Trabajo Práctico de Laboratorio 1

Teoría moderna y filtrado activo

• Datos de la plantilla de diseño:

Filtro	Tipo de filtro	Frecuencia a eliminar	Ancho de banda @ 3dB
F	Notch	50 Hz	10 Hz

• Función transferencia de un filtro notch:

$$T_N(s) = \frac{s^2 + \omega_0^2}{s^2 + s\frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2} = \underbrace{\frac{s^2}{s^2 + s\frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}}_{T_{HP}(s)} + \underbrace{\frac{\omega_0^2}{s^2 + s\frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}}_{T_{LP}(s)}$$

* Se puede observar que sumando las funciones transferencia de un filtro pasa bajos y otro pasa altos, se obtiene la transferencia de un filtro notch de 2do orden.

El circuito integrado a utilizar en este trabajo es el UAF42, el cual es un filtro activo universal que cuenta con salidas LPF, BPF y HPF. Además, cuenta con un OPAMP extra disponible para el usuario.

Por lo tanto, para implementar la transferencia de un filtro notch se tomarán las salidas disponibles del LPF y HPF y se las sumará con un OPAMP en configuración sumador (el OPAMP libre interno del C.I.), tal como se desarrolló anteriormente.

Datos: $f_0 = 50\,Hz$ $\quad B_W = 10\,Hz$

$$\omega_0 = 2\pi \cdot 50Hz = 100\pi \ rad/seg$$

$$Q = \frac{f_0}{BW_{Hz}} = \frac{\omega_0}{BW_{rad}} = \frac{2\pi \cdot 50Hz}{2\pi \cdot 10Hz} = \boxed{5}$$

- De la hoja de datos del fabricante (Texas Instrument), se extraen las siguientes ecuaciones de diseño para el filtro:

$$\omega_0^2 = \frac{R_2}{R_1 R_{F_1} R_{F_2} C_1 C_2} \quad ; \quad \text{Donde} \quad \underbrace{\begin{matrix} R_1 = R_2 = 50\,k\Omega & \pm 0.5\,\% = R \\ C_1 = C_2 = 1\,nF & \pm 0.5\,\% = C \end{matrix}}_{\text{componentes ya integrados dentro del chip del C.I.}}$$

$$\omega_0^2 = \frac{R}{R\, R_{F_1} R_{F_2}\, C\, C}$$

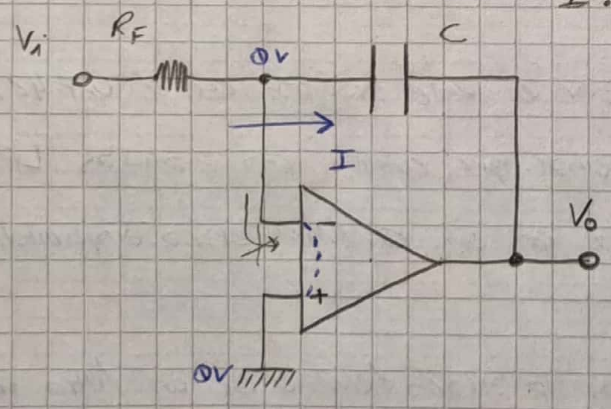
$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_{F_1} R_{F_2} C^2} \quad ; \quad \text{Arbitrariamente elegimos } R_{F_1} = R_{F_2} = R_F$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_F^2 C^2} \longrightarrow \omega_0 = \frac{1}{R_F C} \quad ; \quad \begin{matrix} \omega_0 = 100\pi \ \text{rad/s} \\ C = 1\,nF \end{matrix}$$

$$R_F = \frac{1}{\omega_0 \cdot C} = \frac{1}{100\pi \ \text{rad/s} \cdot 1\,nF} \cong 3{,}183\ M\Omega$$

- Debido a que el valor de R_F obtenido es demasiado grande, se buscará cambiar un poco la estructura del filtro con el objetivo de disminuir el valor de resistencia a utilizar.

* Estructura actual:

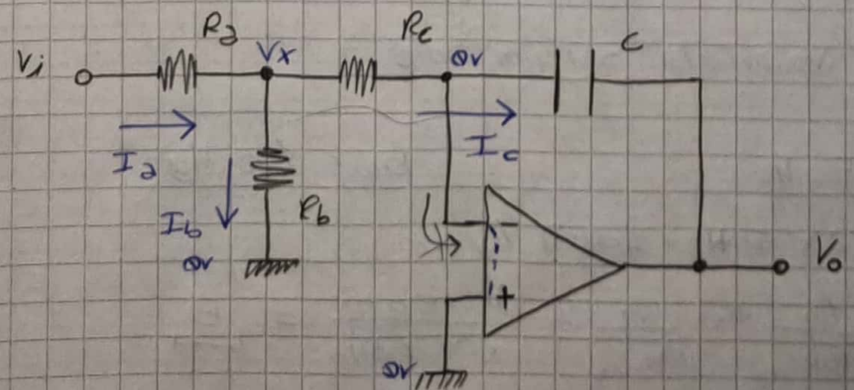


$$I: \frac{(V_i - 0V)}{R_F} = (0V - V_o)\cdot SC$$

$$\frac{V_i}{R_F} = -V_o \cdot SC$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{1}{S R_F C}$$

