



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



Laboratorio de Instrumentación II

PRÁCTICA 1

“Filtros Activos I (Filtro Pasa-Bajas)”

Objetivo

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

ANTECEDENTES

Filtro

Un filtro es un circuito diseñado para dejar pasar una banda de frecuencias específica, y atenuar todas las señales fuera de esta banda. Los circuitos de filtros pueden ser activos o pasivos, siendo estos últimos los que contienen sólo resistencias, inductores y capacitores. Los filtros activos en cambio, emplean transistores o amplificadores operacionales además de resistencias y capacitores o inductores. Los inductores normalmente no se utilizan en los filtros activos, debido a que son voluminosos, costosos y pueden tener componentes resistivos grandes.

Hay cuatro tipos de filtros: pasabajas, pasaaltas, pasabanda, y rechazabanda (a veces también conocidos como eliminabanda o de muesca).

En la Figura 1, se ilustran las gráficas de respuesta en frecuencia de los cuatro tipos de filtros. Un filtro pasabajas es un circuito que tiene un voltaje de salida constante desde “CD” hasta una *frecuencia de corte* f_c , donde conforme la frecuencia aumenta arriba de f_c , el voltaje de salida se atenúa.

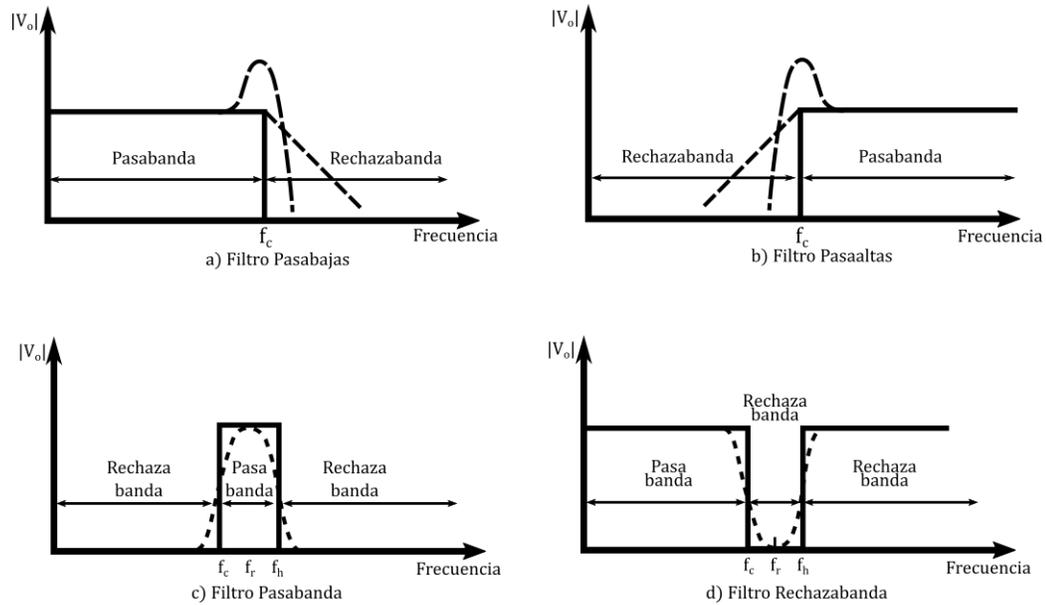


Figura 1: Respuesta en Frecuencia de los 4 filtros básicos

Filtro Básico Pasa-Bajas

El diagrama de la Figura 2 muestra un filtro activo pasabajas de 1er orden (atenuación de -20 dB/década), donde el filtrado lo realiza el circuito RC ; mientras que el amplificador operacional se utiliza como amplificador de ganancia unitaria. La resistencia R_f es igual a R_I y se incluye para 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 del capacitor C es igual al voltaje de salida v_o , ya que este circuito, es un seguidor de voltaje. El voltaje de entrada v_i se divide entre R y C , por lo que al analizar la malla, se puede ver que el voltaje en el capacitor es igual a v_o y que está definido por:

$$v_o = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} v_i$$

Donde ω 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:

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

La Figura 3 representa la gráfica de ganancia $|A_{vCL}|$ en función de ω y se muestra que para frecuencias mayores que la frecuencia de corte ω_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 ω se incremente por 10.

