



ENES Juriquilla

Licenciatura en Tecnología
Diseño y análisis de filtro pasa bajas.
Procesamiento Digital de Señales.

ALUMNOS:

Mario Yahir García Hernández - 421091522

Oscar Correa Saenz - 422059983

ASESOR:

Dr. Mateo Frausto Avila

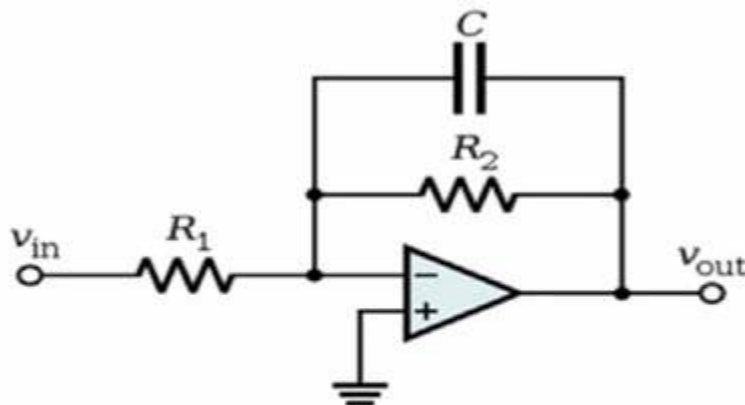


Introducción

En el procesamiento digital de señales (DSP), los filtros juegan un papel fundamental en la eliminación o atenuación de ciertas frecuencias no deseadas dentro de una señal. Entre estos, los filtros analógicos, como los diseñados con amplificadores operacionales (OPAMPs), permiten realizar un preprocesamiento antes de la digitalización de la señal.

El circuito presentado en este reporte corresponde a un filtro pasabajas de primer orden, también conocido como circuito integrador, debido a su comportamiento en el dominio de la frecuencia. Este filtro atenúa las señales de alta frecuencia mientras permite el paso de frecuencias bajas sin cambios significativos. La configuración implementada en este circuito es la de un amplificador operacional en retroalimentación negativa con un capacitor en la realimentación.

En este experimento, analizaremos el comportamiento del circuito al aplicar una señal senoidal de entrada y observar su respuesta en la salida para distintas frecuencias, enfocándonos en la variación de amplitud y fase de la señal resultante.



Objetivos

- Obtener la función de transferencia del circuito mostrado en la imagen proporcionada.
- Diseñar un filtro pasabajas con una frecuencia de corte de 1 kHz, calculando los valores adecuados de los componentes electrónicos.
- Construir el circuito en el laboratorio y verificar su funcionamiento mediante la medición de señales de entrada y salida.



- Analizar cómo se comporta la señal de salida al modificar la frecuencia de la señal de entrada.
- Observar y explicar los efectos en la amplitud, el desfase y la respuesta en frecuencia del circuito.

Materiales

- Capacitores.
- Resistores.
- Multímetro.
- Osciloscopio.
- Generador de funciones.
- Fuente de poder.
- Amplificadores operacionales (OPAMPs).

Desarrollo Experimental

Obtención de la función de transferencia

Para analizar el comportamiento del circuito, es necesario obtener su función de transferencia en el dominio de Laplace. Considerando la configuración del circuito, se obtiene la siguiente función de transferencia:

Esta ecuación describe un filtro pasabajas de primer orden, donde la frecuencia de corte está dada por:



$$I' + I'' = I = \frac{u}{R_0}$$

$$I'' = \frac{0-y}{R_1} \quad I'' = C \frac{d(0-y)}{dt} = -C \frac{dy}{dt}$$

$$L \left\{ \frac{dy}{dt} + \frac{y}{R_1 C} + \frac{u}{R_0 C} = 0 \right\}$$

$$sY(s) + \frac{1}{R_1 C} Y(s) + \frac{1}{R_0 C} u(s) = 0$$

$$\frac{Y(s)}{u(s)} = \frac{-\frac{1}{R_0 C}}{s + \frac{1}{R_1 C}} = \frac{-\frac{1}{R_0 C}}{\frac{sR_1 C + 1}{R_1 C}} = \frac{-R_1}{R_0 C s R_1 C + 1} = \frac{-R_1}{sR_1 C + 1}$$

Dado que se busca un filtro con una frecuencia de corte de 1 kHz, se deben seleccionar valores de R_1 y C que satisfagan esta ecuación.

Cálculo de los valores de resistencia y capacitancia

Para diseñar el filtro con una frecuencia de corte de 1 kHz, se propuso un valor de 470 nF .
Sustituyendo en la ecuación de la frecuencia de corte:



$$|T_c(\omega)| = \sqrt{\frac{R_1^2 R_0^2 + \omega^2 R_1^4 R_0^2 C^2}{(\omega^2 R_1^2 R_0^2 C^2 + R_0^2)^2}}$$
$$\frac{R_1 R_0 \sqrt{1 + \omega^2 R_1^2 C^2}}{\omega^2 R_1^2 R_0^2 C^2 + R_0^2}$$
$$= \frac{R_1 R_0 (1 + \omega^2 R_1^2 C^2)^{1/2}}{R_0^2 (1 + \omega^2 R_1^2 C^2)}$$
$$= \frac{R_1}{R_0} \cdot \frac{1}{(1 + \omega^2 R_1^2 C^2)^{1/2}}$$

La frecuencia de corte será en $0.707 = \frac{1}{\sqrt{2}}$ donde es -3dB .

$$|T_c(\omega)|_{\max} = \frac{R_1}{R_0}$$

es claro desde que $\frac{R_1}{R_0} \cdot \frac{1}{3}$
 $3 < 1$ nunca es
 $3 > 1$ $|T_c| < 1$

