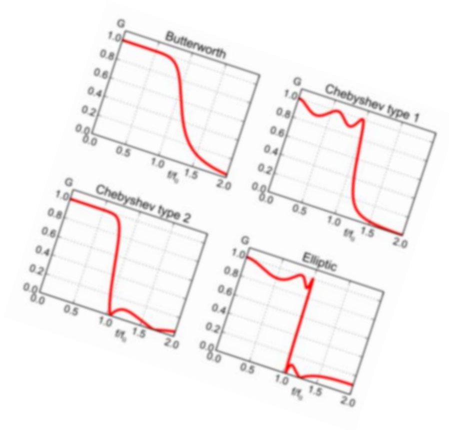
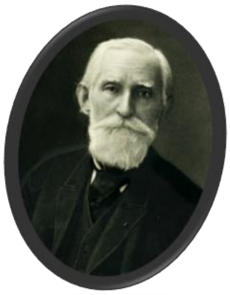
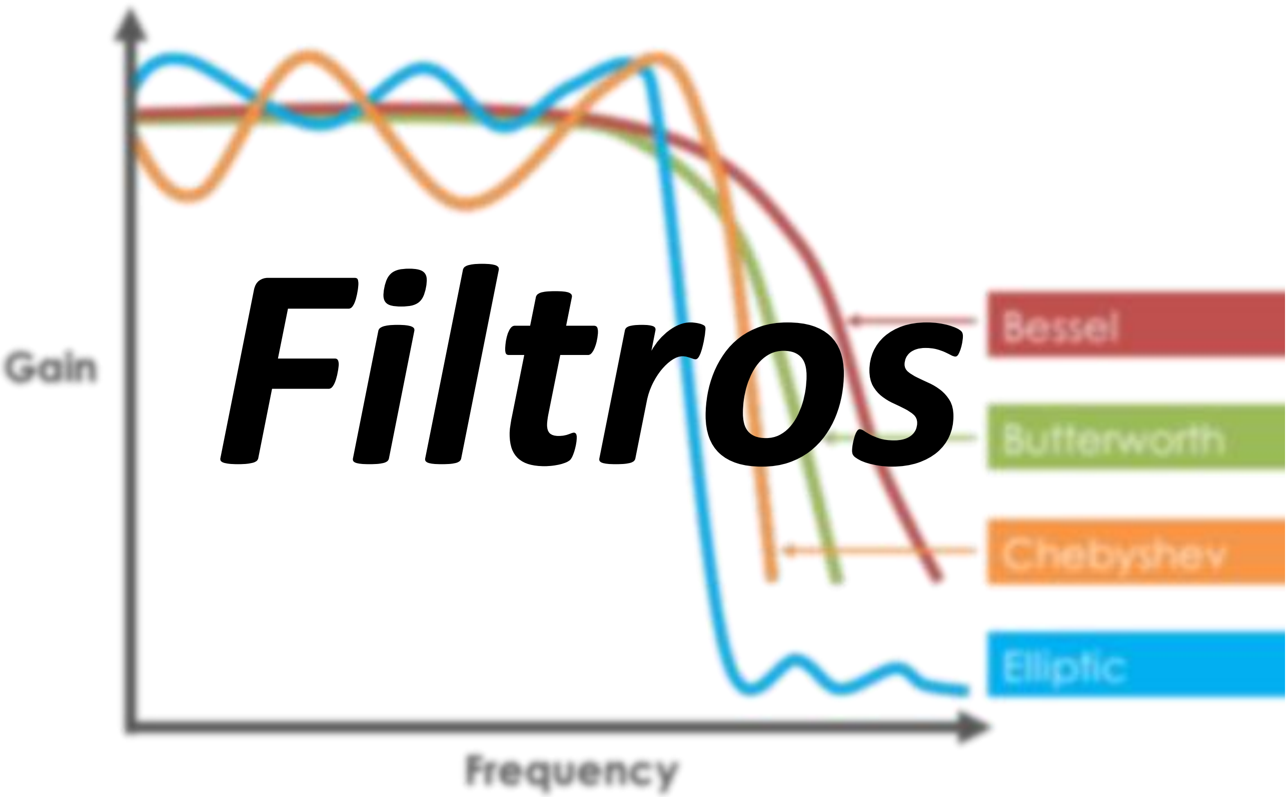


# Filtros




www.intronic.com.ar

## Filtros pasa banda narrow (angosto) con dos operacionales

Un filtro con alto Q NO puede ser diseñado con solamente un amplificador operacional. Por este motivo, el esquema de la figura 1 utiliza dos operacionales con el objetivo de obtener un valor de Q alrededor de 50.

