

Laboratorio CySL

(Parte 1)

1. Introducción

En ciertas aplicaciones como en la electromedicina, donde los niveles de señal que se desean medir son pequeños y las señales de ruido son comparables a estos, es fundamental amplificar la señal deseada y mitigar el efecto del ruido. Es importante destacar que, aunque en el laboratorio se trata a la señal de entrada directamente como la del electrodo, dependiendo de la aplicación, pueden requerirse etapas previas de acondicionamiento de la señal.

2. Filtros supprime-banda analógicos

Los filtros supprime-banda, son usados generalmente para eliminar una cierta frecuencia y no tanto para una banda de frecuencias particular [1].

Para generar la función de transferencia de segundo orden del filtro supprime-banda basta por realizar la transformación de un filtro pasa bajos de primer orden reemplazando

$$s' = \frac{\Delta\Omega}{s + \frac{1}{s}} \quad (1)$$

en

$$T_{LP}(s) = \frac{A_0}{1 + s}$$

obteniéndose

$$T_{LP}(s') = T_{SB}(s) = \frac{A_0(1 + s^2)}{1 + \Delta\Omega s + s^2} \quad .$$

La frecuencia de corte del filtro pasa-bajos es transformada en dos frecuencias, una superior y otra inferior, alrededor de la frecuencia central del filtro de manera similar a lo que ocurre con el filtro pasa-banda. El ancho de banda normalizado queda entonces definido por estas dos frecuencias como

$$\Delta\Omega = \Omega_H - \Omega_L$$

El factor de calidad del filtro se define igual que para un filtro pasa-banda y resulta:

$$Q = \frac{f_c}{B} = \frac{1}{\Delta\Omega}$$

por lo que también podemos escribir la función de transferencia del filtro supprime-banda como

$$T_{SB}(s) = \frac{A_0(1 + s^2)}{1 + \frac{1}{Q}s + s^2} \quad .$$

Dos de los filtros supprime-banda más populares son la topología twin-T y la Wien-Robinson, ambas de segundo orden. Por otro lado, existe una variante de las topologías de Sallen-Ken que resulta en un filtro supprime-banda. A continuación se desarrollarán estas tres topologías supprime-banda.

2.1. Topología Sallen-Key

Esta topología se muestra en la Figura 1.

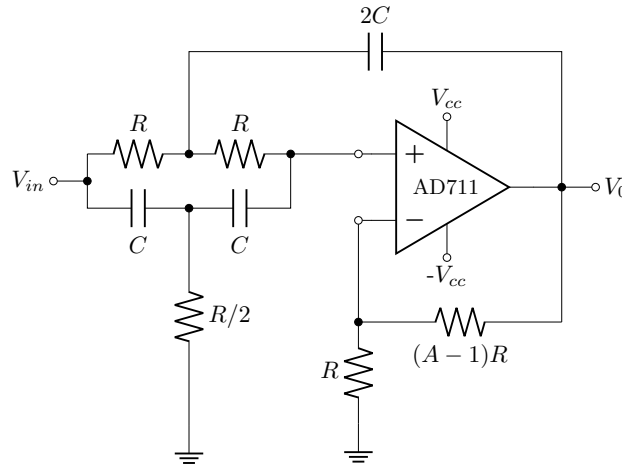


Figura 1: Circuito de la topología Sallen-Key supprime-banda.

La frecuencia suprimida resulta de los valores de R y C como

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

y el factor de calidad y ganancia

$$Q = \frac{1}{4 - 2A} \quad , \quad A = 2 - \frac{1}{2Q} \quad , \quad A_v = A$$

De estas ecuaciones queda de manifiesto que no es posible especificar el factor de calidad y la ganancia del filtro independientemente. En la Figura 2 se puede ver que la ganancia esta acotada al intervalo $[1, 2)$ (gráfica azul) ya que para el resto de ganancias el circuito presenta inestabilidades (gráfica roja para el intervalo $A > 2$) e irrealizable (gráfica roja para el intervalo $A < 1$, resultado de una $R < 0$). El análisis del porque resulta inestable para esas ganancias depende de los lazos de realimentación del circuito y escapa a los objetivos de este laboratorio [2].

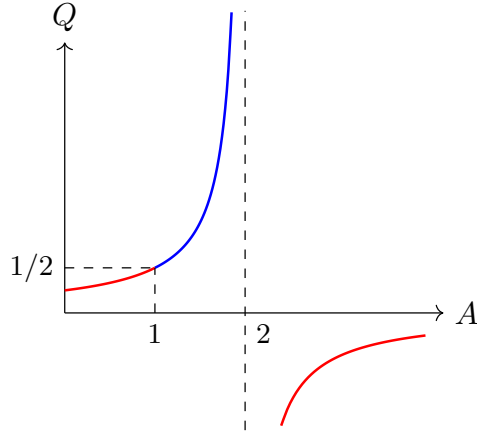


Figura 2: Factor de calidad del filtro en función de la ganancia.

