



Circuitos y Sistemas Lineales - Curso 2023

TP Nº 6. Síntesis de Filtros Pasivos RC y LC



Sugerencia: Dado que el objetivo de los Trabajos Prácticos es utilizar los conceptos teóricos vistos para resolver problemas, se sugiere leer con detenimiento cada propuesta y contestar cada punto sin presuponer temas o asuntos conocidos, de forma que toda afirmación o decisión de opciones sea justificada. Esta sugerencia pretende ayudar a reafirmar conocimientos y a organizar la resolución de los ejercicios.

Ejercicio 1

Un filtro *pasa bajos RC* de primer orden se conforma por una resistencia de $47\text{ k}\Omega$ y un capacitor de 47 nF .

- a) Determinar la frecuencia de corte de 3 dB.
- b) Si se conecta una fuente de tensión sinusoidal de 10V a la entrada del filtro, calcular la tensión de salida si:
 - b1. La frecuencia del generador es de 100 Hz.
 - b2. La frecuencia del generador es de 10 kHz.

Ejercicio 2

Diseñar un filtro *pasa banda RC* en configuración elemental con banda de paso centrada en $f_0=25\text{ kHz}$. Adoptar valores comerciales para los componentes.

Ejercicio 3

Se requiere sintetizar un filtro *supresor de banda RC* en configuración T puenteada con banda de supresión centrada en $f_0=1\text{ kHz}$. A partir de simulaciones realizadas previamente, se determinó que en este caso utilizando $\alpha = 10$ se obtiene una selectividad adecuada.

Diseñar el filtro correspondiente, utilizando valores comerciales de los componentes.

Ejercicio 4

Diseñar un cuadripolo cuya relación $|U_2/U_{20}|$ se corresponda con un filtro *pasa bajos Butterworth* que satisfaga las siguientes especificaciones:

$$R_g = R_c = 600\ \Omega, \quad f_c = 2\text{ kHz}, \quad \text{Atenuación a } 20\text{ kHz} > 35\text{ dB}.$$

Ejercicio 5

Diseñar un cuadripolo tal que la relación $|U_2/U_g|$ se corresponda con un filtro *pasa banda Butterworth* que satisfaga las siguientes especificaciones: $R_g = R_c = 50\ \Omega$, $f_0 = 10\text{ MHz}$ y las siguientes características de atenuación (respecto a f_0):

$$\text{Atenuación} < 0,2\text{ dB} \quad \text{para } \Delta f_1 = 200\text{ kHz}$$

$$\text{Atenuación} > 6\text{ dB} \quad \text{para } \Delta f_2 = 400\text{ kHz}$$

$$\text{Atenuación} > 60\text{ dB} \quad \text{para } \Delta f_3 = 2\text{ MHz}$$

Ejercicio 6

Diseñar un filtro *pasa bajos* para ser alimentado por un generador de resistencia $R_g=75\ \Omega$ y cargado con una resistencia $R_c=300\ \Omega$. La relación $|U_2/U_{20}|$ debe responder a la aproximación de *Chebyshev*. En la banda de paso, hasta la pulsación angular $\omega_B=100\text{ krad/s}$, el rizado no debe superar los 1,34 dB y se requiere que la atenuación a 300 krad/s sea mayor a 20 dB y una década por encima de ω_B sea mayor a 60 dB.

Ejercicio 7

Diseñar un filtro *pasa altos* que estará alimentado por un generador de resistencia $R_1=50\ \Omega$ y cargado con una resistencia $R_2=300\ \Omega$.

La relación $|U_2/U_{20}|$ debe responder a la aproximación de *Chebyshev*, no debiendo apartarse en más de 1,4 dB respecto de su valor para frecuencias muy elevadas en el intervalo $f \geq f_c$ siendo f_c 5 MHz.

Se requiere que la atenuación a 2 MHz sea mayor a 30 dB.

Ejercicio 8

Se requiere diseñar un filtro *pasa banda* aplicando la aproximación a la amplitud de *Chebyshev* a la relación $|U_2/U_g|$, para cumplir con las siguientes especificaciones:

- El filtro estará alimentado por un generador de tensión U_g de resistencia interna $R_G=50\ \Omega$ y cargado con una resistencia $R_L=300\ \Omega$.
- La frecuencia central de la banda de paso es $f_0=480\ \text{kHz}$.
- La atenuación en un ancho de banda $\Delta f = 40\ \text{kHz}$, que se corresponde con la banda pasante del filtro, debe ser menor que 0,17 dB.
- A la frecuencia 410 kHz la atenuación debe ser mayor que 25 dB.



Sugerencia: Dado que el objetivo de los Trabajos Prácticos es utilizar los conceptos teóricos vistos para resolver problemas, se sugiere leer con detenimiento cada propuesta y contestar cada punto sin presuponer temas o asuntos conocidos, de forma que toda afirmación o decisión de opciones sea justificada. Esta sugerencia pretende ayudar a reafirmar conocimientos y a organizar la resolución de los ejercicios.