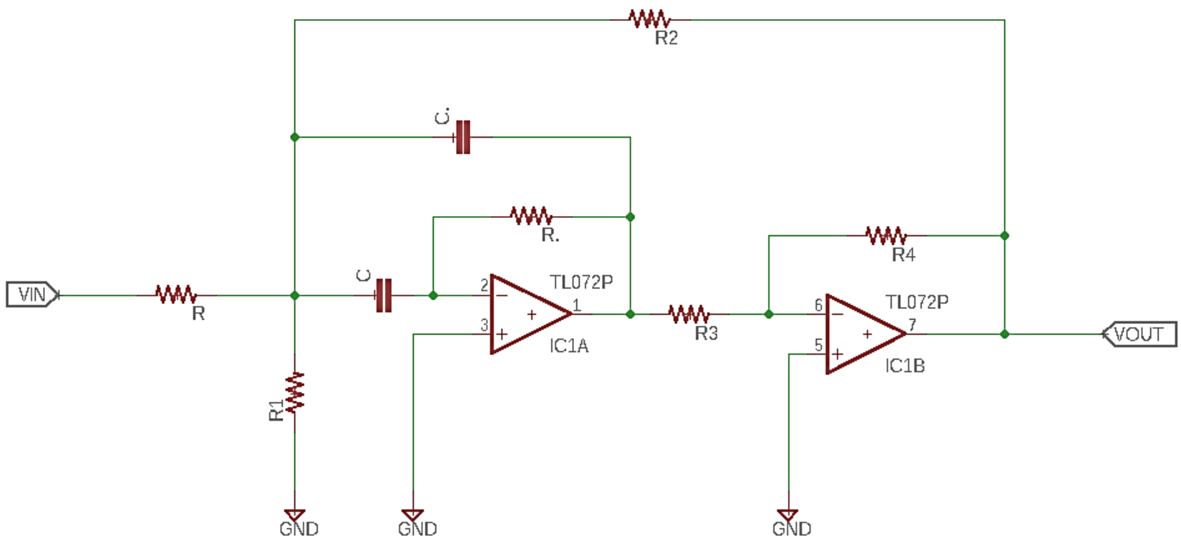



Figura 1: filtro pasa bajos de segundo orden

## Procedimiento de diseño

Para $\omega_0 = 1 \frac{rad}{s}$ tenemos que:

$$C_n = 1\,F \ , \ \ R_{3n} = 1\,\Omega$$

$$R = \sqrt{Q}$$

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R}\left(Q - 1 - \frac{2}{K} + \frac{1}{K\sqrt{Q}}\right)$$

$$\mathrm{R}_2 = \frac{K\,Q}{2\sqrt{Q} - 1}$$

## Ejemplo 1:

Diseñar un filtro pasa banda con dos operacionales, frecuencia central de 1 KHz, Q = 40 y K = 5

$$R_n = \sqrt{Q} = \sqrt{40} = 6{,}32\ \Omega$$

$$R_{3n} = 1\ \Omega$$

$$R_{4n} = K = 5\ \Omega$$

$$\mathrm{R}_{2\mathrm{n}} = \frac{K\ Q}{2\sqrt{Q} - 1} = \frac{5\ 40}{2\sqrt{40} - 1} = 17{,}17\ \Omega$$

