



Instituto Politécnico Nacional

Escuela Superior de Cómputo



Práctica 8: FILTRO PASA BAJA

Profesor: Ismael Cervantes de Anda

Grupo: 4CV2

Equipo:

- Ramírez Jiménez Itzel Guadalupe
- Colín Ramiro Joel
- Vázquez Giles Alejandro

I. OBJETIVO

En esta práctica no.8 los objetivos concretamente son: comprobar el funcionamiento del filtro pasa bajas, así como determinar su frecuencia de corte, en cada caso solicitado.

II. MATERIALES

Amplificador Operacional: TL071.

Resistencias: $1\text{k}\Omega$, $12\text{k}\Omega$, $18\text{k}\Omega$ y $39\text{k}\Omega$.

Capacitores: $0.0018\mu\text{F}$, $0.0082\mu\text{F}$, $0.01\mu\text{F}$ y $0.022\mu\text{F}$.

III. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Un filtro en electrónica analógica, se puede definir como una “red” utilizada para separar señales en base a su frecuencia.

La función de filtrado consiste en seleccionar señales conteniendo frecuencias de interés para el sistema de instrumentación. Los filtros activos han mejorado la función de filtrado con la inclusión de amplificadores operacionales, los cuales fueron revisados en prácticas pasadas, al proporcionar ganancias y respuestas a la frecuencia más tajante que las proporcionadas por los filtros tradicionales implementados con dispositivos pasivos, además mejoran mucho las características de estabilidad y acoplamiento electrónico y de adquisición de datos.

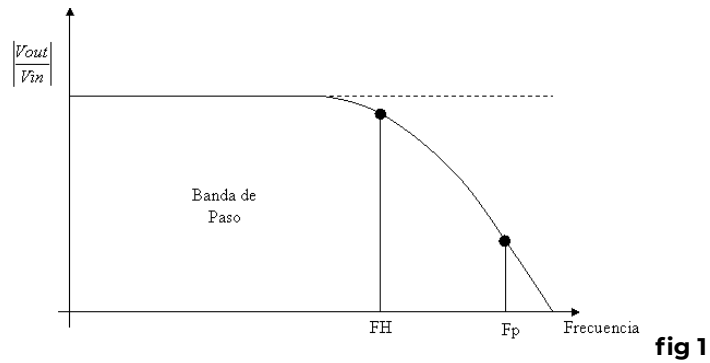
Las ventajas más importantes de los filtros activos son:

1. **Costo.-** No necesitan inductores de alta precisión, simplemente se utilizan amplificadores operacionales, resistencias y capacitores.
2. **Modulación.-** La modulación de etapas en cascada y/o paralelo hacen que los filtros activos sean elementos muy sencillos y versátiles para su implantación en sistemas de instrumentación. Diversas etapas de filtros pueden conectarse en serie o paralelo para producir respuestas más tajantes, más selectivas y de mejor y de mejor estabilidad.
3. **Limitación de ancho de banda.-** Para los amplificadores operacionales comunes utilizados en sistemas de instrumentación, estos no responden a frecuencias arriba de los 100 Mhz.

Actualmente existen 4 tipos de filtros principales, los cuales se mencionan a continuación:

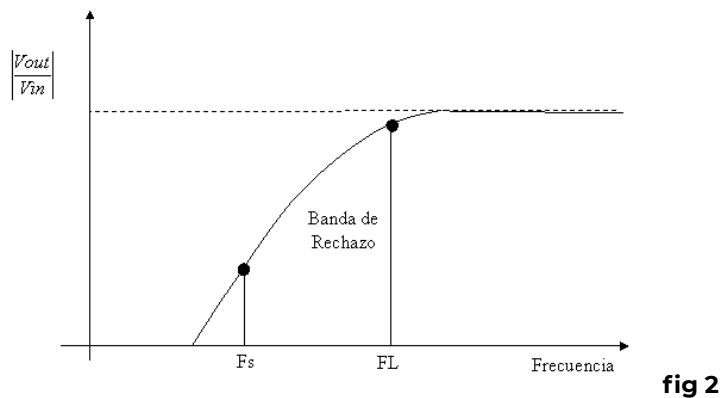
FILTRO PASA BAJAS

Permite el paso de una banda de frecuencias que va desde CD hasta una frecuencia específica. **(fig 1)**



FILTRO PASA ALTAS

Permite el paso de frecuencias mayores que una frecuencia baja cualquiera. **(fig 2)**



FILTRO PASA BANDAS

Permite el paso de una banda específica de frecuencias y rechaza a todas las demás. **(fig 3)**

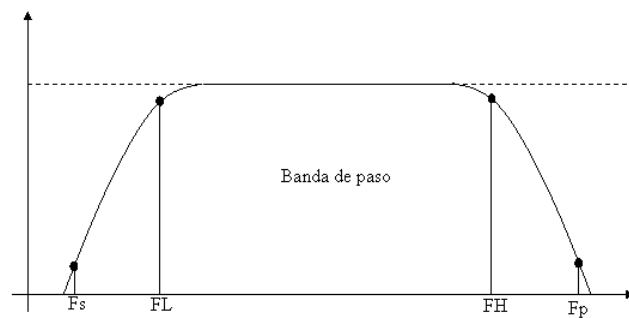


fig 3

FILTRO DE RECHAZO DE BANDA

Permite el paso de todas las señales a excepción de las de una banda, las cuales como el nombre del filtro lo menciona, las rechaza. **(fig 4)**

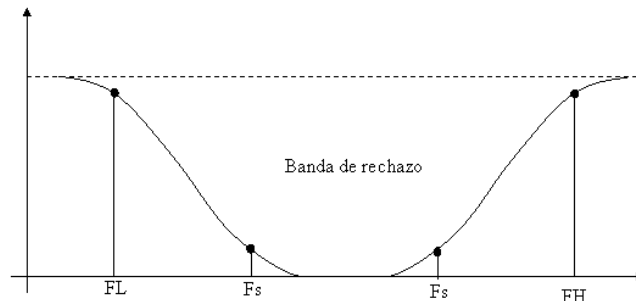


fig 4

Además existen otros tipos de filtros que son los más comúnmente usados que son Butterworth, Chevyshev y Caver.

