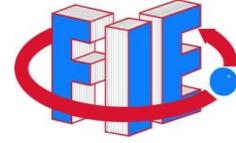




**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLAS DE HIDALGO  
Facultad de Ingeniería Eléctrica**



## Laboratorio de Instrumentación II

### PRÁCTICA 2

#### “Filtros Activos II (Filtro Pasa-Altas)”

#### Objetivo

Diseño, simulación, implementación y prueba de filtros pasaalts tipo Butterworth de 1º Y 2º orden.

#### ANTECEDENTES

#### Filtro

En la práctica 1 se describió el comportamiento y la utilidad de las redes de filtrado; se mostraron las curvas de magnitud contra frecuencia para dichos circuitos y se implementó un filtro pasabajas. En esta práctica se implementa un filtro activo pasaalts. Un filtro pasaalts es un circuito que **idealmente** tiene un voltaje de salida constante desde una *frecuencia de corte*  $f_c$  hasta una frecuencia infinita (véase Figura 1), al tiempo que atenuará todas las señales con frecuencia inferior a la frecuencia de corte.

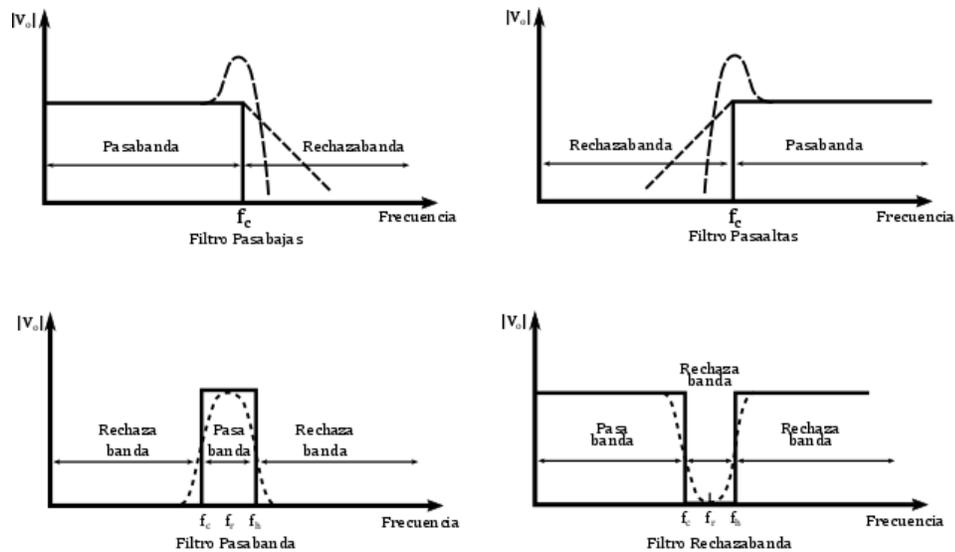


Figura 1: Respuesta en Frecuencia de los 4 filtros básicos

## Filtro Básico Pasa-Altas

El diagrama de la Figura 2 muestra un filtro activo pasaaltas de 1er orden (atenuación de  $-20$  dB/década), donde el filtrado lo realiza el circuito  $RC$ ; mientras que el amplificador operacional se utiliza como seguidor de ganancia unitaria. Obsérvese que en comparación con el filtro pasabajas, la resistencia  $R$  y el capacitor  $C$  están en posición invertida uno respecto al otro. La resistencia  $R_f$  es igual a  $R$  y se incluye para la eliminar la desviación de cd. El voltaje diferencial entre las dos entradas del AmpOp (entrada inversora y no inversora), es en esencia  $0V$ ; por lo tanto, el voltaje a través de la resistencia  $R$  es igual al voltaje de salida  $v_o$ , y se define por:

$$v_o = \frac{1}{1 - j\left(\frac{1}{\omega RC}\right)} v_i$$

Donde  $\omega$  es la frecuencia de  $v_i$  en radianes por segundo ( $\omega = 2\pi f$ ) y  $j = \sqrt{-1}$ . Reordenando la ecuación anterior para obtener la ganancia de voltaje de lazo cerrado  $A_{vCL}$  se obtiene:

$$A_{vCL} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{j\omega}{1/RC + j\omega}$$

La Figura 3 representa la gráfica de ganancia  $|A_{vCL}|$  en función de  $\omega$  y se muestra que para frecuencias inferiores que la frecuencia de corte  $\omega_c$   $|A_{vCL}|$  disminuye a una tasa de 20 dB/década. Esto equivale a decir que la ganancia de voltaje se divide entre 10 cuando la frecuencia de  $\omega$  se incremente por 10.