2.2. Topología twin-T

Esta topología se muestra en la Figura 3.

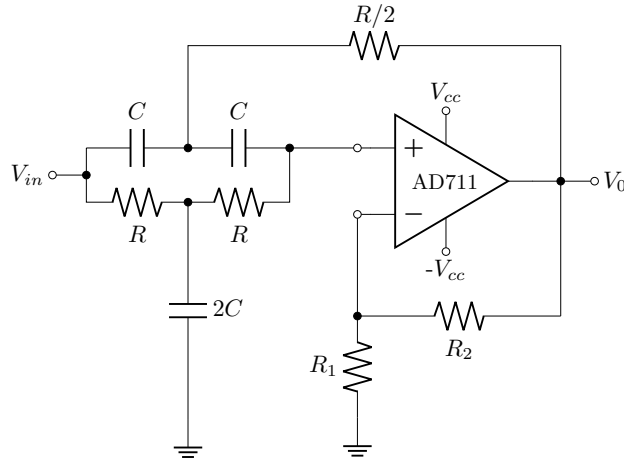


Figura 3: Circuito de la topología twin-T.

Como puede observarse, la topología Sallen-Key y la twin-T son similares por lo que la frecuencia suprimida resulta también de los valores de R y C como

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

y el factor de calidad y ganancia

$$Q = \frac{1}{4 - 2A} \quad , \quad A = 2 - \frac{1}{2Q} \quad , \quad A_v = A \quad , \quad A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Debido a las similitudes de la topología Sallen-key con la twin-T, el intervalo de ganancias resulta el mismo que para la topología Sallen-key por los motivos antes mencionados.

2.3. Topología Wien-Robinson

La función de transferencia de esta topología esta dada por:

$$T(s) = -\frac{\frac{\beta}{1+\alpha}(1+s^2)}{1+\frac{3}{1+\alpha}s+s^2} \quad \text{donde} \quad \alpha = \frac{R_2}{R_3} \quad \text{y} \quad \beta = \frac{R_2}{R_4}$$

En la Figura 4 se muestra el circuito de esta topología.

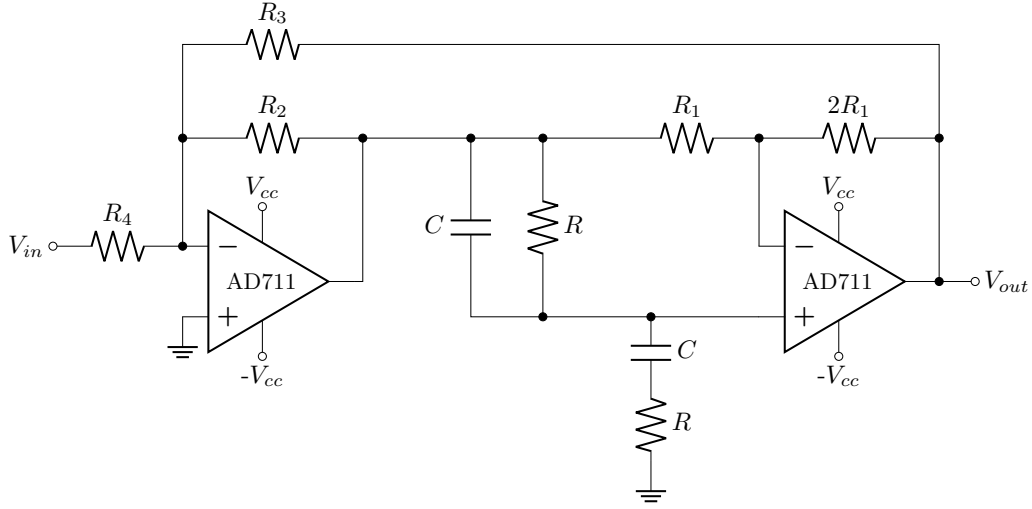


Figura 4: Circuito de la topología Wien-Robinson.

La frecuencia suprimida resulta como

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

y la ganancia y el factor de rechazo como

$$Q = \frac{1+\alpha}{3} \quad \text{y} \quad A = -\frac{\beta}{1+\alpha}$$

Como se puede observar, la topología Wien-Robinson permite fijar idependientemente los valores de ganancia y factor de rechazo. Si f_c no es completamente suprimida debido a las tolerancias de R y C , esta topología permite ajustar el resistor $2R_1$ de manera de hacer un ajuste fino a la frecuencia de resonancia del filtro.

