
2. Desarrollo	6
2.1. Ejercicio 1	6
2.1.1. 1) Diseño Filtro 1	6
2.1.2. 2) Simulación Filtro 1	8
2.1.3. 3) Comentarios Filtro 1	9
2.1.4. 4) Diseño Filtro 2	10
2.1.5. 5) Simulación Filtro 2	10
2.1.6. 6) Comentarios Filtro 2	10
2.2. Ejercicio 2	11
2.2.1. Diseño equalizador	11
2.2.2. Simulación	11
2.2.3. Comentarios	11
3. Conclusión	12

Índice de figuras

1. Circuito para la descomposición de señales. a) Diagrama b) Medi-	
ción de voltaje	4
2. Equalizador gráficos de 5 bandas.	5
3. Polinomios Butterworth	6
4. Filtro 1 sin amplificador de salida	7
5. Amplificador del filtro 1	8
6. Circuito de filtro 1	9
7. V_i y V_{out} separados	9
8. Diferencia fase entre V_i y V_{out}	9

1. Introducción

(intro:)

1.1. Enunciado de ejercicios

1.1.1. Ejercicio 1

En la figura x se muestra un esquema para la descomposición de señales basada en filtros con amplificadores operacionales. La señal a descomponer corresponde a la medición de voltaje V_{in} mostrada en la figura x y descrita por la siguiente ecuación:

$$V_{in}(t) = 10\sin(100t\pi) + 1,0(\sin(300t\pi) + \sin(500t\pi) + \sin(700t\pi)) \quad (1)$$

Se pide desarrollar y comentar todo lo siguiente:

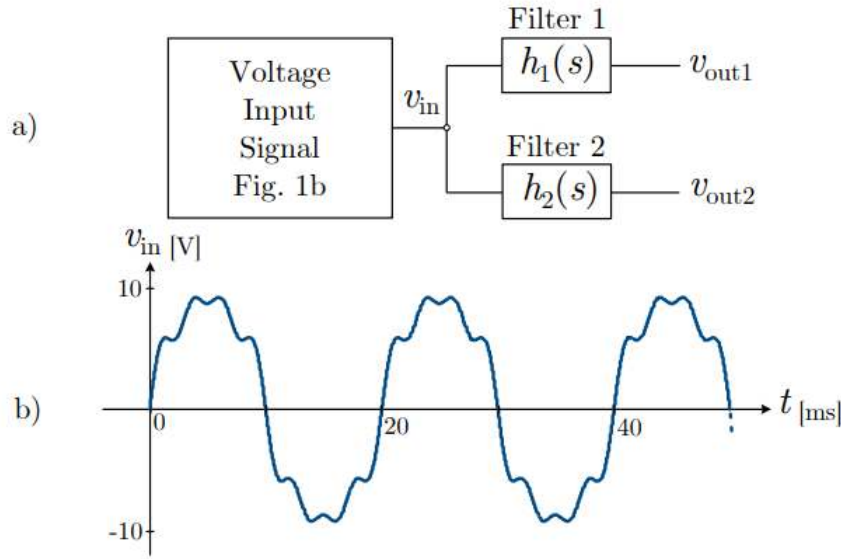


Figura 1: Circuito para la descomposición de señales. a) Diagrama b) Medición de voltaje

1. Dada la señal de entrada V_{in} , diseñe la etapa Filter 1 para obtener una señal V_{out1} sinusoidal de 50 Hz de 10 V de amplitud, con valor medio cero. Muestre el diagrama de Bode obtenido del filtro $h_1(s)$, con $h_1(s)$ la función de transferencia resultante.
2. Simule el filtro resultante considerando amplificadores operacionales ideales. Verifique el comportamiento del circuito. Muestre las señales V_{in} y V_{out1} en el tiempo.
3. Comente sobre la fase de la señal V_{out1} respecto a la señal original V_{in} .
4. Diseñe la etapa Filter 2 de la figura x al que $h_2(2\pi \cdot 250) = 0, h_2(2\pi \cdot 300) \geq 0,99$ y $h_2(2\pi \cdot 200) \geq 0,99$, con $h_2(s)$ la función de transferencia resultante. Muestre el diagrama de Bode obtenido.
5. Simule el filtro resultante considerando amplificadores operacionales ideales. Verifique el comportamiento del circuito. Muestre las señales V_{in} y V_{out2} en el tiempo.
6. Comente sobre la fase de la señal obtenida V_{out2} respecto a la señal original V_{in} .

1.1.2. Ejercicio 2

Un equalizador gráfico permite controlar distintos componentes de frecuencia de una señal de audio para corregir o mejorar el audio finalmente escuchado en los parlantes.