* Estructura propuesta, donde se reemplaza R_F por una "T" conformada por resistores:



$I_c: \dfrac{(V_x - 0V)}{R_c} = (0V - V_o) \cdot SC \rightarrow \dfrac{V_x}{R_c} = -V_o \cdot SC$

suma de corrientes en nodo V_x: $V_x = -V_o \cdot S R_c C$ //

$I_a = I_b + I_c$

$\dfrac{(V_i - V_x)}{R_a} = \dfrac{(V_x - 0V)}{R_b} + \dfrac{(V_x - 0V)}{R_c} \; ; \; \dfrac{V_i}{R_a} - \dfrac{V_x}{R_a} = \dfrac{V_x}{R_b} + \dfrac{V_x}{R_c}$

$\dfrac{V_i}{R_a} = V_x \cdot \left(\dfrac{1}{R_a} + \dfrac{1}{R_b} + \dfrac{1}{R_c} \right) \; ; \; V_x = -V_o \cdot S R_c C$

$V_i = -V_o \cdot S \cancel{R_a} R_c C \cdot \left(\dfrac{R_b R_c + R_a R_c + R_a R_b}{R_a R_b R_c} \right)$

$V_i = -V_o \cdot SC \cdot \left(R_c + \dfrac{R_a R_c}{R_b} + R_a \right)$

$\dfrac{V_o}{V_i} = \dfrac{-1}{\left(R_a + \dfrac{R_a R_c}{R_b} + R_c \right) \cdot SC} \equiv \dfrac{-1}{R_F SC}$ } obtenido con la estructura original.

//

$\Rightarrow R_F = R_a + \dfrac{R_a R_c}{R_b} + R_c$ } Para que ambas estructuras sean equivalentes, que tengan la misma función transferencia.

Adoptando $R_a = R_b = R_c = R$, se obtiene:

$R_F = R_a + \dfrac{R_a R_c}{R_b} + R_c = R + \dfrac{R^{\cancel{2}}}{\cancel{R}} + R = 3R$

$R_F = 3R \rightarrow R = \dfrac{R_F}{3} = \dfrac{3{,}183\ M\Omega}{3} = \underline{1{,}061\ M\Omega}$

Valor comercial mas cercano: $1 M\Omega \pm 1\%$

- Como el valor de R_F obtenido no es un valor comercial de resistencia, sumado a que anteriormente se adoptó $R_{F_1} = R_{F_2} = R_F$, ahora lo que se propone es que $R_{F_1} \neq R_{F_2}$, de tal manera de que una "T" de resistencias esté implementada con valores comerciales puros y la otra posea un preset de ajuste para poder llegar al valor necesario.
- Recordar que R_{F_1} y R_{F_2} son los parámetros de ajuste de la frecuencia w_o del filtro:

$$w_o^2 = \frac{R_2}{R_1 R_{F_1} R_{F_2} C_1 C_2}$$

//

• Se propone: $R_{F_2} = 3R$; siendo $R = 1\,M\Omega \pm 1\,\%$

• Para obtener el valor de la nueva R_{F_1}, se debe volver a las expresiones de diseño:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_{F_1} R_{F_2} C^2} \rightarrow R_{F_1} = \frac{1}{R_{F_2}\,\omega_0^2\,C^2}$$

$$R_{F_1} = \frac{1}{3\cdot 10^6\,\Omega \cdot (100\pi\ rad/s)^2 \cdot (1nF)^2} = 3,377\,M\Omega$$