Una forma de proceder para calcular este filtro es definir f_c y C y calcular R como

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

luego, se especifica Q y A y calculan α y β :

$$\alpha = 3Q - 1$$

$$\beta = A3Q$$

y finalmente, definiendo R_2 podemos calcular los valores de R_3 y R_4 :

$$R_3 = \frac{R_2}{\alpha}$$

$$R_4 = \frac{R_2}{\beta}$$

2.4. Comparación de topologías

Las tres topologías de filtros supprime-banda fueron simuladas en LTSpice buscándose obtener $A = 1$ y $Q = 10$. Para las topologías donde no fue posible obtener los dos valores se priorizó cumplir con la ganancia. Los datos de la transferencia del filtro (magnitud en dB y fase en grados) fueron exportados en `txt` y acondicionados para poder graficarse con Matlab. A continuación se muestra el código de acondicionamiento de los datos.

```
1 % Los Datos son guardados de la siguiente manera:
2 % 50.0000      (20.0000dB,48.0000°)
3 %(Numeros a modo de ejemplo)
4
5 % Adaptacion de datos:
6 % cd nos pone el la carpeta donde estan los archivos a leer
7 cd("C:\Users\Admin\Documents\Catedras\CySL")
8 % Abre un archivo de texto y le asigna un handler
9 file=fopen("Transf_exportada.txt");
10 Head=textscan(file,'%s',2); % Lee el encabezado del archivo
11 % Lee el texto tomandolo como delimitadores las unidades,tab y espacios.
12 Data=textscan(file,'%s%s%s','Delimiter','\t(dB,°)', ...
13 'MultipleDelimsAsOne',1);
14 fclose(file); % Cierra el archivo
15 % Transforma el texto a numero y lo convierte a vector para poder operar
16 Data_formatted = cell2mat(cellfun(@str2double,Data,'UniformOutput',0));
17 % Grafica dB vs Frec
18 p=semilogx(Data_formatted(:,1),2*Data_formatted(:,2),'linewidth',2);
19 axis([-inf inf -inf inf]) % Ajusta el rango de los ejes a la grafica
20 xlabel("Frecuencia - [Hz]","interpreter','Latex');
21 ylabel("$|T(s)| - [dB]","interpreter','Latex');
```

Los resultados obtenidos pueden observarse en la Figura 5.

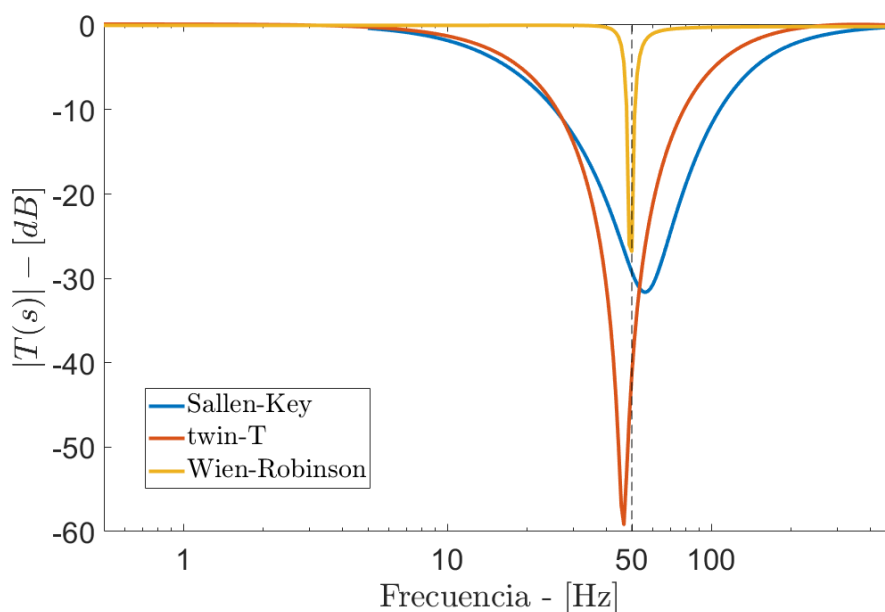


Figura 5: $|T(s)|$ para distintas topologías de filtro supprime-banda.

Por simple inspección podemos ver la ventaja de la topología Wien-Robinson frente a las otras dos, ya que podemos fijar tanto el factor de calidad del filtro como la ganancia. Para la aplicación planteada, esta topología es la más adecuada, dado que queremos suprimir el ruido de línea perturbando lo menos posible la señal de los electrodos.

Para otro tipo de aplicaciones, donde es más importante suprimir una cierta frecuencia sin importar tanto el factor de calidad del filtro, la topología twin-T es la más adecuada debido a que es menos compleja que la Wien-Robinson y responde mejor que la Sallen-Key.

Bibliografía

- [1] Thomas Kugelstadt - Texas Instruments. "Active Filter Design Techniques". En: *Op Amps for Everyone*. Literature Number: SLOD006A, págs. 16.1-16.64.
- [2] Bonnie C. Baker. "Stop-band limitations of the Sallen-Key low-pass filter". En: (2008). URL: <https://www.ti.com/lit/an/slyt306/slyt306.pdf?ts=1638841178877>.