

19 de Noviembre

TRABAJO PRÁCTICO

Diseño y análisis de un filtro Pasa Altos

98934 Vazquez, Rodrigo rodrigomarianovazquez@gmail.com

Resumen

El siguiente informe corresponde al proceso de diseño, armado y análisis de un filtro *Pasa Altos* a partir de una transferencia dada. Notando que la misma se corresponde con la configuración *Infinite Gain*.

Desarrollo

En esta sección se podrán observar los pasos para el diseño del filtro y el detalle de los cálculos empleados para lograr el comportamiento requerido, junto con las pruebas y respuestas en frecuencia pedidas.

Problema a resolver

El filtro a diseñar vino dado por la siguiente ecuación de transferencia.

$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + 3510s + 1,004 \times 10^7} \quad (1)$$

Esta transferencia es la número 4, de la lista provista en clase. Por la forma de la ecuación, se observa que se trata de un filtro del tipo *Pasa Altos*. Esto es, haciendo límite con $s \rightarrow +\infty$, resulta una amplificación de 0 dB y se tiene una atenuación infinita para $s \rightarrow -\infty$.

Diseño del filtro

Se identificaron los parámetros de la transferencia del filtro a partir de la forma de Bode vista en clase.

$$H(s) = H_0 \frac{s^2}{s^2 + s \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2} \quad (2)$$

De la consigna se obtiene que la frecuencia de corte es $\omega_0 = \sqrt{1,004 \times 10^7} = 3169$, por lo que $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 504$ Hz. Con este dato, encontramos que $Q = \frac{\omega_0}{3510} = 0,902$.

Además, la transferencia tiene un cero doble en $C_0 = 0$ y polos complejos conjugados en $p_{0,1} = -1755 \pm j 2638$. La forma compleja de los polos es coherente al tener $Q > 0,5$. Por último, $H_0 = 1$ ya que no hay amplificación superada la frecuencia de corte.

Diagramas de Bode

Para la transferencia hallada, se realizaron los diagramas de Bode en el software **Matlab** de cálculo numérico. Definiendo a s como una variable de transferencia y con la función `bode()` se obtuvo la siguiente figura

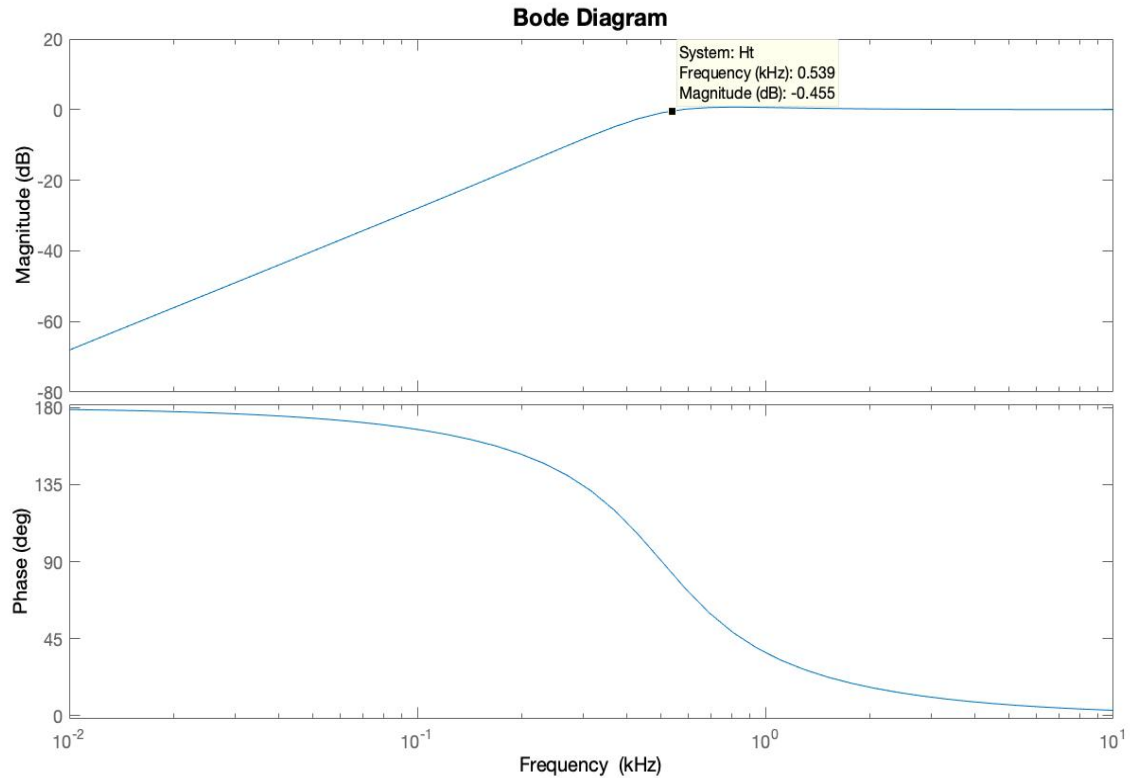


Figura 1: Diagrama de Bode teórico en Matlab

Se puede apreciar el comportamiento de *Pasa Altos* y también que está aplicado a la frecuencia correcta (~ 500 Hz). Luego viendo el nivel de amplificación para las altas frecuencias, se observa un nivel de 0 dB, lo cual coincide con el esperado.

