FCEFyN Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales

Síntesis de Redes Activas

Trabajo Práctico 4

“Filtros Activos y Osciladores”

PROFESORES:

Dr. Ing. Ferreyra Pablo.

Ing. Reale Cesar.

ALUMNOS:

Dalla Fontana Facundo.

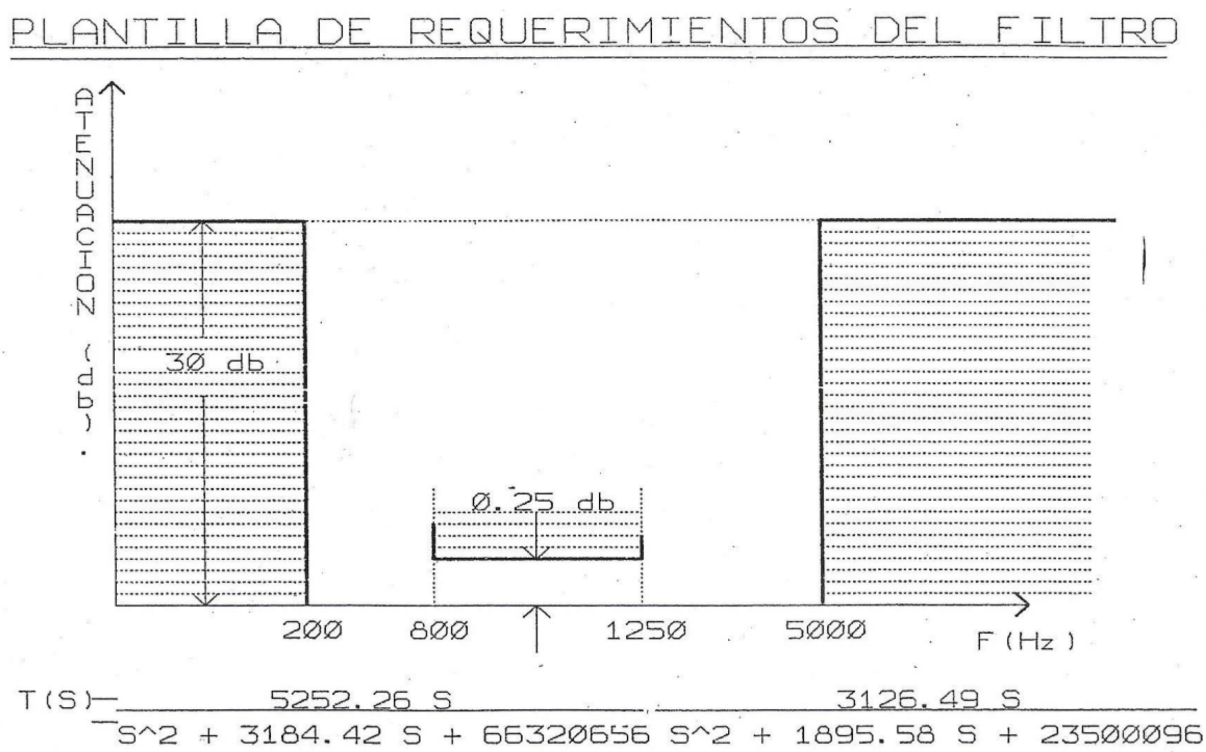
Gonzalez Bruno.

Lafay Justin.

Antonin, Kulyk.

Introducción

A partir de la siguiente planilla de requerimientos, se diseñará y sintetizará el filtro activo correspondiente.



Para obtener la función de transferencia del filtro pasa banda se acoplarán un filtro pasa alto y un filtro pasa bajo en cascada. Para encontrar sus funciones de transferencia se utilizará matlab.

Filtro Pasabajos

- ## Diseño del filtro

Buscamos diseñar un circuito que permite obtener una función de transferencia de la forma:

$$F_{PB} = \frac{32\,840\,000}{s^2+3184s+66\,320\,000}$$

Igualamos los coeficientes con la función de transferencia que describe un filtro pasa bajos dada por:

$$F_{PB} = \frac{K\omega_p^2}{s^2+\frac{\omega_p}{Q_p}s+\omega_p^2}$$

Entonces:

$\omega_p^2 = 66320000$

$\omega_p = \sqrt{66320000} = 8143,7\, rad/s$

$\frac{\omega_p}{Q_p} = 3184$

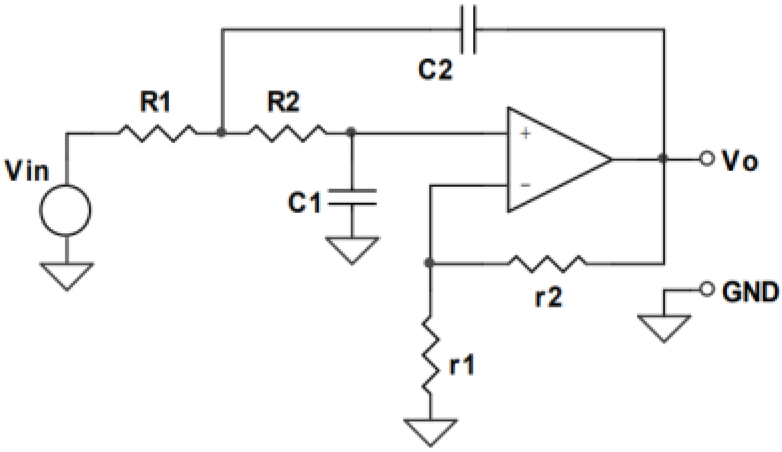
$Q_p = 2,56$

$K\omega_p^2 = 32\,840\,000$

$K = \frac{32\,840\,000}{\omega_p^2}$

$K = 0,49$

Para armar este filtro utilizamos el siguiente esquema:



Analizando la malla de entrada del terminal positivo, se obtiene la siguiente matriz:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R2}+SC1 & -\frac{1}{R2} \\ -\frac{1}{R2} & \frac{1}{R1}+\frac{1}{R2}+SC2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v^+ \\ v_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ sc2v_0+\frac{1}{R1}Vin \end{bmatrix}$$

Tomando R1=R2=R y C1=C2=C se obtiene:

$$T_{FB} = \left(\frac{v^+}{v_o}\right)_{v_i=0} = \frac{\frac{sC}{R}}{\frac{1}{R^2}+\frac{3sC}{R}+(sC)^2}$$

$$T_{FB} = \frac{\frac{s}{RC}}{\left(\frac{1}{RC}\right)^2+\frac{3s}{RC}+s^2}$$

Obteniendo:

$$N_{FB} = \frac{s}{RC}$$

$$D = \left(\frac{1}{RC}\right)^2 + \frac{3s}{RC} + s^2$$

Análogamente:

$$T_{FF} = \left(\frac{v^+}{v_i}\right)_{v_o=0} = \frac{\frac{1}{R^2}}{\frac{1}{R^2}+\frac{3sC}{R}+(sC)^2}$$

$$T_{FF} = \left(\frac{v^+}{v_i}\right)_{v_o=0} = \frac{\left(\frac{1}{RC}\right)^2}{\left(\frac{1}{RC}\right)^2+\frac{3s}{RC}+s^2}$$