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R}\left(Q - 1 - \frac{2}{K} + \frac{1}{K\sqrt{Q}}\right) = \frac{1}{6{,}32}\left(40 - 1 - \frac{2}{5} + \frac{1}{5\sqrt{40}}\right)$$

$$\frac{1}{R_1} = 6{,}11 \implies R_1 = 0{,}16\ \Omega$$

## Renormalización

$$ISF = 10^4\ \ (Factor\ de\ escala\ de\ impedancia)$$

$$FSF = \frac{\omega_1}{\omega_n} = \frac{2\,\pi\,f_1}{1} = 2\,\pi\,10^3\ \ (Factor\ de\ escala\ de\ frecuencia)$$

$$R = ISF\ R_n = 10^4\ 6{,}32\ \Omega = 63{,}3\ \mathrm{K\Omega}$$

$$R_1 = ISF\ R_{1n} = 10^4\ 0{,}16\ \Omega = 1{,}6\ \mathrm{K\Omega}$$

$$R_2 = ISF\ R_{2n} = 10^4\ 17{,}17\ \Omega = 172\ \text{K}\Omega$$

$$R_3 = ISF\ R_{3n} = 10^4\ 1\ \Omega = 10\ \text{K}\Omega$$

$$R_4 = ISF\ R_{4n} = 10^4\ 5\ \Omega = 50\ \text{K}\Omega$$

$$K_0 = \frac{K}{2 - K\dfrac{R}{R_2}} = \frac{5}{2 - 5\ \dfrac{63{,}3}{172}} = 31{,}27\ \cong 29{,}9\ dB$$

$$C = \frac{C_{1n}}{ISF\ FSF} = \frac{1\ F}{2\ \pi\ 10^3\ 10^4} = 15{,}92\ nF$$

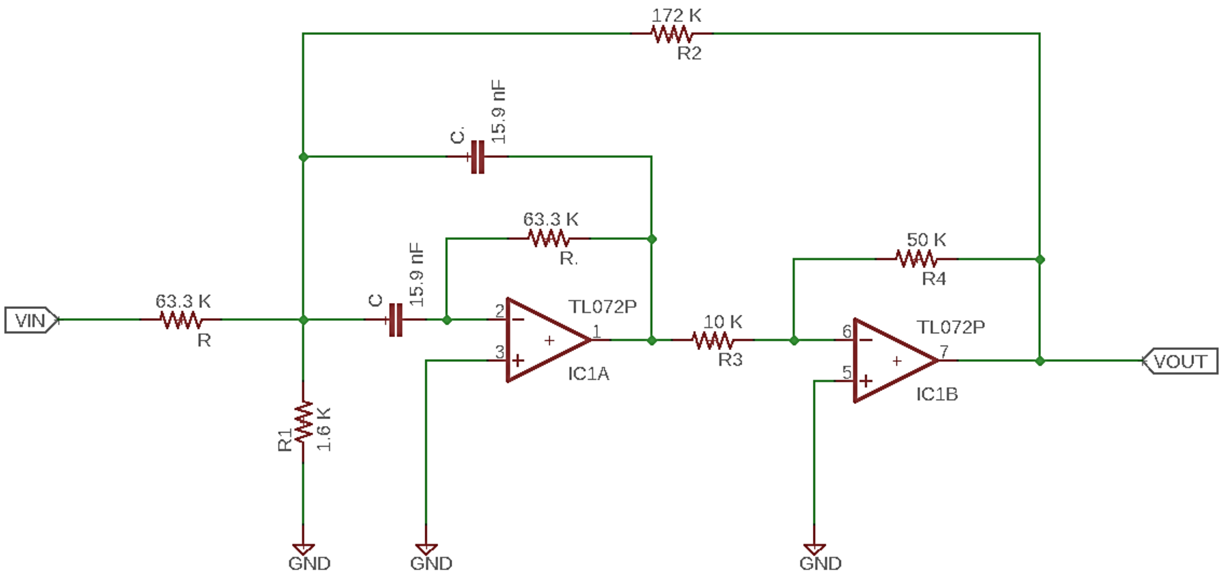



Figura 2: resultado del diseño

Ejemplo 2:

Diseñar un filtro pasa banda con dos operacionales, frecuencia central de 1 KHz, Q = 20 y K = 5

$$R_n = \sqrt{Q} = \sqrt{20} = 4{,}47\ \Omega$$

$$R_{3n} = 1\ \Omega$$

$$R_{4n} = K = 5\ \Omega$$

$$\mathrm{R}_{2n} = \frac{K\ Q}{2\sqrt{Q} - 1} = \frac{5\ 20}{2\sqrt{20} - 1} = 12{,}59\ \Omega$$