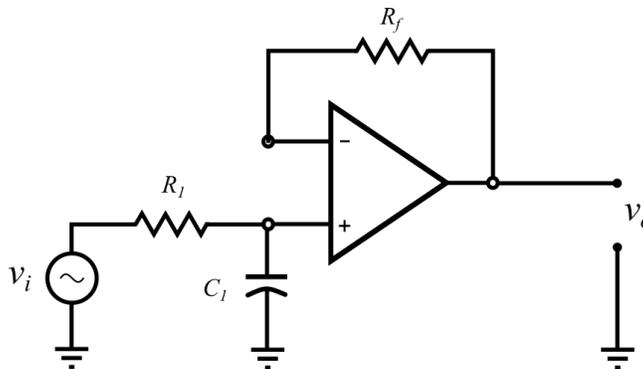


Figura 2: Filtro Pasabajos de 1er orden.

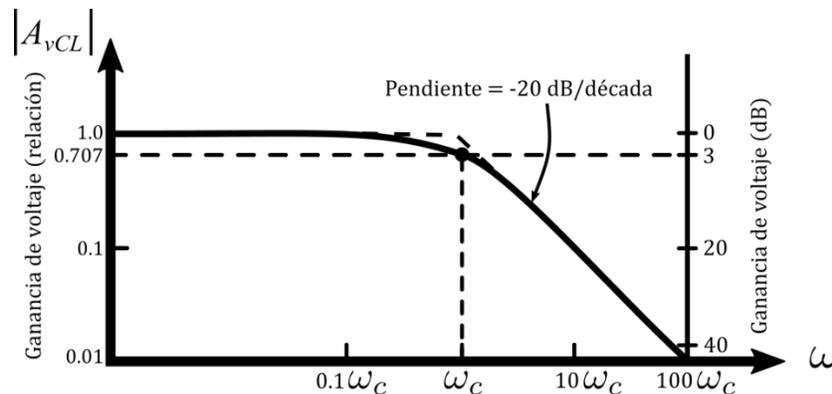


Figura 3: Respuesta en frecuencia del filtro pasabajos de 1er orden.

Diseño del Filtro Pasa-Bajas de 1er Orden

La frecuencia de corte ω_c se define como la frecuencia de v_i donde $|A_{v_{CL}}|$ 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 ω_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 ω_c o bien f_c
- 2) Se selecciona el capacitor C , por lo general entre 0.001 y 0.1 μF
- 3) Se calcula R a partir de la ecuación anterior

Filtro Butterworth Pasa-Bajas de -40dB/Década

El circuito de la Figura 4 es uno de los filtros pasabajas que se utiliza comúnmente. Produce una atenuación de -40 dB/década; esto es, después de la frecuencia de corte, la magnitud de $A_{v_{CL}}$ decrece 40 dB cuando ω aumenta a $10\omega_c$. El amplificador operacional se conecta para una ganancia unitaria en cd. Se incluye la resistencia R_f para la desviación de cd, configurando el AmpOp como un seguidor de voltaje, haciendo que el voltaje a través de C_i sea igual al voltaje de salida v_o .