Ejercicio 1

- Diseñar un filtro *pasa bajos* activo de primer orden con frecuencia de corte cercana a 72 kHz, sabiendo que solo se dispone de amplificadores operacionales, resistencias de 1k Ω y 10 k Ω y capacitores de 2,2 nF y 4,7nF.
- Diseñar con los mismos elementos, un filtro activo de primer orden cuya atenuación en una frecuencia cercana a 72 kHz sea mayor o igual a 6dB.

Ejercicio 2

Diseñar un filtro *pasa altos* activo de primer orden con frecuencia de corte 10 kHz.

Ejercicio 3

Diseñar un filtro *pasa banda* activo con banda de paso centrada en $f_0=25$ kHz y ancho de banda de 3dB de 10 kHz, utilizando celdas de primer orden.

Ejercicio 4

Diseñar un filtro *pasa bajos* activo de Butterworth con una frecuencia de corte $f_c=10$ kHz y una atenuación mínima de 36 dB a $f=100$ kHz.

- Calcular el orden del filtro y represente el circuito en el dominio normalizado usando topología Sallen-Key.
- Representar el circuito real indicando los valores de cada componente, logrando que el mayor número posible de resistencias tenga un valor de 1 k Ω .
- Calcular las ganancias (en términos absolutos) del circuito real y las atenuaciones (en términos relativos a la ganancia DC – es decir, la atenuación en DC es 0 dB) para las frecuencias indicadas en la tabla.

f [kHz]	G [dB]	A [dB]
0		
10		
100		

Ejercicio 5

Diseñar un filtro *pasa bajos* de Butterworth activo con frecuencia de corte $f_c=18$ kHz y una atenuación mínima de $A_{min}=40$ dB a la frecuencia de 100 kHz.

- Calcular el orden de la función de transferencia del filtro y la atenuación a la frecuencia de 100 kHz, si se utiliza topología Sallen-Key.
- Diseñar el filtro.
- Diseñar el filtro real utilizando el mayor número de resistencias de 10 k Ω .

Ejercicio 6

Diseñar un filtro *pasa bajos* de Butterworth activo con frecuencia de corte $f_c=2$ kHz y atenuación de al menos 43 dB a $f_H=7$ kHz. Utilizar el mayor número de resistencias de 10 k Ω y de etapas Sallen-Key. Calcular la ganancia DC y la ganancia a las frecuencias de 2 y 7 kHz.

Ejercicio 7

Diseñar un filtro Butterworth *pasa banda* activo con topología Sallen Key para cumplir con las siguientes especificaciones:

- Frecuencia central de la banda de paso $f_0 = 50$ kHz.
- Para un ancho de banda $\Delta f = 4$ kHz centrado en f_0 , la relación $|U_2/U_1|$ no debe apartarse en más de 1,4 dB respecto de su valor para f_0 .
- Para la frecuencia 65 kHz la atenuación debe ser ≥ 25 dB.

Ejercicio 8

Se desea diseñar un filtro *pasa banda* activo con frecuencias de corte de $f_B=100$ Hz y $f_H=20$ kHz mediante la disposición en cascada de un *pasa altos* de segundo orden y un *pasa bajos* de segundo orden (Sallen-Key), ambos con función de transferencia de Butterworth. En el diseño se debe emplear el mayor número posible de resistencias de $1\text{ k}\Omega$.

- a) Dibujar la etapa *pasa altos* indicando el valor de las resistencias y capacitores e indicar el valor de los factores de normalización y determinar la ganancia a muy altas frecuencias del circuito Sallen-Key.
- b) Dibujar la etapa *pasa bajos* indicando el valor de las resistencias y capacitores, indicar el valor de los factores de normalización y determinar la ganancia a bajas frecuencias del circuito Sallen-Key.

Ejercicio 9

Realizar el análisis de sensibilidad respecto a R_2 para el filtro diseñado en el Ejercicio 4.

Ejercicio 10

Realizar el análisis de sensibilidad respecto a R_1 para el filtro diseñado en el Ejercicio 8.



Sugerencia: Dado que el objetivo de los Trabajos Prácticos es utilizar los conceptos teóricos vistos para resolver problemas, se sugiere leer con detenimiento cada propuesta y contestar cada punto sin presuponer temas o asuntos conocidos, de forma que toda afirmación o decisión de opciones sea justificada. Esta sugerencia pretende ayudar a reafirmar conocimientos y a organizar la resolución de los ejercicios.

Ejercicio 1

Obtener la respuesta al impulso de un filtro *pasa bajos* digital ideal con frecuencia de muestreo 10 kHz, de desfase nulo y cuya banda de paso es 2.5 kHz.

Ejercicio 2

Obtener la secuencia de ponderación de un filtro *pasa altos* digital ideal con frecuencia de muestreo 16 kHz y cuya banda pasante inicia en 1 kHz.