- El filtro tipo Chevyshev tiene rizado en la banda de paso, mientras que el filtro Caver tiene rizado en ambas bandas.
- La respuesta del filtro tipo Butterworth tiene su respuesta plana en ambas bandas además de que el diseño de los mismos es el más simple.
- En un filtro tipo Butterworth, la forma de la curva de la respuesta a la frecuencia del filtro obtenida usando la función de transferencia se puede diseñar con estructuras preestablecidas y de acuerdo a la posición de las raíces del polinomio característico en el plano complejo "S".
- La estructura tipo Butterworth corresponde a una respuesta sin rizado en el dominio de la frecuencia. Además el comportamiento dinámico de la respuesta en el tiempo para un sistema Butterworth se aproxima a la respuesta de un sistema crítico amortiguado (**factor de amortiguamiento = 0.707**).

IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para la realización de esta práctica, se armaron, analizaron y estudiaron 2 circuitos, los cuales se describirán a continuación.

Filtro Activo Pasa Bajas de 2° Orden

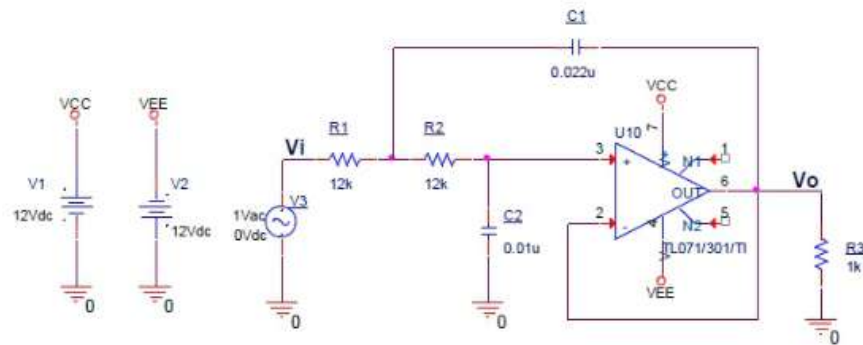


fig 5

Para este primer circuito (**fig 5**), donde V_3 es una fuente de voltaje AC con una amplitud pico de 1v. Obtuvimos el diagrama de Bode del voltaje de salida (V_o) mediante su simulación en AC. Se graficó en la **gráfica 1**, donde se puede observar la frecuencia de corte.



gráfica 1

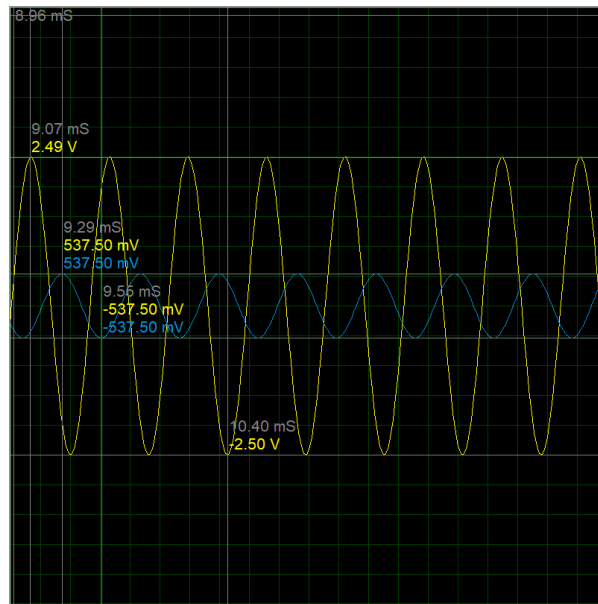
Como segunda actividad, en este filtro, obtuvimos la frecuencia de corte (f_c) del filtro y calculamos la pendiente de la recta para la obtención del orden del filtro.

$$f_c = 9.3 \text{ kHz}$$

$$m = \text{pendiente} = -40 \frac{\text{dB}}{\text{década}}$$

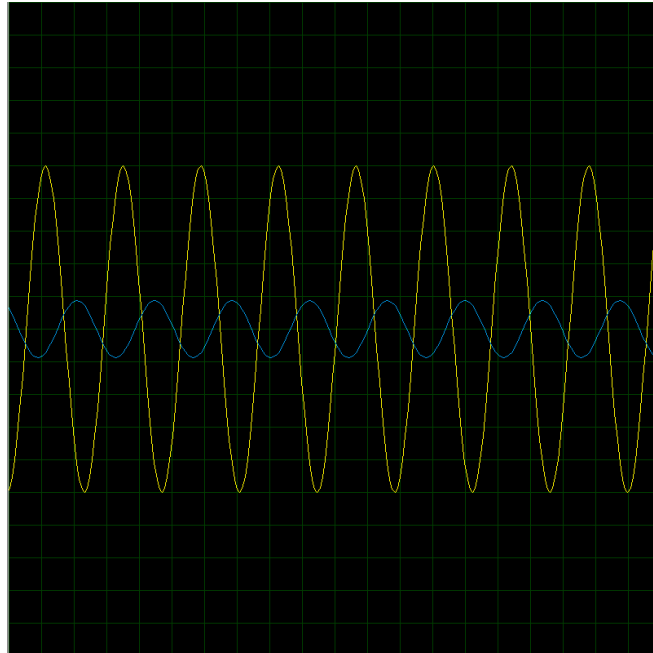
$$\text{orden} = n = 2^\circ$$

Posteriormente, cambiamos la fuente V_{AC} por una fuente de voltaje senoidal con una amplitud de $1 V_p$ y una frecuencia de $\frac{1}{10}$ de f_c y realizamos su respectiva simulación en el dominio del tiempo para así, analizar la señal de entrada V_i y la señal de salida V_o . La graficación de dichas señales se encuentra en la **gráfica 2**.