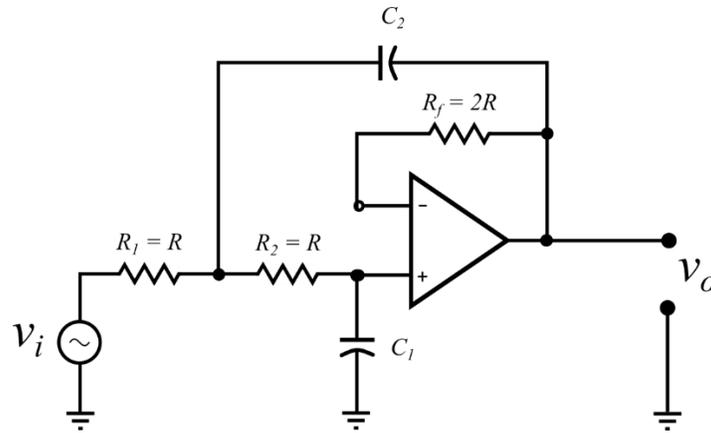


Figura 4: Filtro pasabajas de 2o orden.

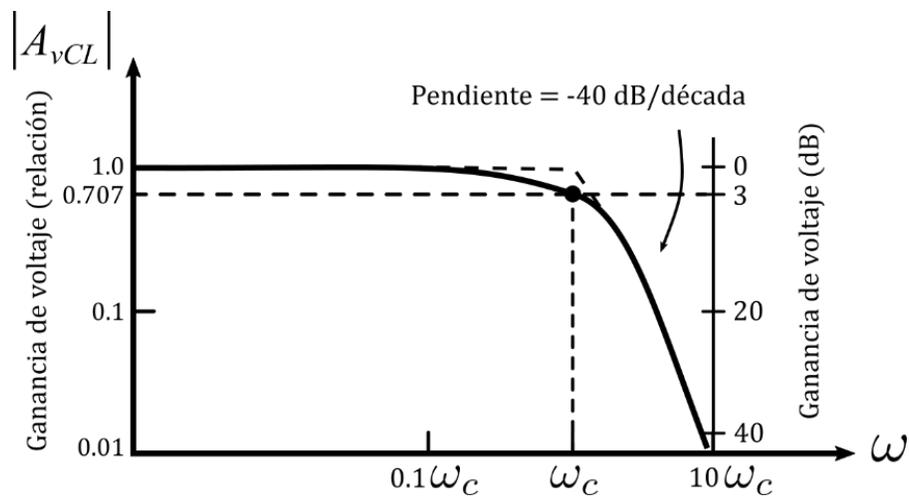


Figura 5: Gráfica de respuesta en frecuencia del filtro pasabajas de 2o orden.

Procedimiento de Diseño Simplificado

El diseño del filtro pasabajas de la Figura 4 se simplifica en gran medida al hacer las resistencias R_1 y R_2 iguales a R . Hay sólo cinco pasos en el procedimiento de diseño.

- 1) Seleccione la frecuencia de corte ω_c o bien f_c .
- 2) Escoja C_1 ; seleccione un valor adecuado entre 100 pF y $0.1 \text{ }\mu\text{F}$.
- 3) Haga $C_2 = 2C_1$.
- 4) Calcule

$$R = \frac{0.7071}{\omega_c C}$$

- 5) Seleccione $R_f = 2R$.

DESARROLLO

- 1.- Armar un circuito seguidor de voltaje utilizando un Amplificador Operacional (LM324, TL084 o LM741), y determine la máxima frecuencia de operación de dicho integrado utilizando un generador de señales y un osciloscopio. La máxima frecuencia a la cual la señal de entrada no es distorsionada, será la frecuencia máxima de operación del amplificador operacional, y por lo tanto ésta frecuencia determinará su ancho de banda.
- 2.- Diseñe y arme un filtro activo pasabajas de -20 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 lecturas de la frecuencia de entrada, y la ganancia a la salida del circuito. Con la información recabada, dibuje el diagrama de Bode correspondiente, y determine la frecuencia de corte exacta.
- 3.- Diseñe y arme un filtro activo pasabajas de -40 dB/década (2º 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 lecturas de la frecuencia de entrada, y la ganancia a la salida del circuito. Con la información recabada, dibuje el diagrama de Bode correspondiente, y determine la frecuencia de corte exacta.

- 4.- 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-bajas de 2º 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 4, incluyendo sus observaciones.
- Observaciones y conclusiones de forma individual.