1. Diseñe un ecualizador de 5 bandas, como el que se muestra en la figura x, con las siguientes características:
 - Las señales audibles se encuentran entre $f_{min}=20$ Hz y $f_{max}=20$ kHz.
 - Las bandas deben estar equiespaciadas logarítmicamente.
 - La ganancia máxima de cada banda debe ser unitaria.
 - La respuesta en frecuencia en el rango de frecuencias audibles debe ser plana cuando las bandas se encuentran en su valor máximo.
 - Utilice solo circuitos que se hayan visto en el curso.
 - Recuerde justificar cada paso del diseño.
2. Simmule el circuito propuesto y compruebe su funcionamiento.
3. Comente los resultados.



Figura 2: Equalizador gráficos de 5 bandas.

2. Desarrollo

2.1. Ejercicio 1

2.1.1. 1) Diseño Filtro 1

Para obtener una señal V_{out1} sinusoidal de 50 Hz y 10 V de amplitud, debemos descomponer primero la señal $V_g s$ para identificar las frecuencias que la componen. La primera componente es $10\sin(100t\pi)$, tiene una frecuencia de 50 Hz y una amplitud de 10 V, la segunda es $1.0(\sin(300t\pi))$, tiene una frecuencia de 150 Hz, la tercera, $\sin(500t\pi)$, tiene una frecuencia de 250 Hz, la ultima es $\sin(700t\pi)$ y tiene una frecuencia de 350 Hz. Las tres ultimas tienen una amplitud de 1 V y generan ruido en la señal principal. Para cumplir con los requisitos de V_{out1} debemos filtrar las componentes con frecuencias mayores a 50 Hz y para eso diseñaremos un filtro pasa-bajos con ganancia unitaria, así obtendremos la señal $10\sin(100t\pi)$ en la salida.

Diseñaremos un filtro Butterworth de segundo orden, su función de transferencia para una frecuencia normalizada la obtenemos de la tabla de polinomios de Butterworth que es la siguiente:

n	Polinomio
1	$(s + 1)$
2	$(s^2 + 1.4142s + 1)$
3	$(s + 1)(s^2 + s + 1)$
4	$(s^2 + 0.7654s + 1)(s^2 + 1.8478s + 1)$
5	$(s + 1)(s^2 + 0.6180s + 1)(s^2 + 1.6180s + 1)$
6	$(s^2 + 0.5176s + 1)(s^2 + 1.4142s + 1)(s^2 + 1.9319s + 1)$
7	$(s + 1)(s^2 + 0.4450s + 1)(s^2 + 1.2470s + 1)(s^2 + 1.8019s + 1)$
8	$(s^2 + 0.3902s + 1)(s^2 + 1.1111s + 1)(s^2 + 1.6629s + 1)(s^2 + 1.9616s + 1)$
9	$(s + 1)(s^2 + 0.3473s + 1)(s^2 + s + 1)(s^2 + 1.5321s + 1)(s^2 + 1.879s + 1)$
10	$(s^2 + 0.3129s + 1)(s^2 + 0.9080s + 1)(s^2 + 1.4142s + 1)(s^2 + 1.7820s + 1)(s^2 + 1.9754s + 1)$

Figura 3: Polinomios Butterworth

Ya que nuestro filtro será de segundo orden la función de transferencia tendrá la siguiente forma:

$$A(s_n) = \frac{1}{s_n^2 + \sqrt{2}s_n + 1} \quad (2)$$

Desnormalizamos la ecuación para implementar la frecuencia de corte requerida por el diseño, para esto reemplazamos s_n por lo siguiente:

$$s_n = \frac{w_n}{w_c} s \quad (3)$$

Finalmente y ya que la frecuencia normalizada es de $w_n=1$ la ecuación de transferencia desnormalizada es la siguiente:

$$A(s) = \frac{1}{\left(\frac{s^2}{w_c^2}\right) + \left(\frac{\sqrt{2}}{w_c}\right)s + 1} \quad (4)$$

Implementaremos nuestro filtro utilizando un Sallen-key LPF de segundo orden, esta configuración tiene la siguiente función de transferencia:

$$A_{SK}(s) = \frac{1}{s^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + s C_1 (R_1 + R_2) + 1} \quad (5)$$

Ahora igualamos las funciones de transferencias del filtro Butterworth desnormalizado y la del Sallen-key, así encontramos las ecuaciones de diseño para nuestro filtro.

$$w_c^2 = \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2} \quad (6)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{w_c} = C_1(R_1 + R_2) \quad (7)$$