Respuesta del filtro teórico a distintas señales

Luego del diagrama de Bode, se realizaron gráficos donde se muestran qué salida tiene el filtro dada una señal de entrada como: *escalón*, *impulso* y *cuadrada*.

Para la respuesta a la señal cuadrada, se eligieron también, 3 frecuencias acordes, $f_1 = \frac{f_0}{10} = 50,4$ Hz, $f_2 = f_0 = 504$ Hz, $f_3 = 10 \cdot f_0 = 5,04$ kHz. Se lograron los siguientes resultados.

Se puede observar que se logra un nivel de tensión estable cerca de los 6 ms, además, se ve que el valor al que estabiliza es 3 V, que es acorde a la amplificación de 3 veces o 9,54 dB.

Aquí se observa que existe mucha más variación de tensión en el transitorio hasta los 3 V, que se alcanzan en 5 ms.

Se observa que la señal representada con color azul es la salida y el color gris es la señal de entrada. Notar la amplificación a 3 V y que la señal no sufre atenuación visible, resultado esperable para esta frecuencia.

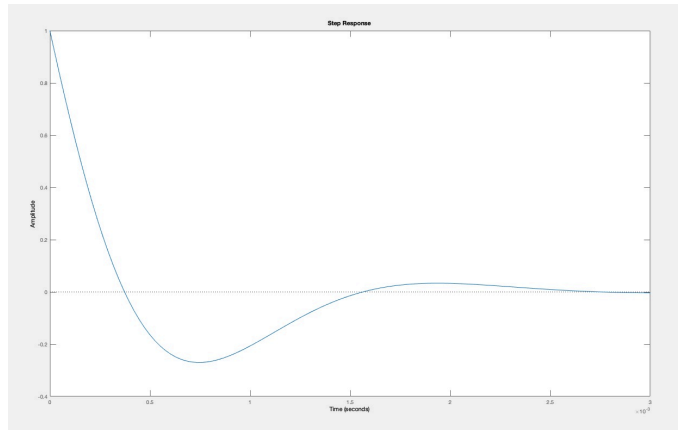


Figura 2: Respuesta al escalón.

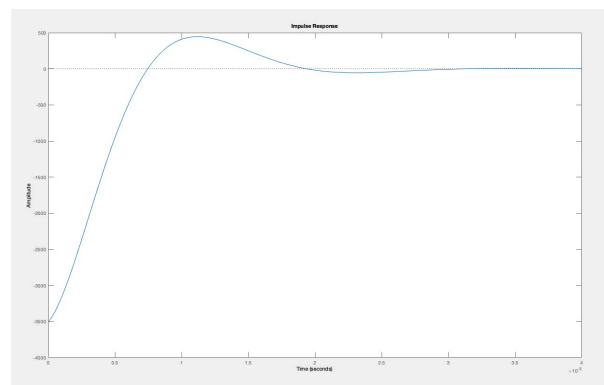


Figura 3: Respuesta al impulso.

Aquí observamos que la salida sufre una gran atenuación luego del transitorio, tanto que se puede considerar como de amplitud nula. Aquí se ve claramente el efecto de *elimina-banda*, donde el filtro se encarga de que la señal no tenga amplitud apreciable si su frecuencia es de 1 kHz. Como último comentario, la atenuación es total dado que la entrada es de tipo senoidal y estas funciones no están compuestas por otras de distinta frecuencia, como si es el caso en señales triangulares o cuadradas.

En esta respuesta, se ve un efecto similar a la respuesta a la senoidal de 10 Hz, donde se ve un nivel de amplificación hasta los 3 V y la señal no sufre atenuación visible.

Se observa la salida a una señal cuadrada de 100 Hz, notar que el circuito responde muy similar al escalón, esto se debe a la baja frecuencia de esta señal, que tiene un período mucho más bajo que el tiempo característico del circuito.

En esta salida se observa una variación en la salida cada vez más grande a medida que el tiempo avanza, con características de oscilación muy predominantes.