gráfica 2

Como penúltimo inciso en el primer filtro, cambiamos la frecuencia de la fuente de voltaje senoidal a f_c y realizamos la simulación en el dominio del tiempo para analizar la señal de entrada V_i y la señal de salida V_o . Las ilustraciones de las señales se encuentran en la **gráfica 3**.



gráfica 3

Filtro Activo Pasa Bajas de 4° Orden

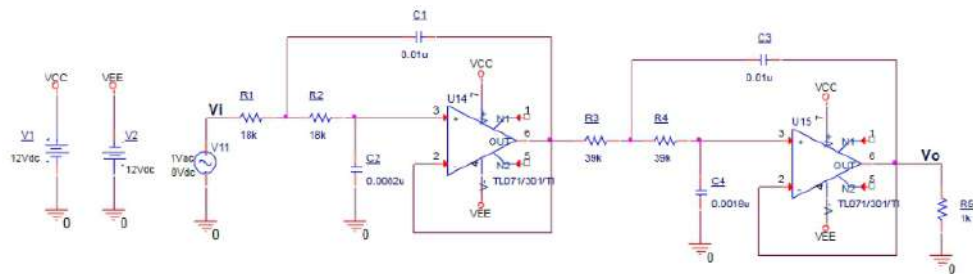
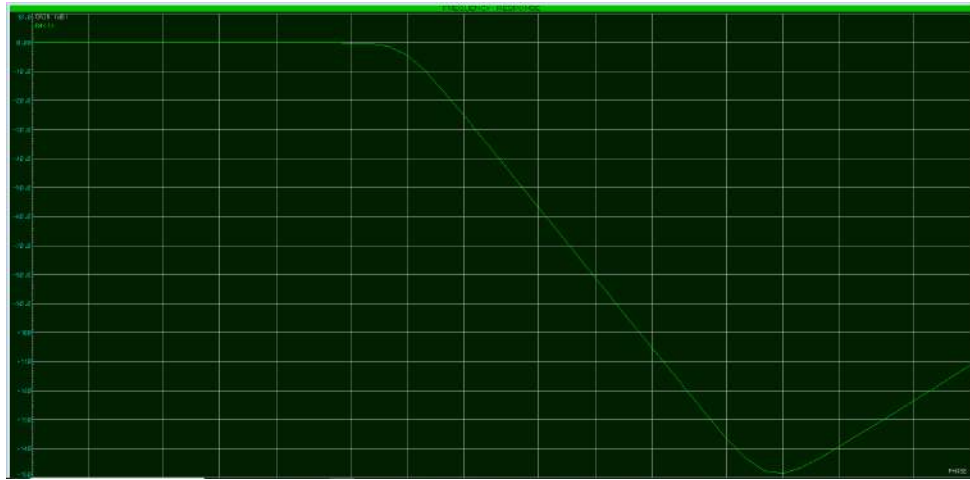


fig 6

Para el segundo y último circuito (**fig 6**), donde V_3 es una fuente de voltaje AC con una amplitud pico de 1v. Al igual que el filtro anterior, se obtuvo el diagrama de Bode del voltaje de salida V_0 mediante la simulación en AC, dicha graficación se encuentra expuesta en la **gráfica 4**.



gráfica 4

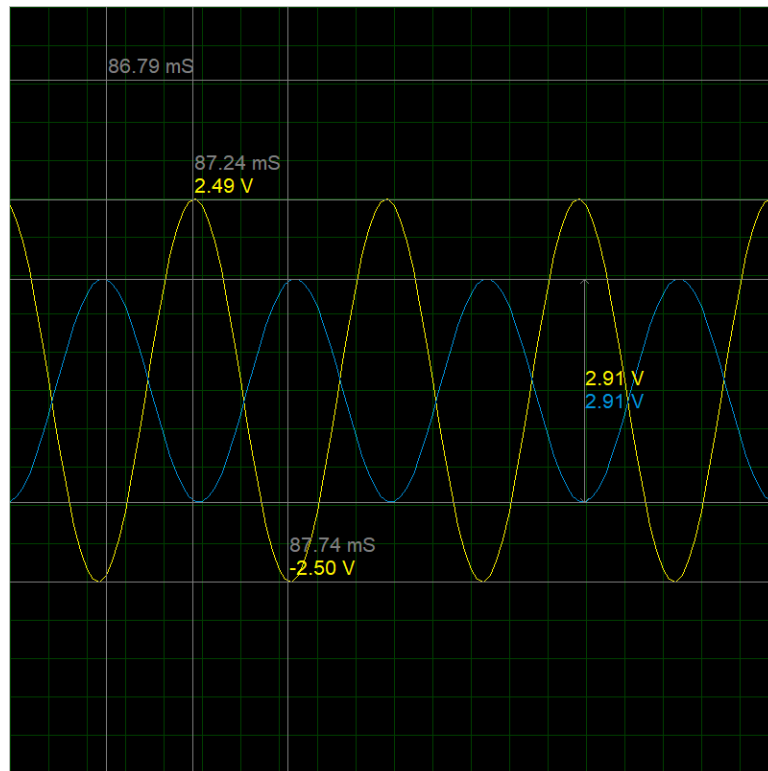
Posterior a eso, se obtuvo la frecuencia de corte f_c del filtro y calculamos la pendiente de la recta para la obtención del orden de dicho filtro.