Obteniendo:

$$N_{FF} = \left(\frac{1}{RC}\right)^2$$

Entonces:

$$T(s) = \frac{kN_{FF}}{D-kN_{FB}} = \frac{\frac{k}{(RC)^2}}{s^2 + \frac{(3-k)s}{RC} + \left(\frac{1}{RC}\right)^2}$$

Igualando los coeficientes con la función de transferencia obtenida, obtenemos:

$$\omega_p^{\ 2} = 66320000 = \left(\frac{1}{RC}\right)^2$$

$$\frac{1}{RC} = 8143,7$$

Si C=1F:

$$R = 1,22 \times 10^{-4}[\Omega]$$

Por otro lado:

$$\frac{(3-k)}{RC} = \frac{\omega_p}{Q_p}$$

$$k = 3 - \frac{1}{Q_p}$$

$$k = 2,61$$

A su vez:

$$k = 1 + \frac{r_2}{r_1}$$

Tomando r2=10kΩ:

$$r_1 = \frac{r_2}{k-1}$$

$$r_1 = 6210\Omega$$

Por último, para ajustar la ganancia, como se obtuvo teóricamente un valor de K = 0,49 (lo cual es distinto a 2,61) debemos colocar un atenuador a la entrada:

$$G_{AT} = \frac{0,49}{2,61} = 0,19$$

$$\frac{R_A R_B}{R_A + R_B} = R$$

$$\frac{R_B}{R_A + R_B} = G_{AT}$$

$$R_A = \frac{R}{G_{AT}} = \frac{1,22 \times 10^{-4}[\Omega]}{0,19}$$

$$R_A = 6,43 \times 10^{-4}[\Omega]$$

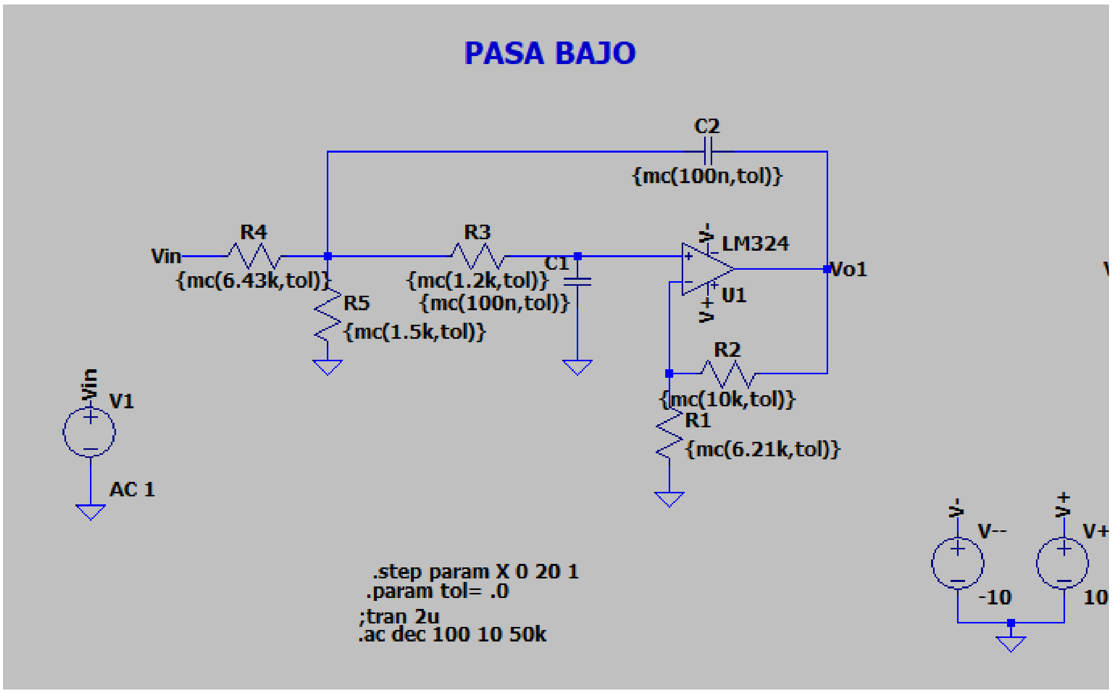
$$R_B = \frac{R}{1-G_{AT}}$$

$$R_B = 1,5 \times 10^{-4} [\Omega]$$

De esta forma, se obtienen todos los valores necesarios para conformar el filtro, sin embargo, estos valores resultan inconvenientes. Es por ello que escalaremos los resultados obtenidos en un factor de 10^7:

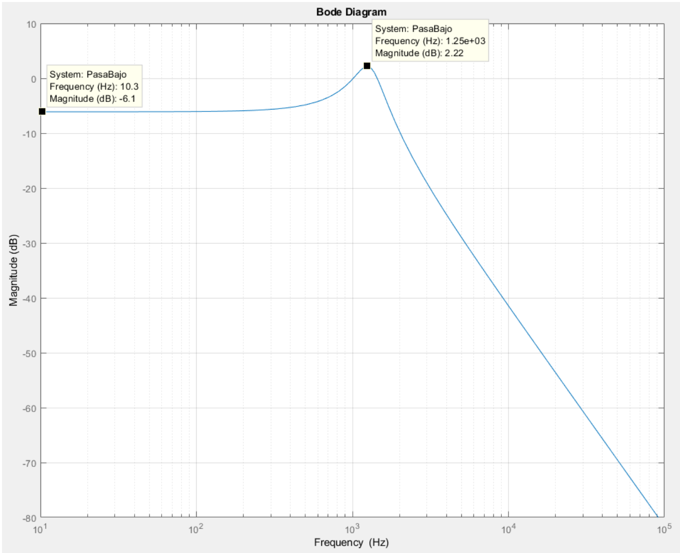
$$R = 1220\,\Omega$$
$$R_A = 6430\,\Omega$$
$$R_B = 1500\,\Omega$$
$$C = 100\,nF$$

- Diagrama esquemático



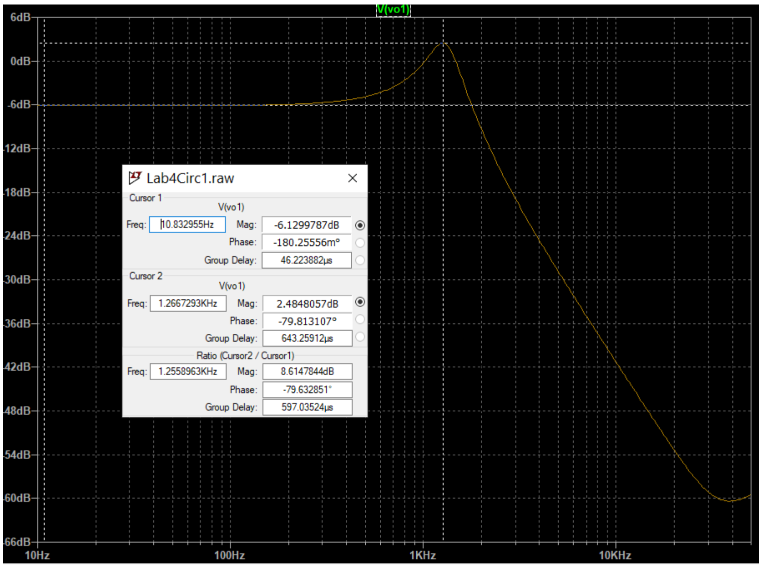
- ## Respuesta en Frecuencia

Simulación Matlab



$$G_{BP} =- 6,1\ dB;\ \omega_o = 1.25\ KHz$$

Simulación Spice



$$G_{BP} =- 6,13\ dB;\ \omega_o = 1.266\ KHz$$

Filtro Pasa Altos

- ## Función de Transferencia

Ahora, buscamos diseñar un circuito que permite obtener una función de transferencia de la forma:

$$F_{PA} = \frac{0{,}5s^2}{s^2+1896s+23\,500\,000}$$

Igualamos los coeficientes con la función de transferencia que describe un filtro pasa bajos dada por:

$$F_{PA} = \frac{Ks^2}{s^2+\frac{\omega_p}{Q_p}s+\omega_p^{\ 2}}$$

Entonces:

$$\omega_p^{\ 2} = 23\,500\,000$$

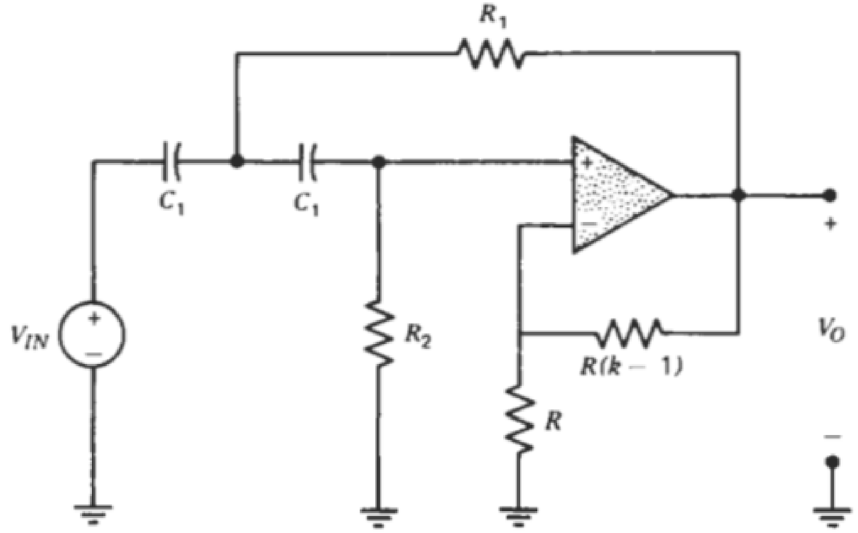
$$\omega_p = \sqrt{23\,500\,000} = 4847,\ 7\ rad/s$$

$$\frac{\omega_p}{Q_p} = 1896$$

$$Q_p = 2,\ 44$$

$$K = 0,5$$

Para armar este filtro utilizamos el siguiente modelo:



Analizando la malla de entrada del terminal positivo, se tiene la siguiente matriz:

$$\begin{bmatrix} SC2+\frac{1}{R2} & -SC2 \\ -SC2 & SC1+SC2+\frac{1}{R1} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v^+ \\ v_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ SC1v_{in}+\frac{1}{R1}Vo \end{bmatrix}$$

Tomando R1=R2=R y C1=C2=C se obtiene:

$$T_{FB} = \left(\frac{v^+}{v_o}\right)_{v_i=0} = \frac{\frac{sC}{R}}{\frac{1}{R^2}+\frac{3sC}{R}+(sC)^2}$$

$$T_{FB} = \frac{\frac{s}{RC}}{\left(\frac{1}{RC}\right)^2+\frac{3s}{RC}+s^2}$$

Obteniendo:

$$N_{FB} = \frac{s}{RC}$$

$$D = \left(\frac{1}{RC}\right)^2 + \frac{3s}{RC} + s^2$$

Análogamente:

$$T_{FF} = \left(\frac{v^+}{v_i}\right)_{v_o=0} = \frac{(sC)^2}{\frac{1}{R^2}+\frac{3sC}{R}+(sC)^2}$$

$$T_{FF} = \left(\frac{v^+}{v_i}\right)_{v_o=0} = \frac{s^2}{\left(\frac{1}{RC}\right)^2+\frac{3s}{RC}+s^2}$$

Obteniendo:

$$N_{FF} = s^2$$

Entonces:

$$T(s) = \frac{kN_{FF}}{D-kN_{FB}} = \frac{ks^2}{s^2+\frac{(3-k)s}{RC}+\left(\frac{1}{RC}\right)^2}$$

Igualando los coeficientes con la función de transferencia obtenida:

$$\omega_p^{\ 2} = 23500000 = \left(\frac{1}{RC}\right)^2$$

$$\frac{1}{RC} = 4847,\ 7$$

Si C=1F:

$$R = 2,063 \times 10^{-4} [\Omega]$$

Por otro lado:

$$\frac{(3-k)}{RC} = \frac{\omega_p}{Q_p}$$

$$k = 3 - \frac{1}{Q_p}$$

$$k = 2,59$$

A su vez:

$$k = 1 + \frac{r_2}{r_1}$$

Tomando r2=10kΩ:

$$r_1 = \frac{r_2}{k-1}$$

$$r_1 = 6210\Omega$$

Por último, para ajustar la ganancia, como se obtuvo teóricamente un valor de K = 0,5 (lo cual es distinto a 2,59) debemos colocar un atenuador a la entrada:

$$G_{AT} = \frac{0,5}{2,59} = 0,19$$

$$\frac{Z_A Z_B}{Z_A+Z_B} = Z = \frac{1}{sC}$$

$$\frac{Z_B}{Z_A+Z_B} = G_{AT}$$

$$Z_A = \frac{Z}{G_{AT}} = \frac{1}{sC\times 0,19} = \frac{1}{s0,19}$$

ZA es la impedancia de un capacitor de 0,19 [F]

$$C_A = 0,19[F]$$

$$Z_B = \frac{Z}{1-G_{AT}}$$

$$Z_B = \frac{1}{sC\times 0,81} [\Omega]$$

ZB es la impedancia de un capacitor de 0,81F

$$C_B = 0,81\ [F]$$

De esta forma, se obtienen todos los valores necesarios para conformar el filtro, sin embargo, estos valores resultan inconvenientes. Es por ello que escalaremos los resultados obtenidos en un factor de 10^8:

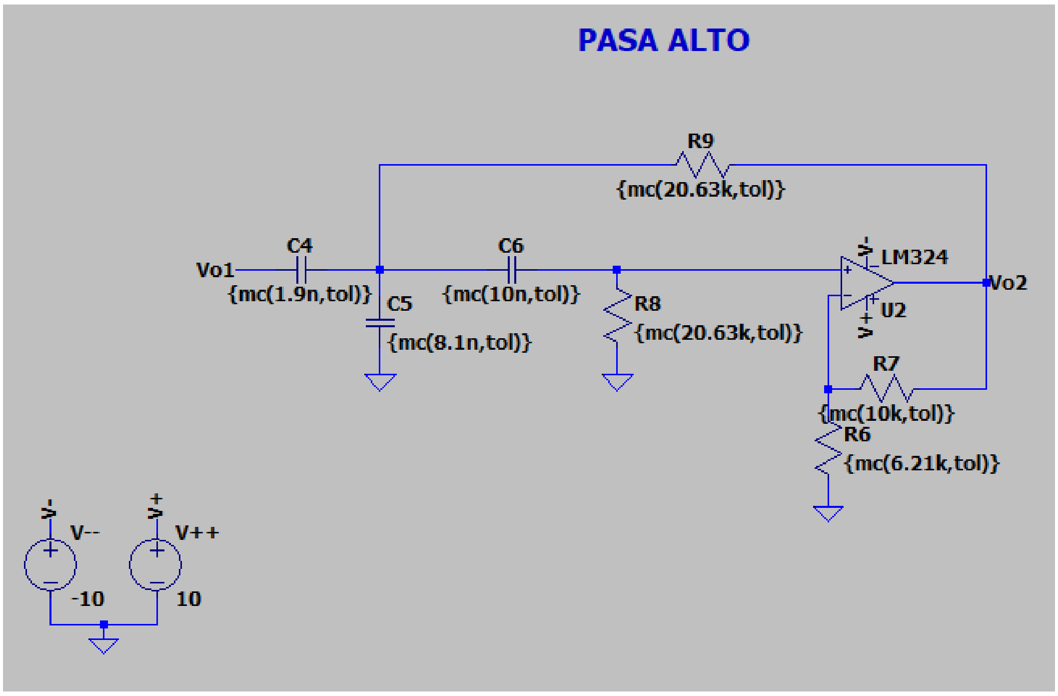
$$R = 20,63\ [k\Omega]$$

$$C_A = 1,9\ [nF]$$

$$C_B = 8,1\ [nF]$$

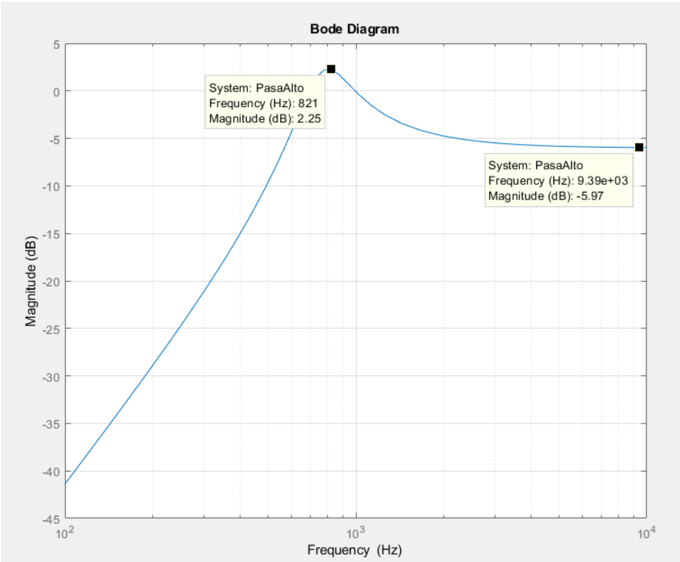
$$C = 10\ [nF]$$

- Diagrama Esquemático



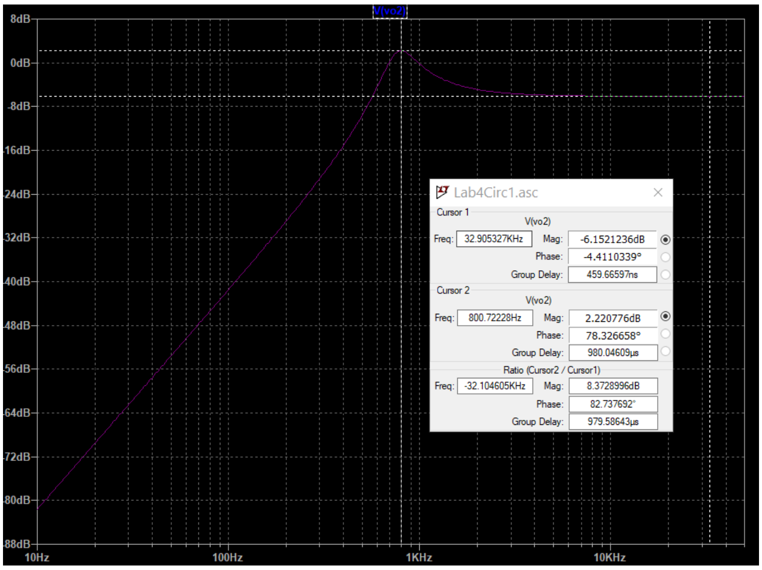
- ## Respuesta en Frecuencia

Simulación Matlab



$$G_{BP} =- 5,97\ dB;\ \omega_o = 821\ Hz$$

Simulación Spice

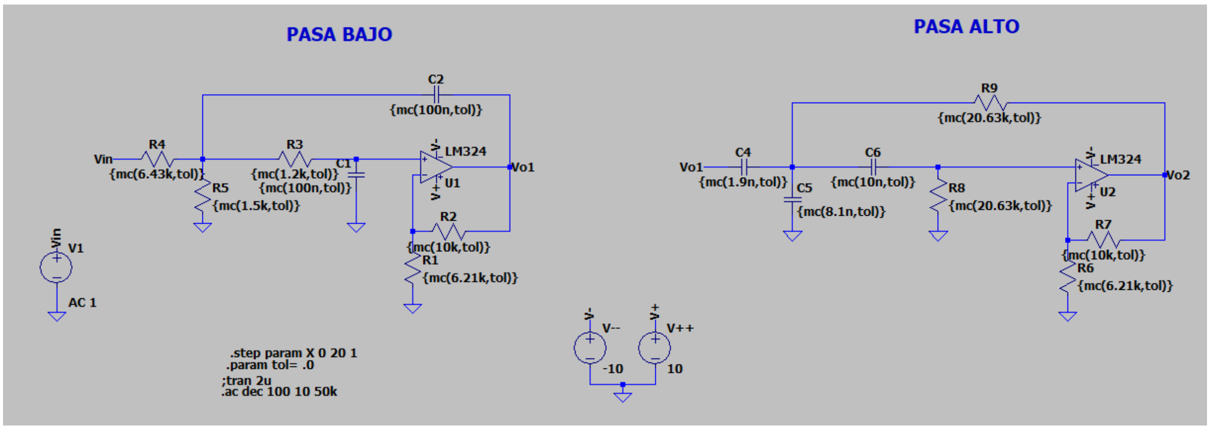


$$G_{BP} =- 6,15\ dB;\ \omega_o = 800,72\ KHz$$

Filtro Pasa Banda

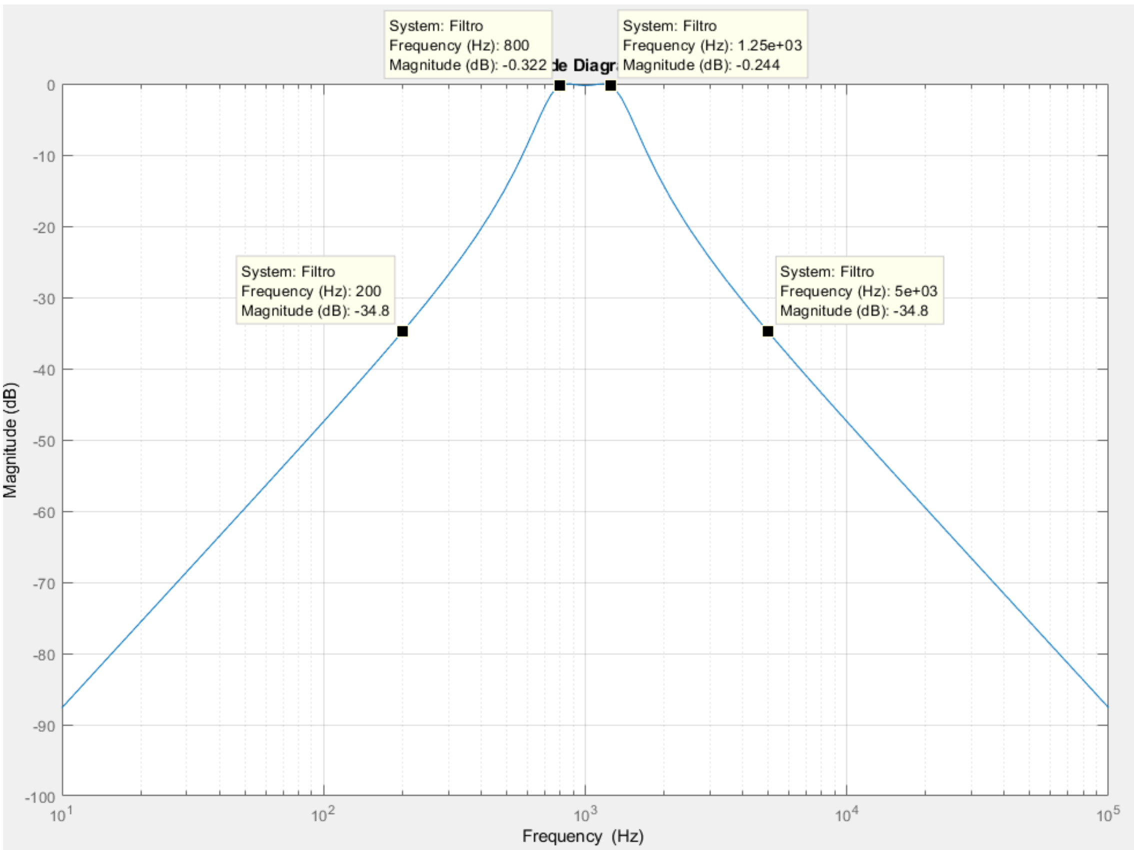
- ## Diagrama esquemático

Se conectan en cascada el filtro pasa altos y el filtro pasa bajos diseñados anteriormente.