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R}\left(Q - 1 - \frac{2}{K} + \frac{1}{K\sqrt{Q}}\right) = \frac{1}{4{,}47}\left(20 - 1 - \frac{2}{5} + \frac{1}{5\sqrt{20}}\right)$$

$$\frac{1}{R_1} = 4{,}36 \implies R_1 = 0{,}23\ \Omega$$

Renormalización

$$ISF = 10^4 \ \ (Factor\ de\ escala\ de\ impedancia)$$

$$FSF = \frac{\omega_1}{\omega_n} = \frac{2\,\pi\, f_1}{1} = 2\,\pi\, 10^3 \ \ (Factor\ de\ escala\ de\ frecuencia)$$

$$R = ISF\ R_n = 10^4\ 4{,}47\ \Omega = 44{,}7\ \mathrm{K\Omega}$$

$$R_1 = ISF\ R_{1n} = 10^4\ 0{,}23\ \Omega = 2{,}3\ \mathrm{K\Omega}$$

$$R_2 = ISF\ R_{2n} = 10^4\ 12{,}59\ \Omega = 125{,}9\ \mathrm{K\Omega}$$

$$R_3 = ISF\ R_{3n} = 10^4\ 1\ \Omega = 10\ \text{K}\Omega$$

$$R_4 = ISF\ R_{4n} = 10^4\ 5\ \Omega = 50\ \text{K}\Omega$$

$$K_0 = \frac{K}{2 - K\,\frac{R}{R_2}} = \frac{5}{2 - 5\ \frac{44{,}7}{125{,}9}} = 22{,}2\ \cong 26{,}9\ dB$$

$$C = \frac{C_{1n}}{ISF\ FSF} = \frac{1\ F}{2\ \pi\ 10^3\ 10^4} = 15{,}92\ nF$$

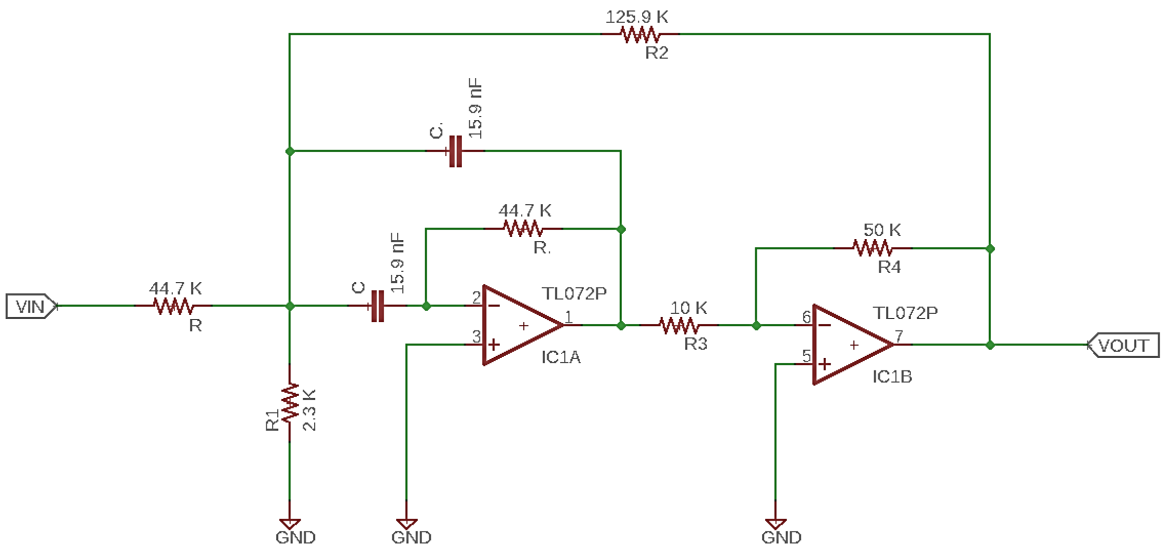



Figura 3: resultado del diseño

Filtro pasa banda Deliyannis

En esta topología de filtros pasa banda con un solo operacional, se pueden obtener valores altos de Q.