$$f_c = 9.21 \text{ kHz}$$

$$m = \text{pendiente} = -60 \frac{\text{dB}}{\text{década}}$$

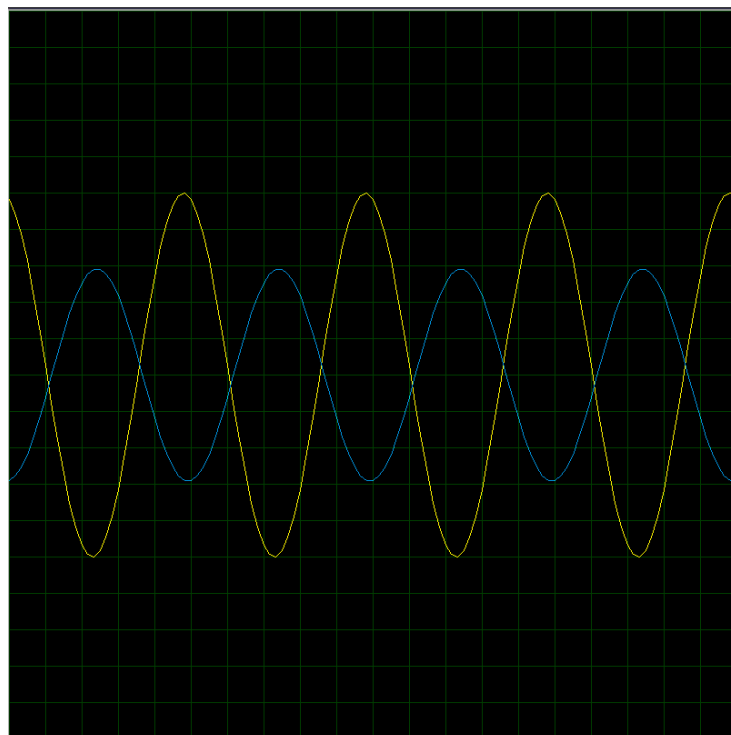
$$\text{orden} = n = 4^\circ$$

Posteriormente, cambiamos la fuente V_{AC} por una fuente de voltaje senoidal con una amplitud de $1 V_p$ y una frecuencia de $\frac{1}{10}$ de f_c y realizamos su respectiva simulación en el dominio del tiempo para así, analizar la señal de entrada V_i y la señal de salida V_o . La graficación de dichas señales se encuentra en la **gráfica 6**.



gráfica 5

Como último inciso en el primer filtro, cambiamos la frecuencia de la fuente de voltaje senoidal a f_c y realizamos la simulación en el dominio del tiempo para analizar la señal de entrada V_i y la señal de salida V_o . Las ilustraciones de las señales se encuentran en la **gráfica 6**.

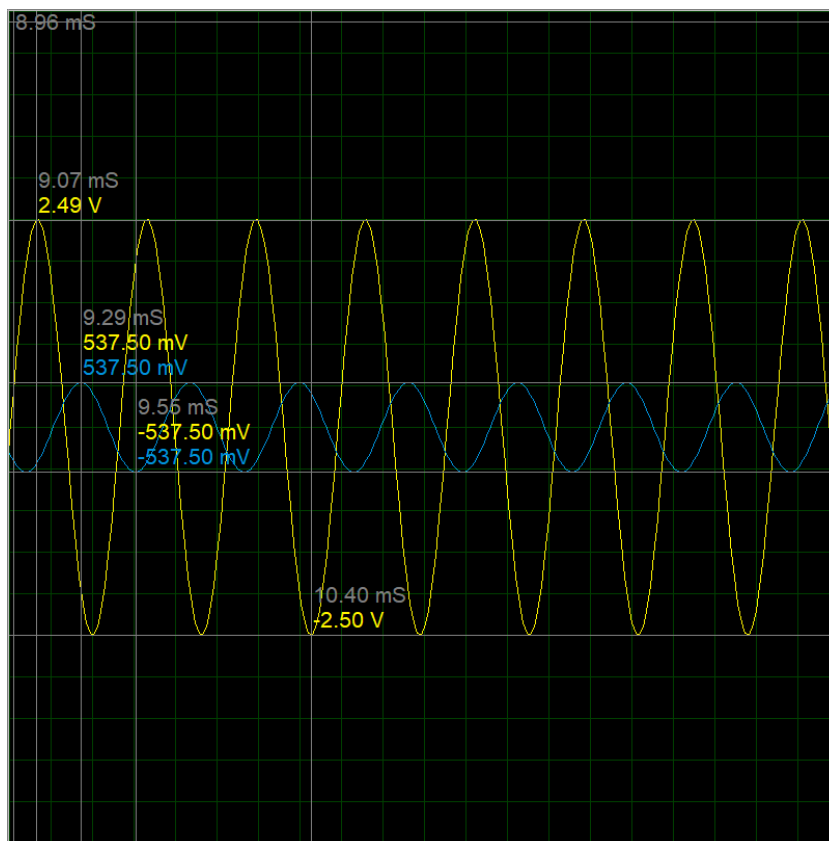
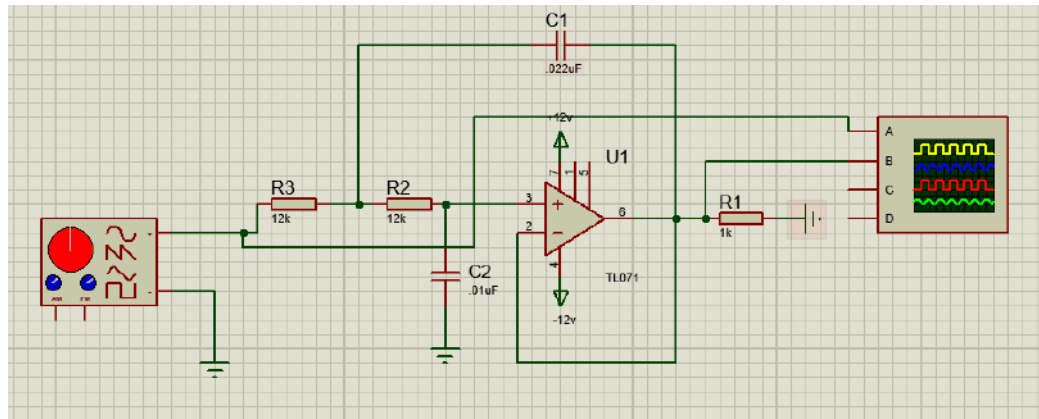