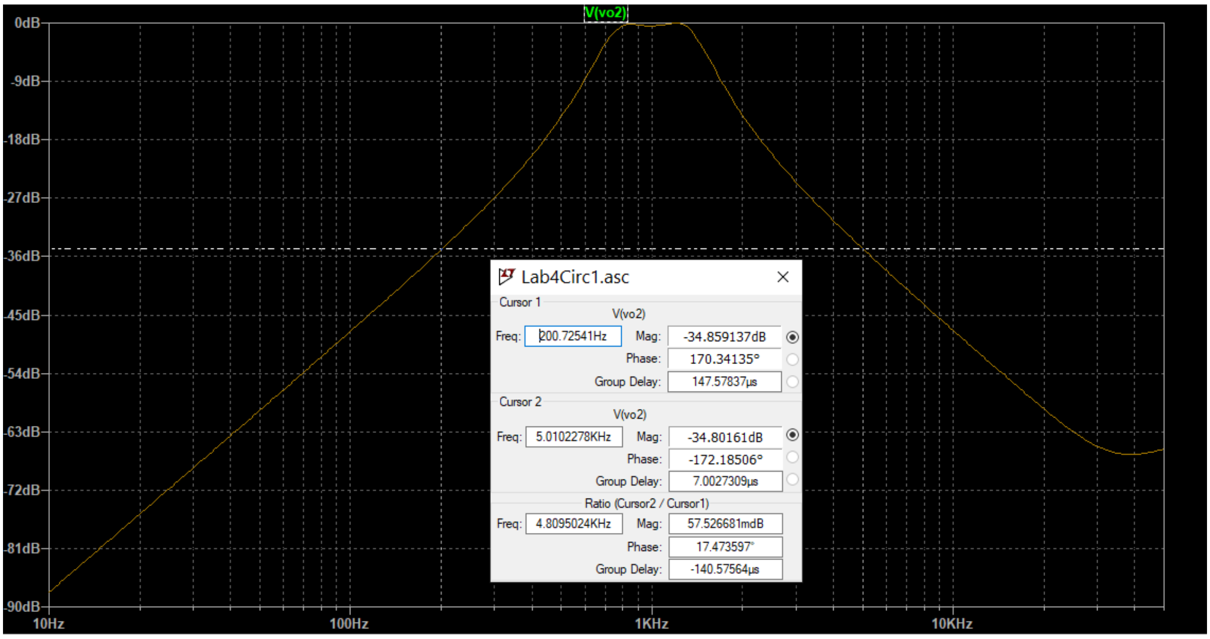


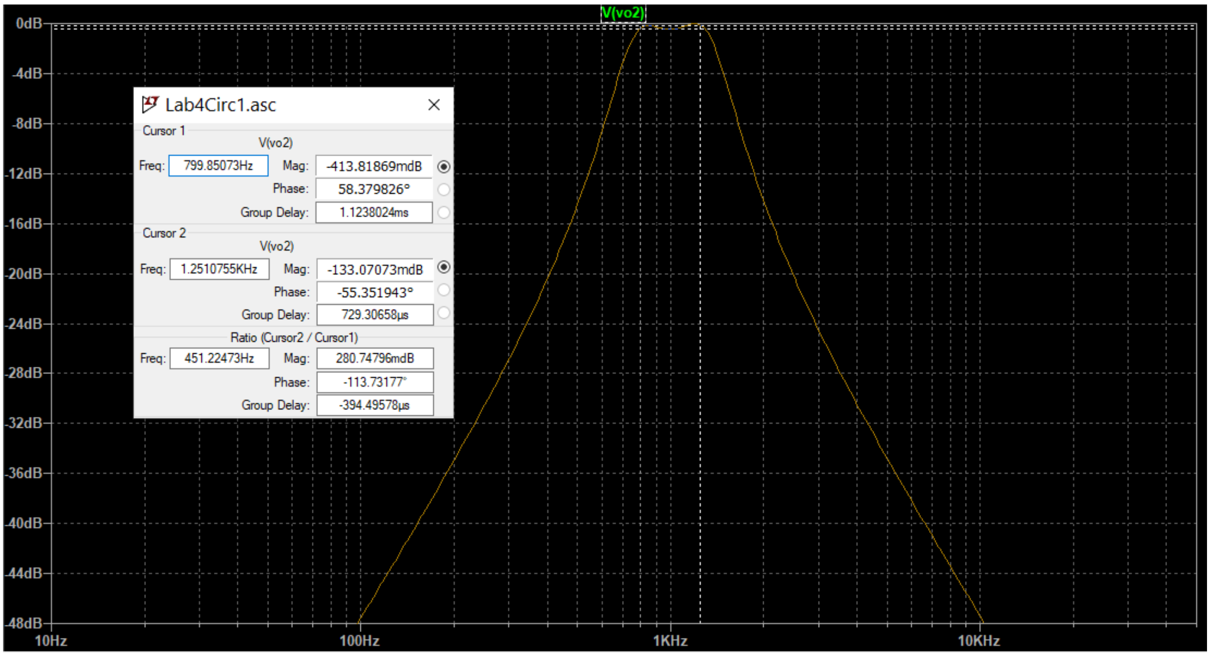
- ## Respuesta en Frecuencia

Simulación Matlab



Simulación Spice



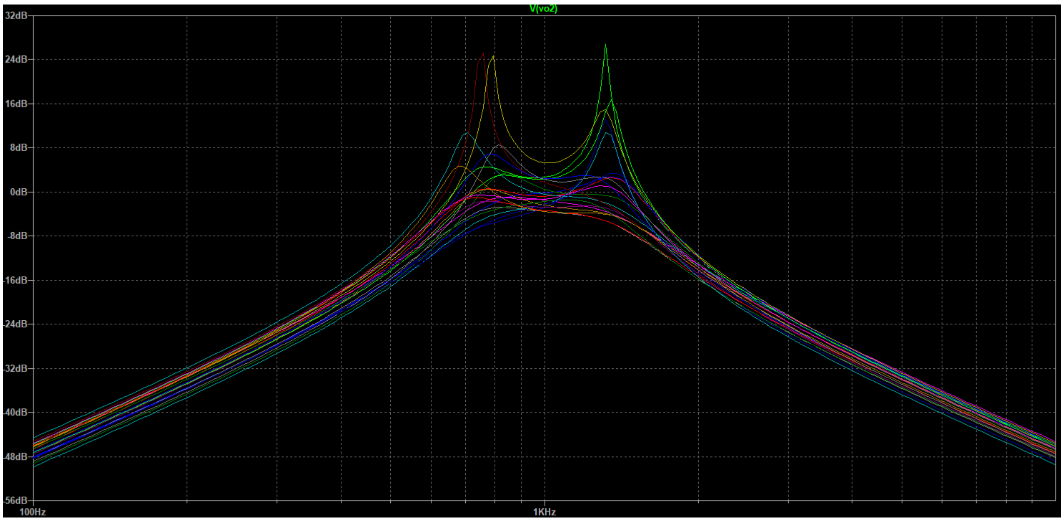


Se observa coincidencia entre la simulación matemática en matlab y la simulación spice. Como detalle a corregir se destaca una atenuación en en 800Hz de -0.32 dB, la cual debería ser por requerimiento menor a -0.25 dB.

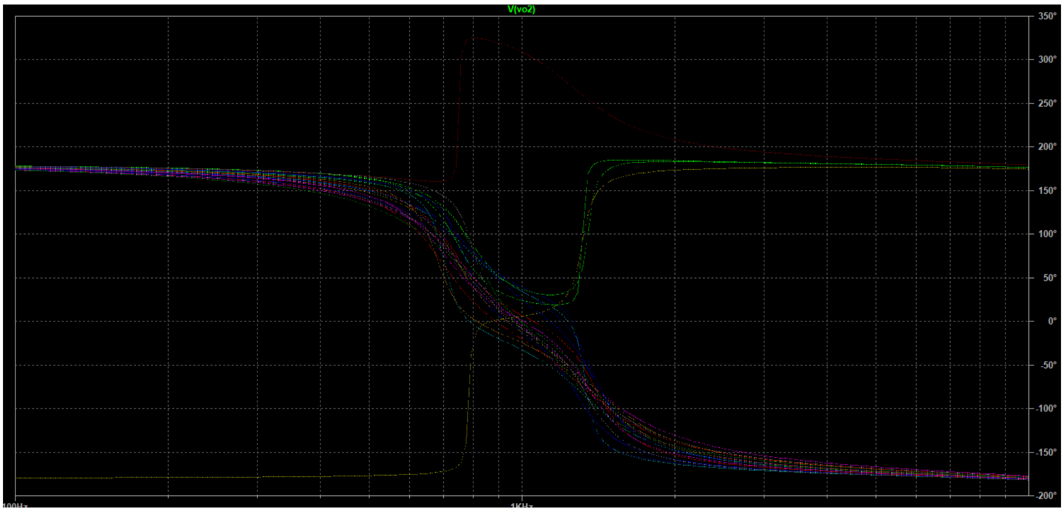
- ## Análisis de Montecarlo