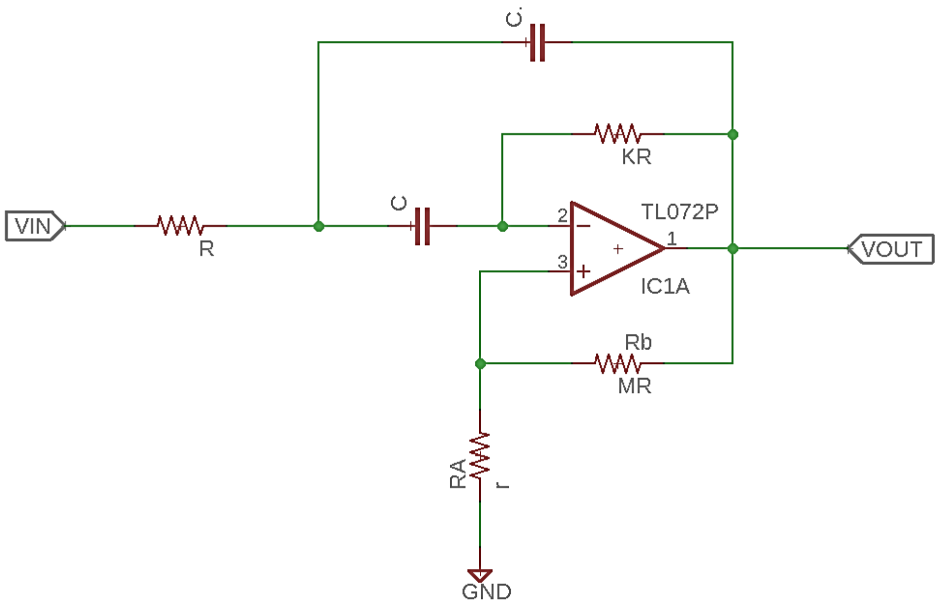



Figura 3: Filtro pasa banda Deliyannis

Si diseñamos un filtro pasa banda con ganancia unitaria (k=1), debemos atenuar la señal de entrada en un facto de 1/k. En la figura 4, se observa el atenuador formado por $R_1$ y $R_3$.

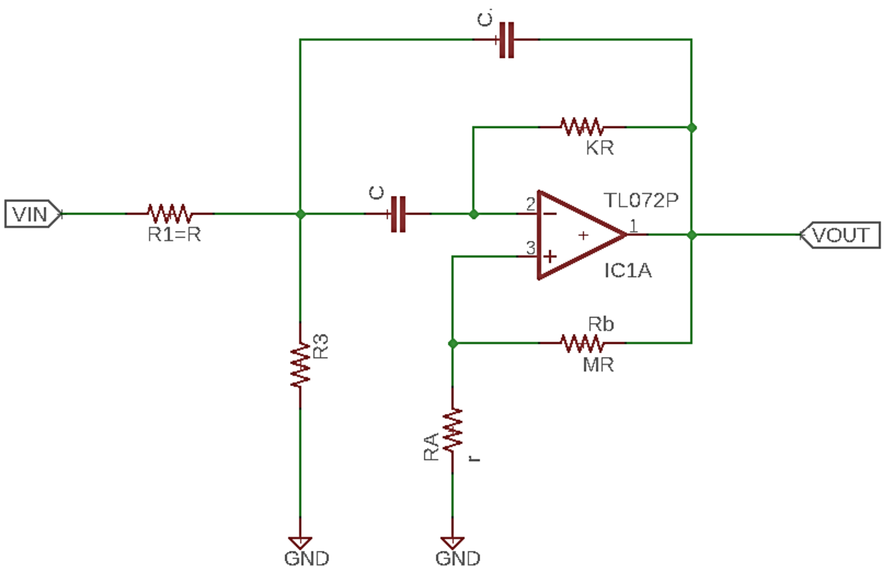



Figura 4: Filtro pasa banda Deliyannis con ganancia unitaria

Procedimiento de diseño

Para $\omega_0 = 1\ \frac{rad}{s}$ tenemos que:

$$R = \frac{1}{\sqrt{k}}$$

Seleccionar un valor apropiado de "k" de tal manera que sea un cuadrado perfecto de cálculo (ejemplo: 4, 9, 16, …, 100, etc).

$$M = \frac{k\ Q}{2Q - \sqrt{k}}$$

Selecciones resistores $R_a = R$ y $R_b = M_r$ de tal manera que la suma sea mayor a $20\ \mathrm{K\Omega}$ y menor o igual que $200\ \mathrm{K\Omega}$.