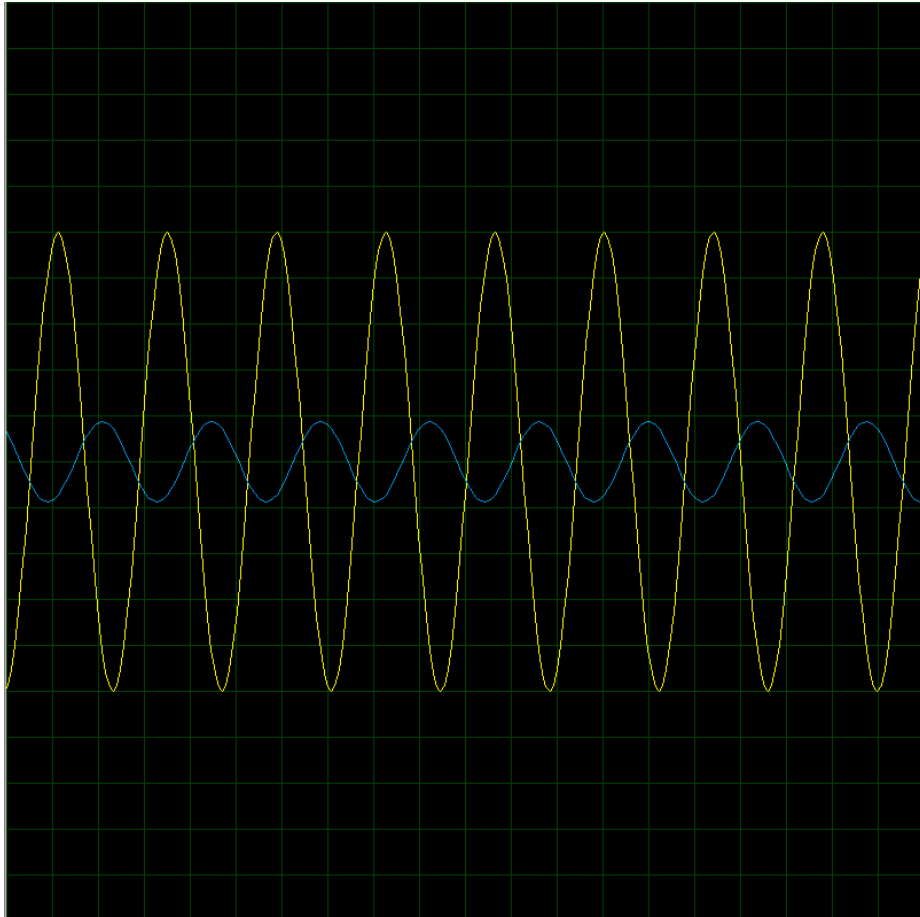
gráfica 6

V. SIMULACIONES Y CÁLCULOS TEÓRICOS

En esta sección se encuentran todas las capturas de las simulaciones realizadas en Proteus, de ambos circuitos, así como los cálculos teóricos necesarios respectivamente.

Filtro Activo Pasa Bajas de 2° Orden





Practica 8

Primer circuito

$$f_c = 933 \text{ Hz}$$

$$\omega_c = 2\pi f_c = 2\pi(933 \text{ Hz}) = 5862.2118 \text{ rad/seg}$$

Periodo de tiempo cuando $f_c = 933 \text{ Hz}$

$$t_1 = -810 \mu\text{s}; t_2 = 265 \mu\text{s} \quad \leftarrow \text{Desfasamiento V de entrada}$$

$$t_2 - t_1 = 265 \mu\text{s} - (-810 \mu\text{s}) = 1.075 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{1.07 \times 10^{-3}} = 930 \text{ Hz}$$

$$t_1 = -810 \mu\text{s}; t_2 = -520 \mu\text{s}$$

$$t_2 - t_1 = 290 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Angulo de desfaseamiento

$$\phi = \frac{(290 \times 10^{-6} \text{ s})(360^\circ)}{(1.075 \times 10^{-3} \text{ s})} = 97.11^\circ$$

$$\text{Angulo de desfaseamiento } f = \frac{f_c}{10} = 93.3 \text{ Hz}$$

Desfasamiento entre dos senales

$$t_1 = 2.70 \text{ ms}; t_2 = 2.98 \text{ ms}$$

$$t_2 - t_1 = 280 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Desfasamiento entre la señal de entrada

$$t_1 = -8.10 \text{ ms}; t_2 = 2.70 \text{ ms}$$

$$t_2 - t_1 = 2.70 \text{ ms} - (-8.10 \text{ ms}) = 10.8 \times 10^{-3}$$

Angulo de desfaseamiento

$$\phi = \frac{(280 \times 10^{-6} \text{ s})(360^\circ)}{10.8 \times 10^{-3} \text{ s}} = 9.33^\circ$$