Para implementar R_{F_1}, utilizamos la expresión de R_F obtenida anteriormente:

$$R_{F_1} = R_a + \frac{R_a R_c}{R_b} + R_c$$; donde adoptamos $R_a = R_b = 1\,M\Omega \pm 1\% = R$

$$R_{F_1} = R + \frac{\cancel{R} R_c}{\cancel{R}} + R_c = 2R_c + R$$

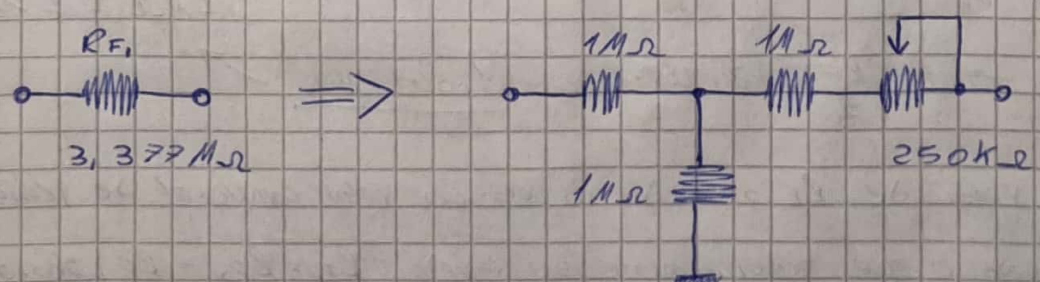
$$R_{F_1} = 2R_c + R \rightarrow R_c = \frac{R_{F_1} - R}{2} = \frac{3,377\,M\Omega - 1\,M\Omega}{2}$$

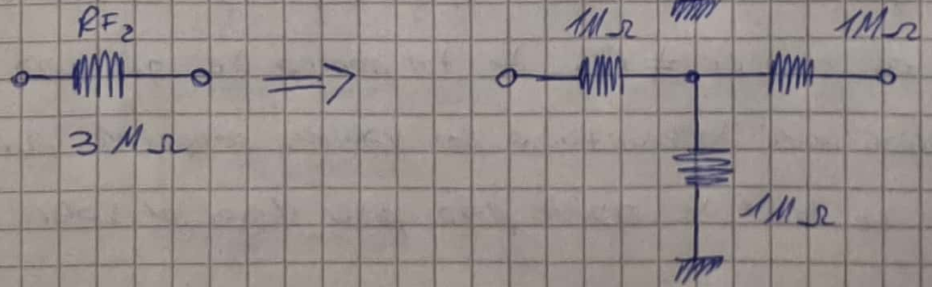
$$R_c = 1,1887\,M\Omega$$

$\boxed{\text{Implementación de } R_c}$

• $R_c = 1188,7\,K\Omega = \underbrace{1000\,K\Omega}_{\text{Valor comercial } 1M\Omega \pm 1\%} + \underbrace{188,7\,K\Omega}_{\text{Preset de } 250\,k\Omega}$

• Implementación circuital de las resistencias obtenidas:





- Ahora se utilizará otra ecuación de diseño presente en el datasheet pero para obtener el valor de R_Q, resistencia de ajuste del factor de selectividad "Q" del filtro:

$$Q = \frac{1 + \frac{R_4 \cdot (R_g + R_Q)}{R_g R_Q}}{1 + \frac{R_2}{R_1}} \cdot \left(\frac{R_2 R_{F_1} C_1}{R_1 R_{F_2} C_2} \right)^{1/2}$$

- Donde: $R_1 = R_2 = R_4 = R_g = R = 50\,k\Omega \pm 0.5\%$; $C_1 = C_2 = C = 1nF \pm 0.5\%$ — Ya incluidos dentro del chip del C.I.

$$\Rightarrow Q = \frac{1 + \frac{\cancel{R} \cdot (R + R_Q)}{\cancel{R} \cdot R_Q}}{1 + \frac{\cancel{R}}{\cancel{R}}\, 1} \cdot \left(\frac{\cancel{R} R_{F_1} \cancel{C}}{\cancel{R} R_{F_2} \cancel{C}} \right)^{1/2}$$

$$Q = \frac{1 + \frac{(R + R_Q)}{R_Q}}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_{F_1}}{R_{F_2}}} = \frac{1 + \frac{R}{R_Q} + 1}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_{F_1}}{R_{F_2}}}$$

$$2Q = \left(2 + \frac{R}{R_Q}\right) \cdot \sqrt{\frac{R_{F_1}}{R_{F_2}}} \quad , \quad 2Q \cdot \sqrt{\frac{R_{F_2}}{R_{F_1}}} = 2 + \frac{R}{R_Q}$$

$$R_Q = \frac{R}{2Q \sqrt{\frac{R_{F_2}}{R_{F_1}}} - 2} = \frac{R}{2 \cdot \left[Q \sqrt{\frac{R_{F_2}}{R_{F_1}}} - 1 \right]}$$

$$R_Q = \frac{50\,k\Omega}{2 \cdot \left[5 \cdot \sqrt{\frac{3\,M\Omega}{3{,}377\,M\Omega}} - 1 \right]} = 6733{,}7\,\Omega$$

- Valores comerciales más próximos para $R_Q = 6733{,}7\,\Omega$
  - → $6800\,\Omega$
  - → $6200\,\Omega$