La frecuencia de corte ocurre: $\delta: f = 1/(2\pi RC)$

$$P_{\text{corte}} = \frac{1}{2} P_{\text{out, max}}$$

$$\Leftrightarrow P_c = \frac{1}{2} R |V_{\text{out, max}}|^2$$

$$\therefore P_c = R |V_c|^2 \quad \text{Voltaje de corte}$$

$$\therefore |V_c|^2 = \frac{1}{2} |V_{\text{out, max}}|^2$$

$$\therefore |V_c| = \frac{1}{\sqrt{2}} |V_{\text{out, max}}|$$

Voltaje de corte cuando está al 0.707 de su máximo valor es decir -3dB .

ahora: de forma similar $|T_c| = \frac{1}{\sqrt{2}} |T|_{\max}$

$$\therefore \frac{R_1}{R_0 \sqrt{(R_1^2 C^2 \omega^2 + 1)}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{R_1}{R_0}$$



así la frecuencia de corte es :

$$\sqrt{(\omega_c R_1 C)^2 + 1} = \sqrt{2} \quad \lim_{\omega \rightarrow \frac{1}{R_1 C}} |T| = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{R_0}{R_1}$$

$$\therefore \omega_c^2 R_1^2 C^2 = 1$$
$$\Rightarrow \omega_c = \frac{1}{R_1 C}$$

así ya sabes la atenuación cuando ω_c ~~mayor~~
 a $f_c = 1 \text{ kHz}$

$$\therefore \text{si } \omega_c = \frac{1}{R_1 C}$$

$$\text{Don } \omega_c < \frac{1}{R_1 C} \text{ pero } |T| = 1$$

$$\text{si } \omega_c < \frac{1}{R_1 C} \rightarrow \omega_c R_1 C < 1$$

$$\therefore |T| = \varepsilon(\omega) \frac{R_0}{R_1} = 1$$

si $\omega_c > \frac{1}{R_1 C}$ está atenuación

$$\therefore R_1 = \varepsilon(\omega) R_0$$

$$R_1 = \frac{1}{2\pi f_c C} \quad \text{y} \quad R_1 = R_0 + \varepsilon(\omega)$$

atenuado $\omega < \omega_c \rightarrow R_1 \approx R_0$

$$\therefore R_1 = \frac{1}{2000\pi C}$$



Por lo tanto, se seleccionó un resistor comercial cercano de 330 para construir el circuito.

Resultados

Tras la implementación del circuito y la conexión con el generador de funciones y el osciloscopio, se analizaron las respuestas del sistema para distintas frecuencias.

Análisis del comportamiento de la señal de salida

- A bajas frecuencias ($< 1\text{kHz}$): La señal de salida se mantiene con una amplitud similar a la de entrada y sin un desfase significativo.
- A la frecuencia de corte (1kHz): Se observa una atenuación del 70.7% de la amplitud de la señal de entrada (-3dB), además de un desfase de aproximadamente -45° .
- A altas frecuencias ($> 1\text{kHz}$): Se evidencia una disminución progresiva en la amplitud de la señal de salida, con un comportamiento asintótico y un desfase cercano a -90° , lo que es característico de un circuito integrador.

La disminución de la amplitud ocurre porque el capacitor presenta una impedancia inversamente proporcional a la frecuencia, lo que provoca que la realimentación negativa aumente a medida que la frecuencia se incrementa, reduciendo la ganancia del circuito. En cuanto al desfase, este se debe a la naturaleza de la respuesta en frecuencia del filtro: a bajas frecuencias, la salida sigue la entrada con poca alteración, mientras que a frecuencias más altas, la contribución capacitiva domina y provoca un retraso de fase progresivo. La frecuencia de la señal se mantiene, ya que el circuito no introduce distorsión en la forma de onda, sino que solo modifica la amplitud y el desfase de la señal.

El comportamiento del circuito confirma su función como filtro pasa bajas, permitiendo el paso de señales de baja frecuencia y atenuando progresivamente las altas frecuencias. Además, el desfase experimentado por la señal de salida es consistente con la respuesta en frecuencia de este tipo de filtros, donde la fase tiende a -90° en altas frecuencias, indicando su propiedad de integrador.

Video de los resultados: <https://youtu.be/iOUKdWBZdmE>

Conclusión



El circuito analizado corresponde a un filtro pasabajas de primer orden, cuya función de transferencia se determinó teóricamente y se verificó experimentalmente. Se comprobó que el circuito atenúa las señales de alta frecuencia, permitiendo el paso de frecuencias bajas sin alteraciones significativas.

Los valores de los componentes fueron calculados para obtener una frecuencia de corte de 1 kHz, lo que se validó mediante la medición de la respuesta en frecuencia. Los resultados experimentales mostraron una atenuación progresiva de la señal de salida conforme la frecuencia aumentó, acompañado de un desfase característico de un filtro pasabajas.

El comportamiento observado reafirma la utilidad de estos filtros en aplicaciones de procesamiento de señales analógicas antes de su conversión a digital, permitiendo eliminar ruido o componentes de alta frecuencia no deseados. Adicionalmente, se evidenció la propiedad de este circuito como un integrador en altas frecuencias, lo que puede ser aprovechado en sistemas de control y modulación de señales.

Referencias

1. Schaumann, R., Van Valkenburg, M. E., & Ghausi, M. S. (2010). *Design of Analog Filters*. Oxford University Press.
2. Mitra, S. K. (2010). *Digital Signal Processing: A Computer-Based Approach* (4th ed.). McGraw-Hill.
3. Kuo, B. C., & Golnaraghi, F. (2014). *Automatic Control Systems* (9th ed.). Wiley.