Angulo de desfaseamiento cuando

$$f = 10 f_c = 9.3 \text{ kHz}$$

Desfasamiento entre la señal de entrada

$$t_1 = -80.50 \mu\text{s}; t_2 = 27 \mu\text{s}$$

$$t_2 - t_1 = 107.5 \times 10^{-6} \text{ s}$$

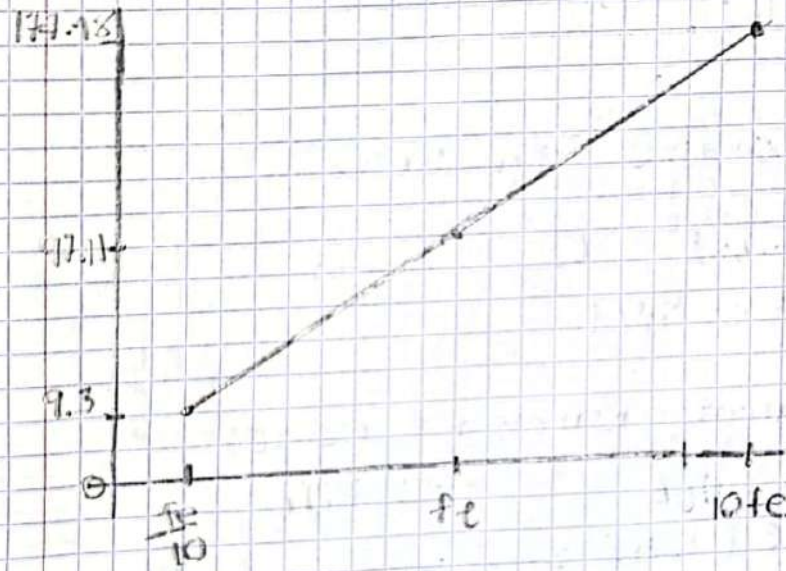
Desfasamiento entre las dos senales

$$t_1 = -80.50 \mu\text{s}; t_2 = -27.50 \mu\text{s}$$

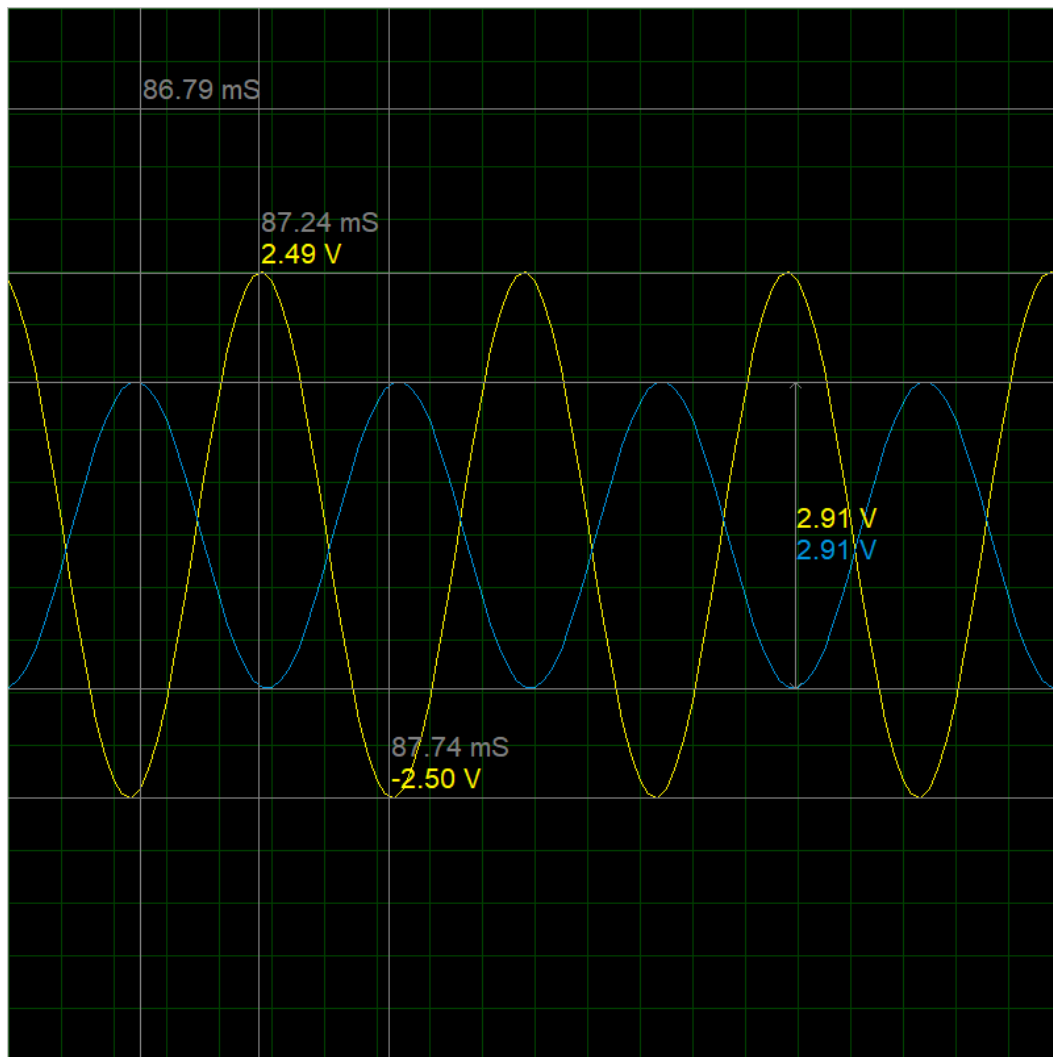
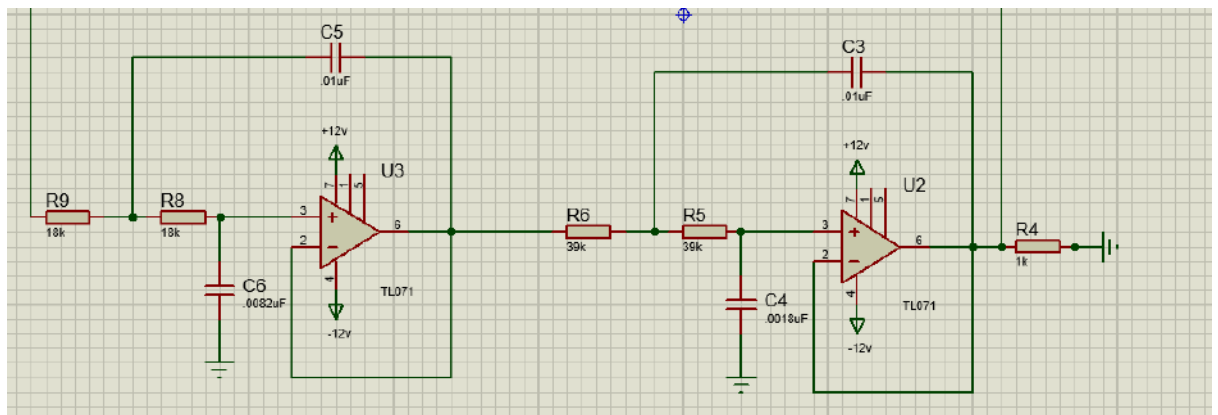
$$t_2 - t_1 = 53 \times 10^{-6} \text{ s}$$