Si la ganancia del filtro no es un problema que controlar, quitar $R_3$ y hacer $R_1$ = R. Sin embargo, si se quiere asegurar una ganancia unitaria:

$$K = \frac{Q\ (1 + M)\ \sqrt{k}}{M}$$

## Ejemplo 3:

Diseñar un filtro pasa banda con $f_0$ = 200 Hz y Q = 12, k como parámetro libre.

Elegimos: $k = 25\ \Longrightarrow\ \sqrt{k} = 5$

$$R_n = \frac{1}{\sqrt{k}} = \frac{1}{5} = 0{,}2\ \Omega$$

$$M = \frac{k\ Q}{2Q - \sqrt{k}} = \frac{25\ 12}{2\ 12 - \sqrt{25}} = 15{,}8$$

$$K = \frac{Q\,(1+M)\,\sqrt{k}}{M} = \frac{12\,(1+15{,}8)\,\sqrt{25}}{15{,}8} = 63{,}8\ \cong 36{,}1\,dB$$

$$R_{1n} = K\,R_n = 63{,}8\ 0{,}2 = 12{,}8\,\Omega$$

$$R_{2n} = k\,R_n = 25\ 0{,}2 = 5\,\Omega$$

$$R_{3n} = \frac{K\,R_n}{K-1} = \frac{63{,}8\ 0{,}2}{63{,}8-1} = 0{,}203\,\Omega$$

$$r_n = 1\,\Omega\ \ \therefore\ \mathrm{Mr_n} = 15{,}8\,\Omega$$

Renormalización

$$ISF = 10^4\ \ (Factor\ de\ escala\ de\ impedancia)$$

$$FSF = \frac{\omega_1}{\omega_n} = \frac{2\,\pi\,f_1}{1} = 2\,\pi\,200 = 4\,\pi\,10^2\ \ (Factor\ de\ escala\ de\ frecuencia)$$