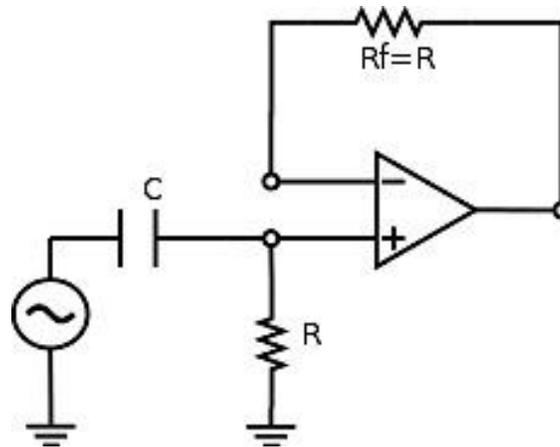


Figura 2: Filtro Pasaaltas de 1er orden.

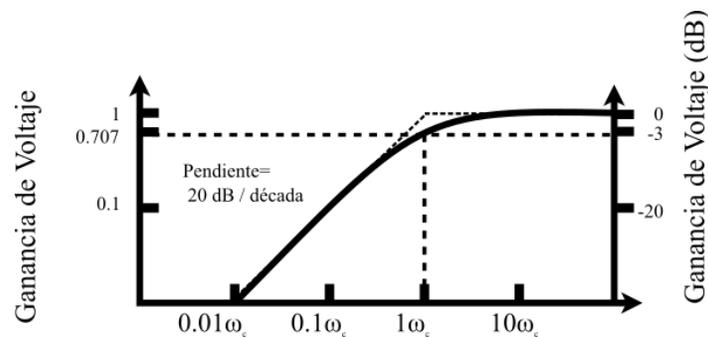


Figura 3: Respuesta en frecuencia del filtro pasabajas de 1er orden.

### ***Diseño del Filtro Pasa-Altas de 1er Orden***

La frecuencia de corte  $\omega_c$  se define como la frecuencia de  $v_i$  donde  $|A_{vCL}|$  se reduce a 0.7071 veces su valor a baja frecuencia. La frecuencia de corte se evalúa mediante:

$$\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c$$

Donde  $\omega_c$  es la frecuencia de corte en radianes por segundo,  $f_c$  es la frecuencia de corte en Hz,  $R$  está en Ohms, y  $C$  está en Farads. La ecuación puede reescribirse para calcular  $R$ .

$$R = \frac{1}{\omega_c C} = \frac{1}{2\pi f_c C}$$

El procedimiento de diseño entonces, puede resumirse en los siguientes pasos:

- 1) Se escoge la frecuencia de corte  $\omega_c$  o bien  $f_c$
- 2) Se selecciona el capacitor  $C$ , por lo general entre  $0.001$  y  $0.1 \mu F$
- 3) Se calcula  $R$  a partir de la ecuación anterior
- 4) Se hace  $R_f = R$

## Filtro Butterworth Pasa-Altas de -40dB/Década

El circuito de la Figura 4 es uno de los filtros pasaaltas que se utiliza comúnmente. Produce una atenuación de  $-40$  dB/década cuando está por debajo de la frecuencia de corte  $\omega_c$ . Para satisfacer el criterio de los filtros Butterworth, la ganancia de voltaje debe ser de  $0.707$  en la frecuencia de corte y de  $0$  dB en la banda de paso.

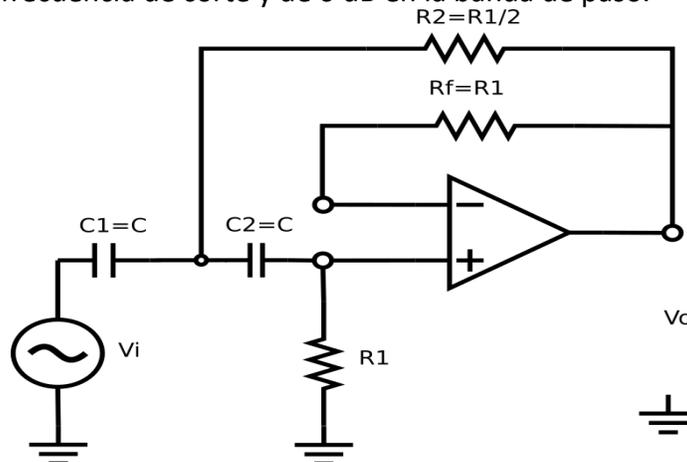


Figura 4: Filtro pasaaltas de 2o orden.