Ejercicio 3

Diseñar un filtro *pasa banda* digital ideal cuya banda de paso se encuentra entre 1 kHz y 5 kHz, siendo la frecuencia de muestreo 20 kHz.

Ejercicio 4

Diseñar un filtro FIR *pasa bajos* que cumpla las siguientes especificaciones:

- Frecuencia de muestreo: 12 kHz
- Frecuencia de corte: 3,6 kHz
- Banda de atenuación: 4,8 kHz
- Atenuación en la banda de atenuación: > 13 dB

Obtener los coeficientes del filtro.

Ejercicio 5

Diseñar un filtro FIR *pasa altos* que cumpla las siguientes especificaciones:

- Frecuencia de muestreo: 20 kHz
- Atenuación menor a 0.1 dB para frecuencias mayores a 7,5 kHz
- Atenuación mayor a 50 dB para frecuencias menores a 6,5 kHz

Utilizar una ventana apropiada.

Ejercicio 6

Un sistema de adquisición de señales biológicas emplea una frecuencia de muestreo de 250 Hz. Se pretende diseñar un filtro de fase lineal que atenúe una perturbación de frecuencia $50 \text{ Hz} \pm 5 \text{ Hz}$ al menos 40 dB en el rango indicado. Se requiere también que, a frecuencias menores a 30 Hz y mayores a 70 Hz, la atenuación no supere 0,01 dB

a) Dibujar la respuesta ideal del filtro.

b) Escribir las ecuaciones de la respuesta al impulso del filtro FIR.

Ejercicio 7

Diseñar un filtro *pasa banda* para cumplir con las siguientes especificaciones:

- Banda de paso entre 12 kHz y 18 kHz: ondulación de la banda de paso no mayor a 0,1 dB.
- Bandas de transición de 9-12 kHz y de 18-24 kHz.
- Atenuación mínima de la banda de rechazo: 40 dB.

La frecuencia de muestreo es de 60 kHz.

Ejercicio 8

Una de las técnicas de diseño de filtros IIR es la Transformación Bilineal (TB).

- En qué se basa la función de mapeo s a z en el caso de la TB?
- Cuáles son las principales ventajas y desventajas?
- Cómo se encuentra la respuesta del sistema a partir de $H(s)$?

Ejercicio 9

Se pretende diseñar un filtro digital cuya transferencia se aproxime a la siguiente función transferencia normalizada:

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}$$

Utilizar el método de respuesta al impulso invariante para obtener la función transferencia $H(z)$ del filtro digital, considerando una frecuencia de corte de 3 dB de 150 Hz y una frecuencia de muestreo $f_s = 1,28$ kHz.

Ejercicio 10

Mediante el método de respuesta al impulso invariante, diseñar un filtro digital Butterworth *pasa bajos* que satisfaga las siguientes especificaciones:

- Frecuencia de muestreo: 10 kHz
- Atenuación < 1 dB para frecuencias menores a 1250 Hz
- Atenuación > 9 dB para frecuencias mayores a 3000 Hz

Ejercicio 11

Se requiere sintetizar un filtro *pasa altos* IIR, utilizando la aproximación de Butterworth a la característica de amplitud para la relación $|U_2/U_{20}|$ y que cumpla con las siguientes especificaciones:

- Frecuencia de muestreo: 10 kHz
- Para la frecuencia 50 Hz, la atenuación debe ser ≥ 40 dB.
- Para la frecuencia 800 Hz, la atenuación debe ser ≤ 3 dB.

Ejercicio 12

Se necesitan procesar señales de audio de una fuente cuya información se encuentra entre los 2000 y 3000 Hz. Dicha fuente se encuentra inmersa en un ambiente industrial, por lo que la interferencia de frecuencia industrial (50 Hz) tiene gran predominancia. Se desea diseñar, entonces, un filtro de Butterworth digital *pasa banda* con frecuencias de -3 dB de 2000 Hz y 3000 Hz utilizando una frecuencia de muestreo $f_s = 8000$ Hz. A su vez, la atenuación de la frecuencia industrial debe ser mayor a 70 dB.

Suponer que el muestreo se realiza con un filtro anti-aliasing lo suficientemente bueno como para que el criterio de Nyquist se cumpla correctamente.

Ejercicio 13

Se requiere sintetizar un filtro *pasa altos* de topología IIR, utilizando la aproximación de *Chebyshev*, que cumpla con las siguientes especificaciones:

- Atenuación > 15 dB en frecuencias menores a 200 Hz
- Atenuación < 0.95 dB para frecuencias mayores a 600 Hz
- Frecuencia de muestreo: 4 kHz.

Ejercicio 14

- Diseñar un filtro FIR *pasa bajos* de orden 10, cuya frecuencia de -6dB es de 2500 Hz y la frecuencia de muestreo es 10 kHz. Utilizar la ventana de Hamming.
- Diseñar un filtro IIR de orden 10 con las mismas características y aproximación de Butterworth.
- Graficar las respuestas de ambos filtros. Evaluar, comparar y analizar las respuestas de módulo y fase.