Haremos un análisis de montecarlo para visualizar las desviaciones posibles de nuestro filtro según las tolerancias máximas de nuestros componentes.
En este caso lo haremos para una tolerancia máxima en todos los componentes +-10%.

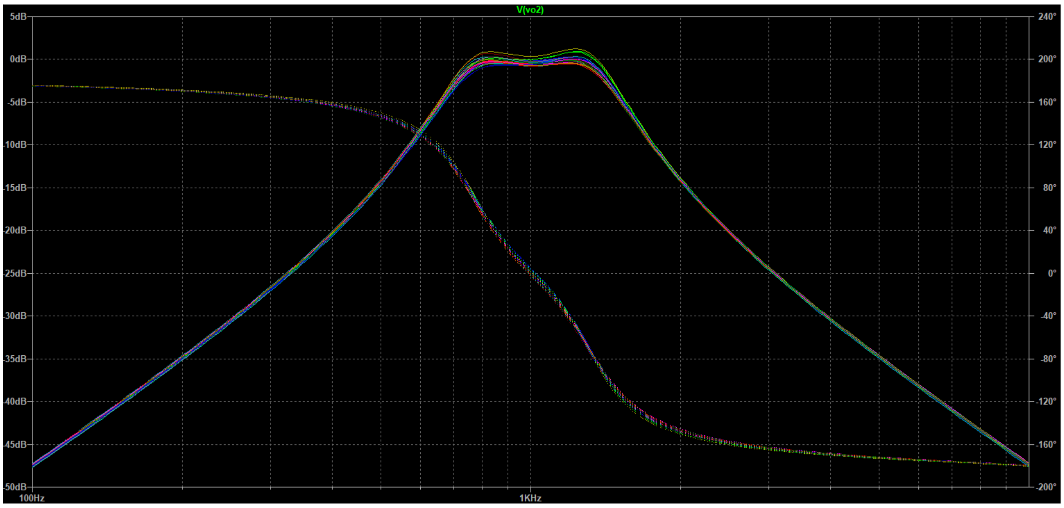
Magnitud



Fase



Para comparar, con componentes con tolerancia del +-1%:



Circuito Adicional: Oscilador 12KHz

Se diseña un circuito oscilador Puente de Wien de modo que su frecuencia de oscilación es de 12 KHz con una tolerancia de +- 100Hz.