$$C = \frac{C_{1n}}{ISF\ FSF} = \frac{1\,F}{4\,\pi\,10^2\,10^4} = 79{,}6\,nF$$

$$R = ISF\,R_n = 10^4\ 0{,}2\,\Omega = 2\ \mathrm{K\Omega}$$

$$R_1 = ISF\,R_{1n} = 10^4\ 12{,}8\,\Omega = 128\ \mathrm{K\Omega}$$

$$R_2 = ISF\,R_{2n} = 10^4\ 5\,\Omega = 50\ \mathrm{K\Omega}$$

$$R_3 = ISF\,R_{3n} = 10^4\ 0{,}203\,\Omega \cong 2\ \mathrm{K\Omega}$$

$$r = ISF\,r_n = 10^4\ 1\,\Omega = 10\ \mathrm{K\Omega}$$

$$M_r = ISF\ M_{r_n} = 10^4\ 15{,}8\ \Omega = 158\ \mathrm{K\Omega}$$

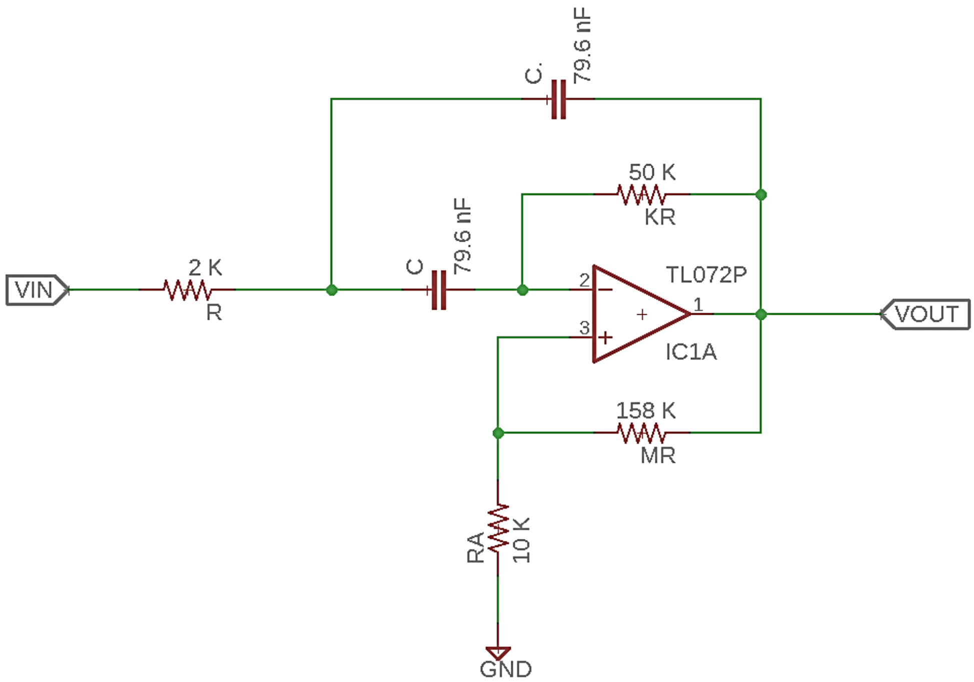



Figura 5: Resultado del diseño

## Ejemplo 4:

Diseñar un filtro con las mismas características que el ejemplo 3) pero con ganancia unitaria.

$$R_1 = K\ R = 63{,}8\ 2\ K\Omega \cong 128\ K\Omega$$

$$R_3 = \frac{K\ R}{K-1} = \frac{63{,}8\ 2\ K\Omega}{63{,}8-1} \cong 2\ K\Omega$$

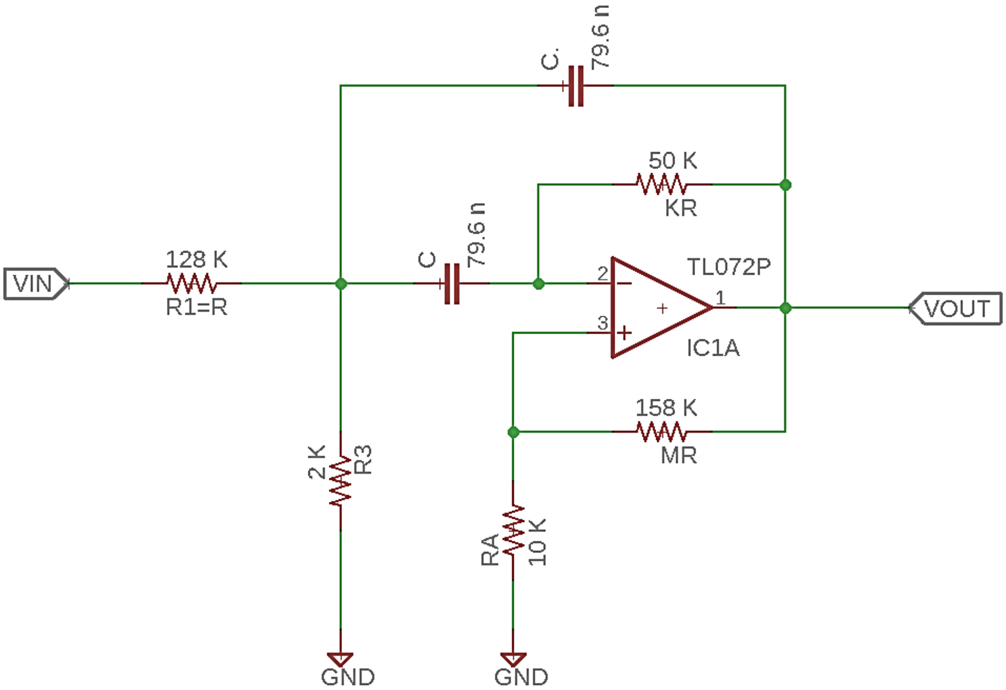



Figura 6: Resultado del diseño

## Filtro rechaza banda narrow (angosto)

Con este tipo de filtros, frecuencias no deseadas son atenuadas. A menudo, por ejemplo, es necesario rechazar frecuencias de: 50 Hz, 60 Hz, 100 Hz inducidas.