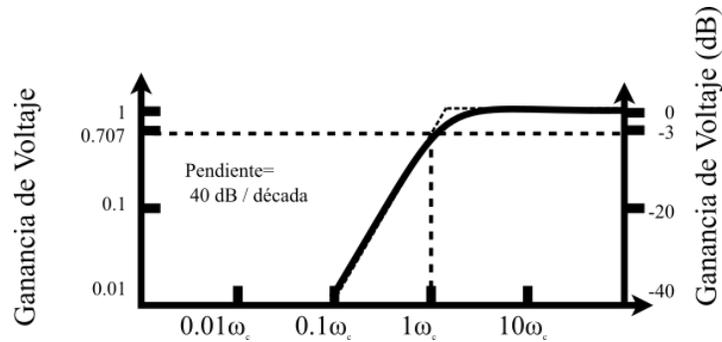


Figura 5: Gráfica de respuesta en frecuencia del filtro pasaaltas de 2o orden.

### Procedimiento de Diseño Simplificado

El diseño del filtro pasaaltas de la Figura 4 se simplifica en gran medida al hacer las capacitancias  $C_1$  y  $C_2$  iguales a  $C$ . Hay sólo cinco pasos en el procedimiento de diseño.

- 1) Seleccione la frecuencia de corte  $\omega_c$  o bien  $f_c$ .
- 2) Escoja  $C_1 = C_2 = C$ ; seleccione un valor adecuado entre  $1 \text{ nF}$  y  $0.1 \text{ }\mu\text{F}$ .
- 3) Calcule  $R_1$  mediante

$$R_1 = \frac{1.414}{\omega_c C}$$

- 4) Haga  $R_2 = \frac{1}{2}R_1$ .
- 5) Para reducir al mínimo el desvío, haga  $R_f = R_1$

## DESARROLLO

- 1.- Diseñe y arme un filtro activo pasaaltas de  $-20 \text{ dB/década}$  (1er orden), cuya frecuencia de corte este cercana a  $f_c = 10 \text{ KHz}$ . Compruebe el funcionamiento mediante un barrido de frecuencias de entrada, comparando la señal de entrada con la señal de salida; tomando un mínimo de 5 lecturas por década de la

frecuencia de entrada, y la ganancia a la salida del circuito, así como de la diferencia de fase entre la señal de entrada y la señal de salida. Con la información recabada, dibuje el diagrama de Bode correspondiente, indicando la frecuencia de corte exacta, así como también la gráfica de diferencia de fase.

- 2.- Diseñe y arme un filtro activo pasaaltas de  $-40$  dB/década ( $2^{\circ}$  orden), cuya frecuencia de corte este cercana a  $f_c = 10\text{KHz}$ . Compruebe el funcionamiento mediante un barrido de frecuencias de entrada, comparando la señal de entrada con la señal de salida; tomando un mínimo de 5 lecturas por década de la frecuencia de entrada, y la ganancia a la salida del circuito, así como de la diferencia de fase entre la señal de entrada y la señal de salida. Con la información recabada, dibuje el diagrama de Bode correspondiente, indicando la frecuencia de corte exacta, así como también la gráfica de diferencia de fase.
- 3.- Arme un circuito sumador de dos entradas, con ganancia unitaria, y aplique a una de sus entradas una señal sinusoidal de frecuencia  $0.1f_c$ , y a la otra una señal de frecuencia  $10f_c$ . Aplique la salida de dicho sumador al filtro diseñado en el inciso anterior (pasa-altas de  $2^{\circ}$  orden), y observe la señal de salida del filtro, y anote sus observaciones.

## Reportar

- Cálculos de diseño para cada uno de los filtros realizados en la práctica.
- Tabla de valores obtenidos (frecuencia y ganancia), y su respectiva gráfica de Bode para cada filtro analizado, indicando claramente la frecuencia de corte real.
- Observaciones y problemas (en caso de haberlos tenido) en la realización de cada filtro.
- Señal de salida del circuito del inciso 3, incluyendo sus observaciones.
- Observaciones y conclusiones de forma individual.