Condición de oscilación:

$$A_{vf}(s)=\frac{A_V(S)}{1-T(S)} \rightarrow \infty \quad \text{si} \quad T(j\omega_0)=1$$

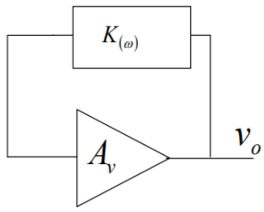
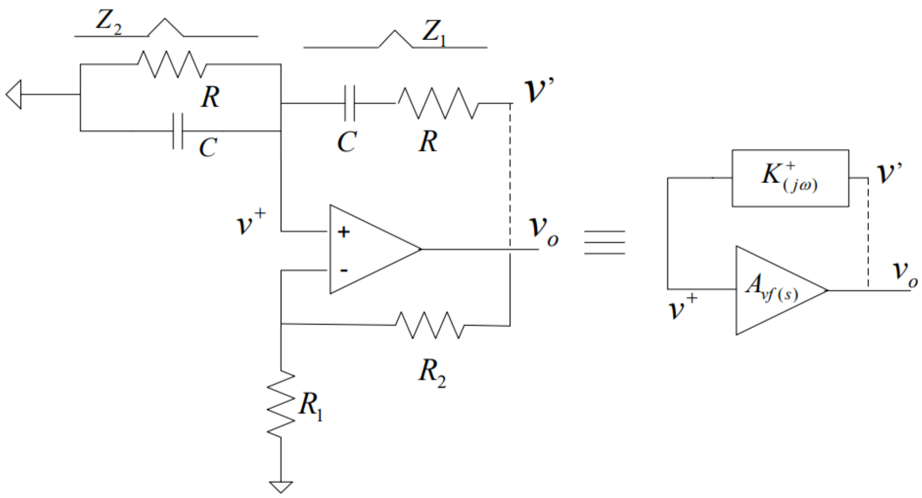


Diagrama esquemático oscilador puente de Wien:



- ## Desarrollo Teórico

$$K^{-} = \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$K^{+}(j\omega) = \frac{1}{1+\frac{R}{R}+\frac{C}{C}+j(\omega RC-\frac{1}{\omega RC})} = \frac{1}{3+j(\frac{\omega}{\omega_x}-\frac{\omega_x}{\omega})} \; ; \; \omega_x = \frac{1}{RC}$$

$$T(s) = K^{+}(s)A_{vf}(s) = K^{+}(s)\left(\frac{\frac{1}{K^{-}}}{1+\frac{s}{\omega_H}}\right)$$

Probaremos con $\omega_x = \omega_{osc} = 2\pi f_{osc}$, a ver si cumplen ambas condiciones(módulo y fase).

$$K^{-} = \frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{1}{K^{+}(\omega_x)} = \frac{1}{3}$$

$$f_H = f_t \times K^{-} = 333,3\ KHz$$

$$Si\ f_H \geq 10 f_{osc} \Rightarrow f_x = f_{osc}$$

$$333,3\ KHz > 120\ KHz \Rightarrow f_x = 12\ KHz \Rightarrow \omega_x = 2\pi f_x = 75.398\ K\frac{rad}{s}$$

Definimos valores de componentes:

R1=1KΩ

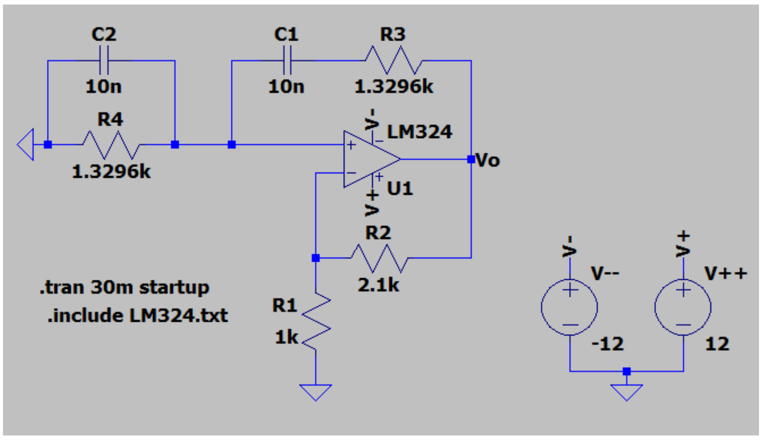
R2=2KΩ(se recomienda aumentar su valor 5% a 10% para que se conserve la oscilación)

C=10nF

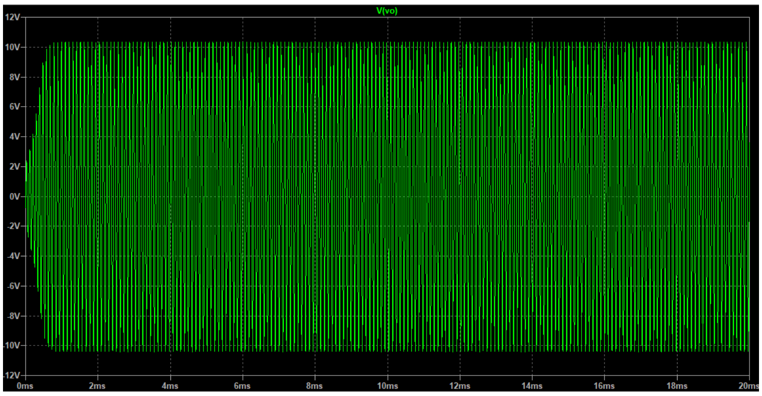
$$R = \frac{1}{C\,2\pi f_x} = 1326,29\Omega$$