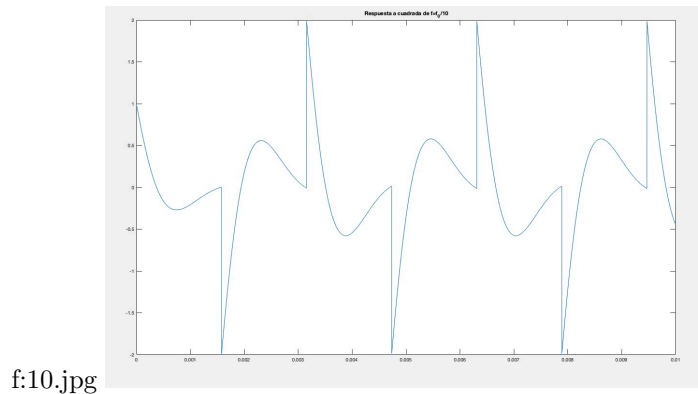


Figura 4: Respuesta a una señal senoidal de 10 Hz

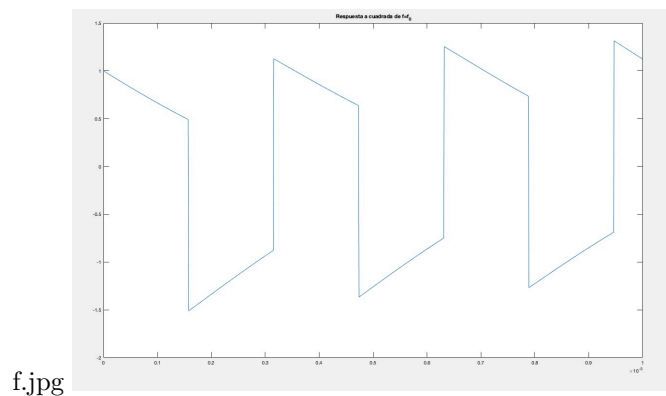


Figura 5: Respuesta a una señal senoidal de 1 kHz

10f.png 10f.pdf 10f.jpg 10f.jpeg 10f.bmp 10f.tiff 10f.tif 10f.gif 10f.eps 10f.ps 10f.eps.gz 10f.ps.gz 10f.eps.Z

Figura 6: Respuesta a una señal senoidal de 100 kHz

Aquí se observa que la salida es menos oscilante que la anterior (sin considerar la naturaleza oscilatoria de la señal de entrada) y que presenta una distorsión leve en cada semiciclo.

Circuito

Se utilizó el siguiente circuito:

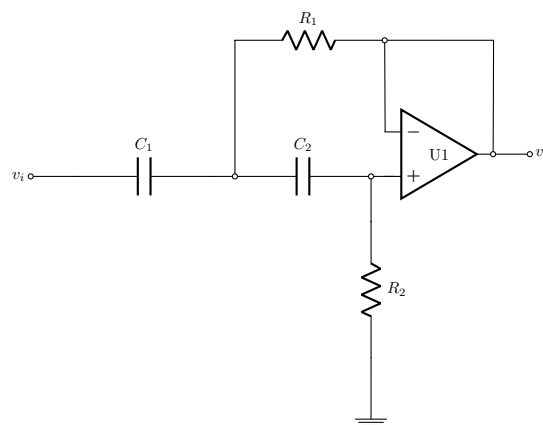


Figura 10: Circuito de filtro Pasa Alto

Figura 7: Respuesta a una señal senoidal de 100 Hz

Figura 8: Respuesta a una señal senoidal de 1 kHz

Aplicando el método de *Nodos* se llega a la siguiente transferencia

$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + s \frac{(C_1 R_1 + C_2 R_1)}{C_1 C_2 R_1 R_2} + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}} \quad (3)$$

Para elegir los componentes decidí fijar $C := C_1 = C_2$ y dejar R_1 y R_2 a determinar, dado que por la forma matemática de la transferencia, no es posible dejar ambos valores de resistencias iguales. Resulta entonces la siguiente transferencia, simplificada

$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + s \frac{2}{C R_2} + \frac{1}{C^2 R_1 R_2}} \quad (4)$$

Dadas las ecuaciones

$$\frac{1}{C^2 R_1 R_2} = 1,004 \times 10^7 \quad (5)$$

$$\frac{2}{C R_2} = 3510 \quad (6)$$

Resultan $R_1 = 5,3 \text{ k}\Omega$ y $R_2 = 17,27 \text{ k}\Omega$, fijando $C = 33 \text{ nF}$. Por lo cual, se decidió que para armar el circuito, se utilizarían valores comerciales $R_1^C = 4,7 \text{ k}\Omega$ y para R_2^C se utilizarían dos resistores de $10 \text{ k}\Omega$ en serie, para minimizar el error en la frecuencia de corte y en factor de selectividad.

Circuito real

Simulación

Para verificar que el funcionamiento del circuito sea el esperado, se utilizó el software de simulación *LTSpice* con los componentes de valores comerciales.

Se utilizó la directiva `.ac dec 100 1 1000000` para variar la frecuencia de la fuente de entrada V_{in} desde 1 Hz hasta 100 kHz. Luego se importó la biblioteca *TL081* para el operacional. Produciendo el siguiente resultado.

Respuesta de la simulación a distintas señales

Figura 9: Respuesta a una señal senoidal de 100 kHz

Figura 11: Círculo simulado