Ya que tenemos 2 ecuaciones y 4 incógnitas debemos elegir valores para dos de estas, ocuparemos $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$. Ahora encontramos los valores de los condensadores utilizando la frecuencia de corte $w_c = 50 \text{ Hz} = 100\pi \text{ rad}$:

$$\frac{\sqrt{2}}{w_c} = C_1(R_1 + R_2) \quad (8)$$

$$C_1 = \frac{\sqrt{2}}{w_c(R_1 + R_2)} \quad (9)$$

$$C_1 = \frac{\sqrt{2}}{100\pi * 20k} \quad (10)$$

$$C_1 = 2,25 * 10^{-7} \quad (11)$$

$$C_1 \approx 225nF \quad (12)$$

$$w_c^2 = \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2} \quad (13)$$

$$C_2 = \frac{1}{w_c^2 C_1 R_1 R_2} \quad (14)$$

$$C_2 = \frac{1}{100\pi * 160n * 10k * 10k} \quad (15)$$

$$C_2 = 4,49 * 10^{-7} \quad (16)$$

$$C_2 \approx 450nF \quad (17)$$

Conocemos todas las componentes de nuestro filtro pasa-bajos y estaría funcionando con una frecuencia de corte de 50 Hz. Implementado el Sallen-key en el simulador obtenemos el siguiente circuito:

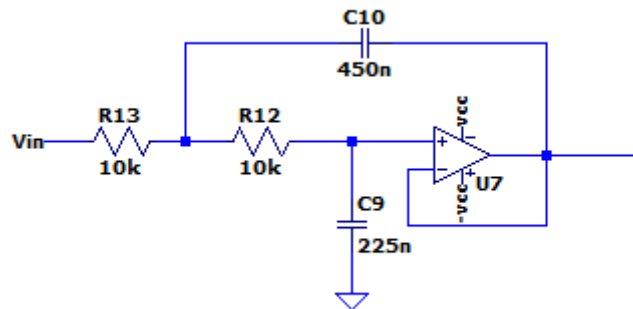


Figura 4: Filtro 1 sin amplificador de salida

Como la componente en la señal de entrada que no está siendo filtrada coincide con la frecuencia de corte, debemos añadir una etapa de amplificación, que coincida con el inverso de la amplificación de nuestro filtro. Como al evaluar la función de transferencia en $w_c=100\pi$ tenemos:

$$|h(w_c)| = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (18)$$

Utilizaremos un amplificador operacional no inversor, las resistencias se diseñan a partir de la siguiente igualdad:

$$(1 + \frac{R_f}{R_a}) = \sqrt{2} \quad (19)$$

$$\frac{R_f}{R_a} = \sqrt{2} - 1 \quad (20)$$

$$R_f = 0,41 * R_a \quad (21)$$

$$R_a = 8000\Omega \quad (22)$$

$$R_f = 3300\Omega \quad (23)$$

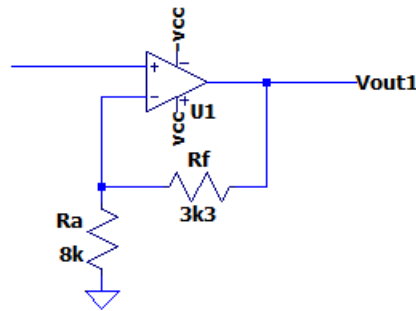


Figura 5: Amplificador del filtro 1

Con esto se cumplen todos los requisitos de diseño del filtro 1.
Se adjunta el diagrama de bode obtenido en LTSpice.

2.1.2. 2) Simulación Filtro 1

Se diseñó el circuito que cumple con la función de transferencia del filtro 1 en LTSpice, y se realizó el análisis temporal para comparar las señales de entrada y de salida.