- ## Simulación

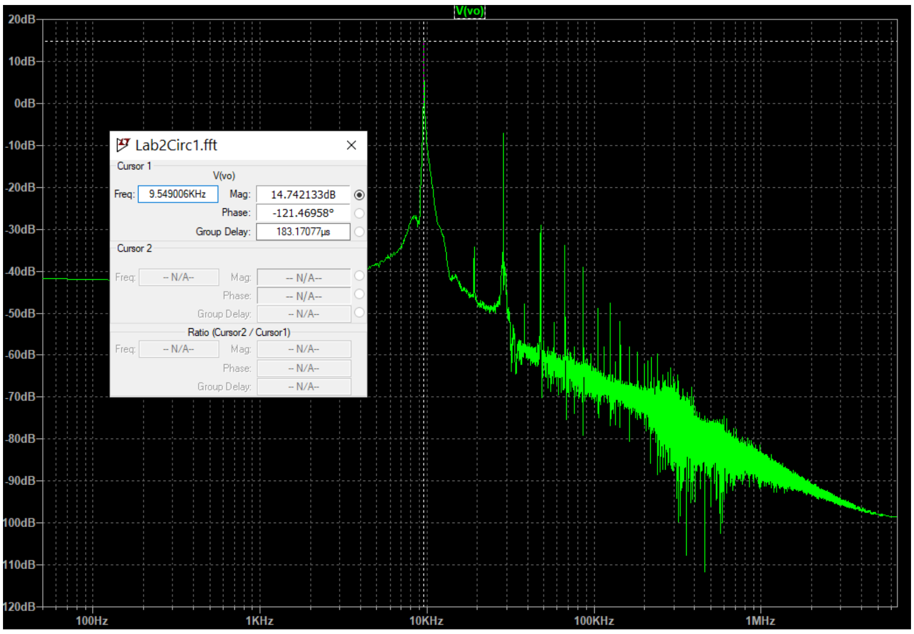
Diagrama Esquemático



Análisis Transient



Respuesta en Frecuencia - FFT



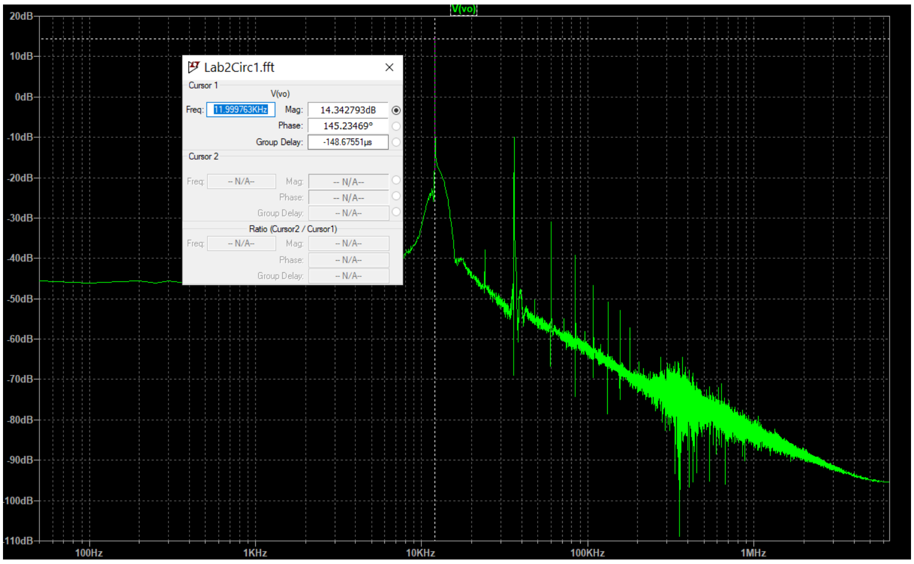
Se observa que la frecuencia de oscilación es de 9.5KHz por lo tanto, para corregirla:

$$f_x = \frac{f_{osc}(BUSCADA)}{f_{osc}(OBTENIDA)} \times f_{osc}(BUSCADA) = 15,1\,KHz$$

Entonces modificamos la R

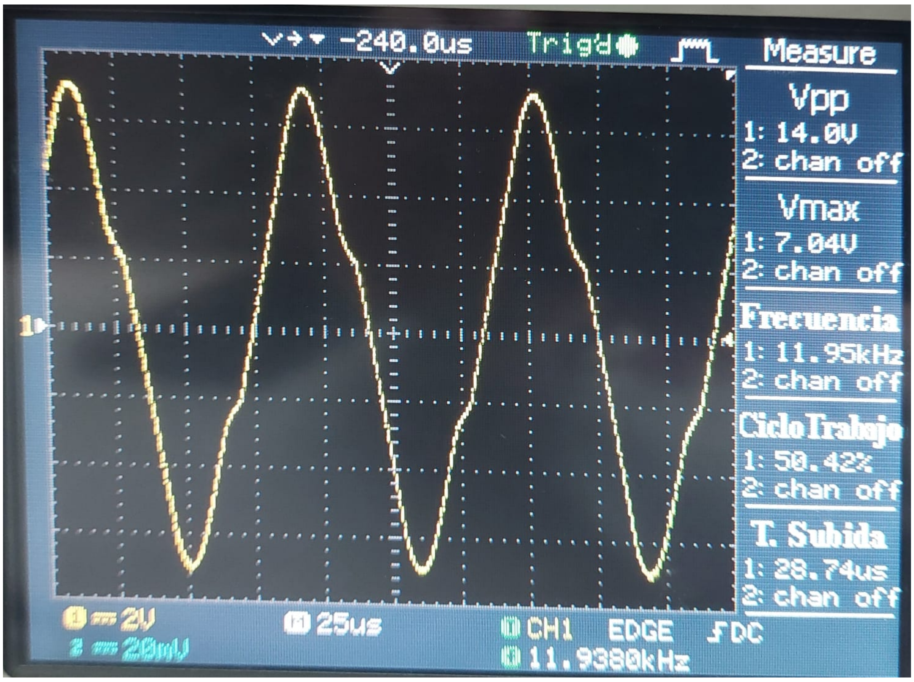
$$R = \frac{1}{C\,2\pi f_x} = 1050\Omega$$

Resultando:

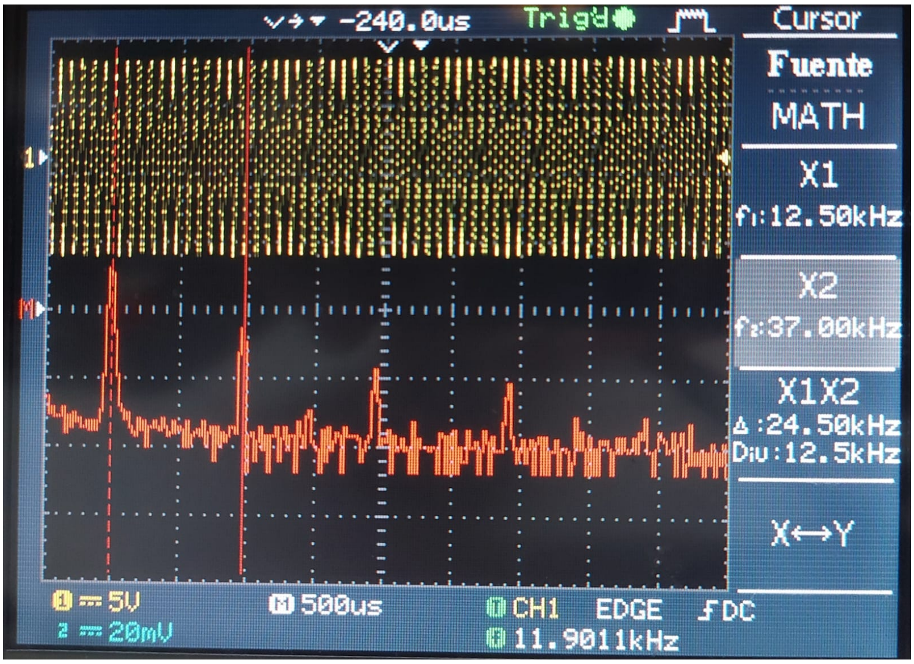


- ## Mediciones

Análisis Transient



Respuesta en Frecuencia - FFT



Se observa que la frecuencia de oscilación del circuito implementado es de 12.5KHz.