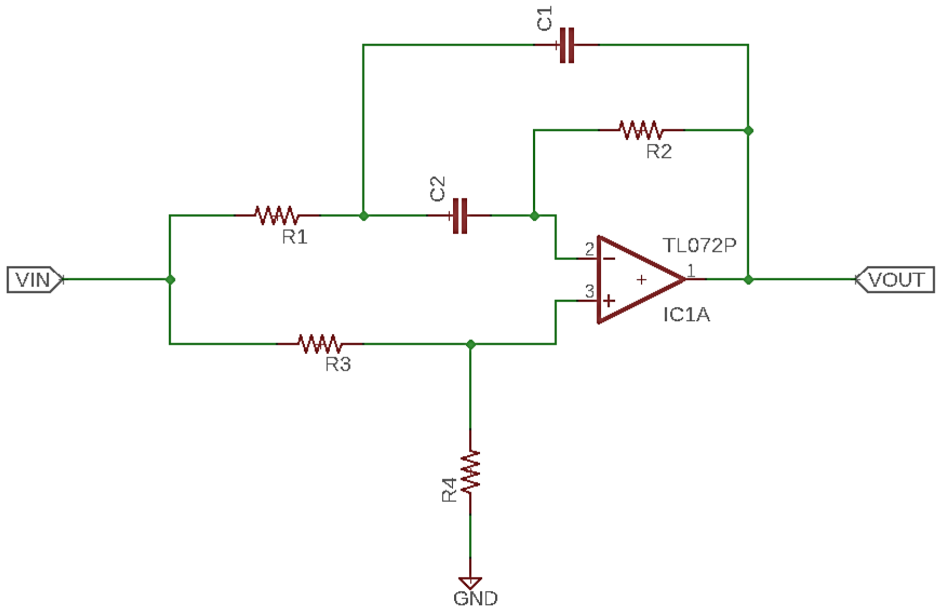



Figura 7: Filtro rechaza banda

## Procedimiento de diseño

Para $\omega_0 = 1\ \frac{rad}{s}$, $C_1 = C_2 = C = 1$ F, $R_3 = 1\ \Omega$ tenemos que:

$$R_1 = \frac{1}{2\,Q}$$

$$R_2 = \frac{1}{R_1} = 2\,Q$$

$$R_4 = 2\,Q^2$$

Ejemplo 5:

Diseñar un filtro notch para rechazar 50 Hz con Q = 10

$$C_n = 1\ F$$

$$R_{3n} = 1\ \Omega$$

$$R_1 = \frac{1}{2\ Q} = \frac{1}{2\ (10)} = 0{,}05\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{R_1} = 2\ Q = 20\ \Omega$$

$$R_4 = 2\ Q^2 = 2\ 10^2 = 200\ \Omega$$

Renormalización

$$ISF = 10^3\ \ (Factor\ de\ escala\ de\ impedancia)$$

$$FSF = \frac{\omega_1}{\omega_n} = \frac{2\ \pi\ f_1}{1} = 2\ \pi\ 50 = 100\ \pi\ \ (Factor\ de\ escala\ de\ frecuencia)$$

$$C = \frac{C_{1n}}{ISF\ FSF} = \frac{1\ F}{100\ \pi\ 10^3} = 3{,}18\ \mu F$$

$$R_1 = ISF\ R_{1n} = 10^3\ 0{,}05\ \Omega = 50\ \Omega$$

$$R_2 = ISF\ R_{2n} = 10^3\ 20\ \Omega = 20\ \mathrm{K}\Omega$$

$$R_3 = ISF\ R_{3n} = 10^3\ 1\ \Omega = 1\ \mathrm{K}\Omega$$

$$R_4 = ISF\ R_{4n} = 10^3\ 200\ \Omega = 200\ \mathrm{K}\Omega$$