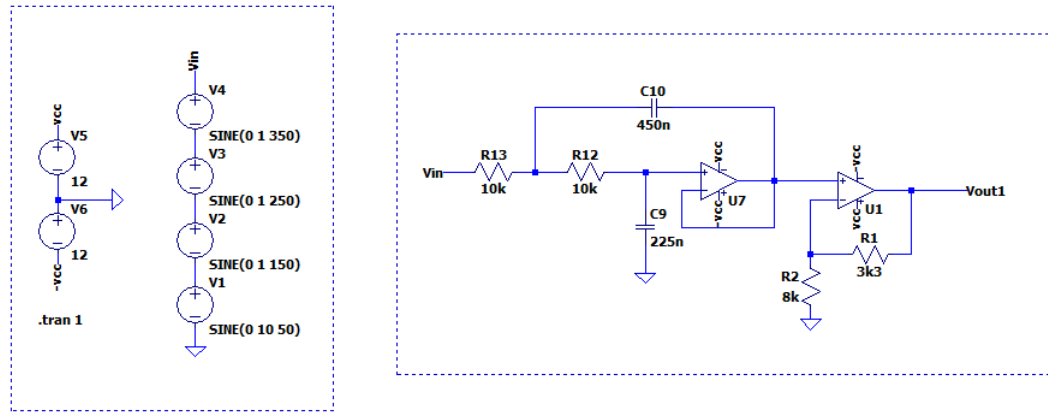


Figura 6: Circuito de filtro 1

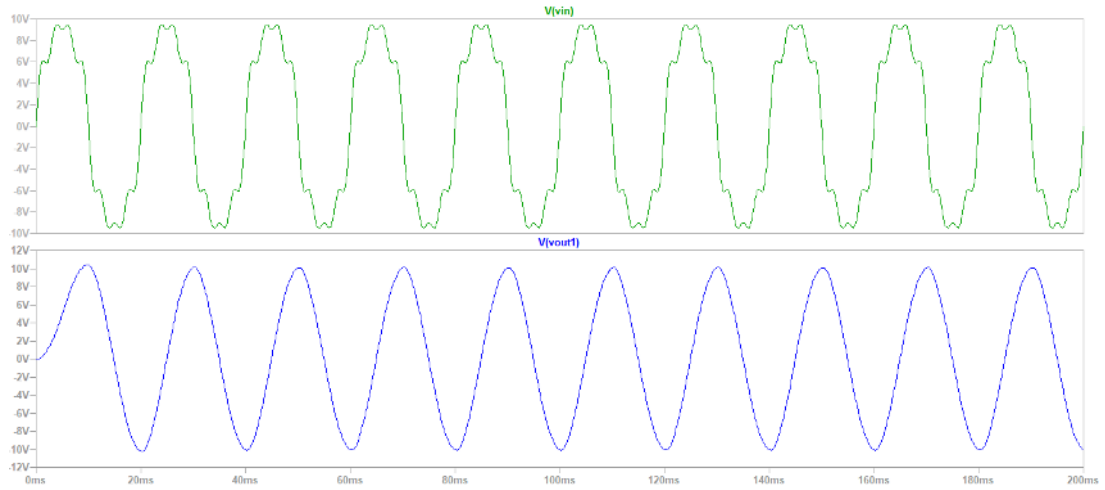


Figura 7: $V_{iny}V_{out}$ separados

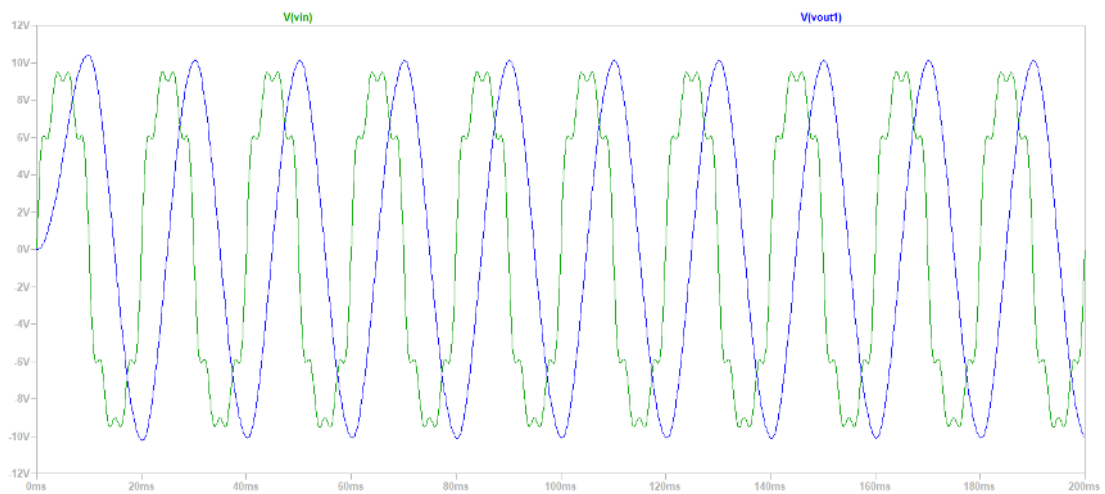


Figura 8: Diferencia fase entre $V_{iny}V_{out}$

2.1.3. 3) Comentarios Filtro 1

comentarios fase...

2.1.4. 4) Diseño Filtro 2

2.1.5. 5) Simulación Filtro 2

2.1.6. 6) Comentarios Filtro 2

2.2. Ejercicio 2

2.2.1. Diseño equalizador

2.2.2. Simulación

2.2.3. Comentarios

3. Conclusión