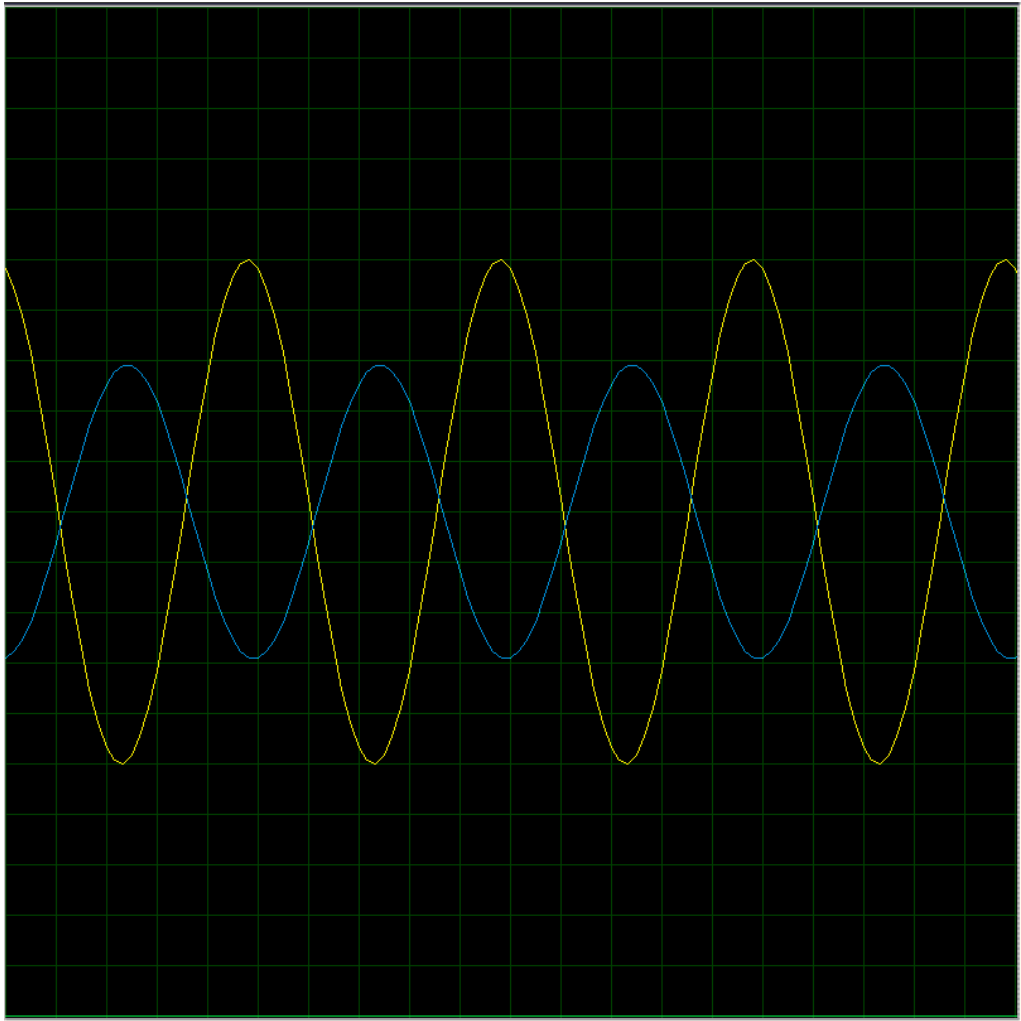
Angulo

$$\phi = \frac{(53 \times 10^{-6}) (360)}{107.5 \times 10^{-6}} = 177.488$$



Filtro Activo Pasa Bajas de 4° Orden





Circuito 2

Angulo de desfaseamiento cuando
 $f = f_e = 921 \text{ Hz}$

Desfaseamiento entre la señal de entrada

$$t_1 = -830 \mu\text{s} ; t_2 = 260 \mu\text{s}$$

$$t_2 - t_1 = 260 \mu\text{s} - (-830 \mu\text{s}) = 1.09 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Desfaseamiento entre ambas señales

$$t_1 = -830 \mu\text{s} ; t_2 = -290 \mu\text{s}$$

$$t_2 - t_1 = (-290 \mu\text{s}) - (-830 \mu\text{s}) = 540 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Angulo de desfaseamiento $f = \frac{f_e}{10} = 92.1 \text{ Hz}$

Desfaseamiento entre la señal de entrada

$$t_1 = 2.70 \text{ ms} ; t_2 = 10.5 \text{ ms}$$

$$t_2 - t_1 = 10.8 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Desfaseamiento entre ambas señales

$$t_1 = 2.70 \text{ ms} ; t_2 = 19 \text{ ms}$$

$$t_2 - t_1 = 11.3 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Angulo

$$\phi = \frac{(11.3 \times 10^{-3})(360)}{10.8 \times 10^{-3}} = 376.66^\circ$$

Angulo de desfaseamiento cuando
 $f = 10f_e = 9210 \text{ Hz}$

Desfaseamiento entre la señal de entrada

$$t_1 = -8.30 \mu\text{s} ; t_2 = 2.67 \mu\text{s}$$

$$t_2 - t_1 = 10.97 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Desfaseamiento entre las dos señales

$$t_1 = -8.30 \mu\text{s} ; t_2 = -2.70 \mu\text{s}$$

$$t_2 - t_1 = 5.6 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$\phi = \frac{(5.6 \times 10^{-6})(360)}{10.97 \times 10^{-6}} = 183.77^\circ$$

VI. CUESTIONARIO

1. ¿Qué diferencia existe entre un filtro activo y un filtro pasivo?

La diferencia recae en que un filtro activo está formado por elementos activos como son los amplificadores operacionales, transistores, etc., y un filtro pasivo está formado por elementos pasivos como lo pueden ser resistencias, condensadores, bobinas, etc.

2. ¿Cómo se determina la frecuencia de corte a partir de la amplitud de la señal de entrada y de salida del circuito?

En un filtro físico, se puede determinar que si: $\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.7071$,

entonces la frecuencia a la que se encuentra la entrada es la frecuencia de corte del filtro. Es decir, si la amplitud de la salida es aproximadamente el 70% de la señal de entrada.

3. ¿Qué es un decibel(dB) y cómo se calcula en relación con la amplitud?

Es una unidad relativa de una señal muy utilizada por la simplicidad al momento de comparar y calcular niveles de señales eléctricas. Los logaritmos son muy usados debido a que la señal en dB puede ser fácilmente sumada o restada. El decibel se mide en una escala logarítmica que permite la especificación del rendimiento a través de un amplio rango de **voltaje \ potencia**.

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_e} \right)$$

Donde: **Pe** = Potencia de entrada y **Ps**= potencia de salida

4. ¿Qué es un diagrama de Bode y que información representa?

Es una representación gráfica que sirve para caracterizar la respuesta en frecuencia de un sistema. Normalmente consta de dos gráficas separadas, una que corresponde con la magnitud de dicha función y otra que corresponde con la *fase*.

Representa la fase de la función de transferencia en función de la frecuencia (o frecuencia angular) en escala logarítmica, la cual se puede dar en grados o en radianes.

5. **¿Cuál es la atenuación en dB que se considera como normativa para determinar la frecuencia de corte de un filtro?**

Es de 3dB

6. **¿Cómo se determina la precisión de un filtro?**

Se determina dependiendo del estado de la banda de paso, si está rizado la frecuencia y precisión es abrupta, si la respuesta es plana la precisión es buena.

7. **¿Qué diferencias existen en las respuestas de los filtros Butterworth, Chebyshev, Elíptico y Bessel?**

Se diferencian principalmente por la caída de la respuesta en frecuencia en la primera década desde la frecuencia de corte y en el retardo de grupo.

8. **En la frecuencia de corte de un filtro paso bajo, ¿Cuál es la fase de la señal de salida?**

El filtro LP debe pasar las señales entre DC y la frecuencia de corte, con una atenuación máxima de dB. La banda de frecuencias entre DC y se conoce como banda de paso. Las frecuencias por encima de deben tener al menos dB de atenuación. La banda de frecuencias entre y infinito se denomina banda de rechazo y se denomina frecuencia límite de la banda de rechazo. La banda de frecuencias entre y se denomina banda de transición. Los parámetros , , y describen completamente las especificaciones del filtro LP.

VII. CONCLUSIONES

Los filtros activos ofrecen un mejor acondicionamiento de la señal de entrada para su procesamiento ya que pueden ofrecer cierta ganancia para un mejor estudio. En esta 8va práctica, pudimos apreciar que, a diferencia de los modelos ideales, un filtro activo no corta de tajo la señal de entrada justo antes (pasa altas) o después (pasa bajas) de la frecuencia de corte, sino que la va atenuando conforme la frecuencia se acerca a dicho valor.

El uso de filtros dentro de la electrónica es muy importante, pues permiten el paso de ciertas frecuencias de una señal de entrada mientras que

atenúan las demás, con aplicaciones dentro de la instrumentación, telecomunicaciones y sistemas de audio.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. <https://lc.fie.umich.mx/~jfelix/Instrull/PB/PB.html>
2. https://tecdigital.tec.ac.cr/repo/rea/electronica/el-2114/un_5/55_filtros.html
3. <http://www.itlalaguna.edu.mx/2014/Oferta%20Educativa/Ingenierias/Sistemas/Plan%201997-2004/Ecabas/ecabaspdf/FILTROS%20ACTIVOS.pdf>
4. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/pasa-bajas-filtro/>