



SÍNTESIS DE REDES ACTIVAS

Trabajo Practico de Laboratorio N°4

Filtros Activos

Profesor Titular: Dr. Ing. Ferreyra Pablo
Profesor Adjunto: Ing. Reale Cesar
Ayudante alumno: Lucas Heraldo Duarte

Alumnos: Alaniz Franco
Ferraris Domingo

Año Académico: 2021
Repositorio del trabajo: Git
Date: 29/09/2022

1. *Circuito I: Topologías de realimentación positiva-negativa.*

Se debe sintetizar un filtro pasa banda de cuarto orden con la plantilla de requerimientos de la figura.

Con ayuda de PYTHON y mediante una aproximación de Chebychev, se obtuvieron las funciones de transferencia a sintetizar:

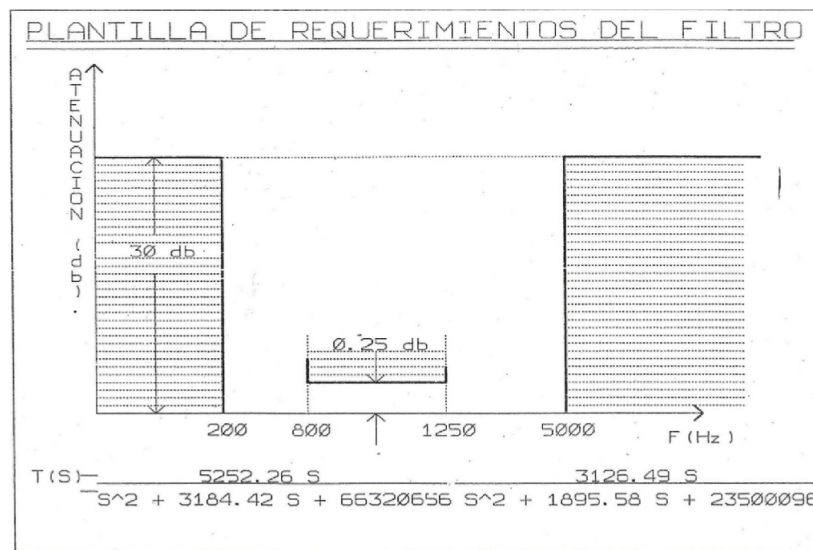


Figura 1: Requerimientos y resultados de la aproximación.

Para realizar un análisis completo de topologías, aprender de la experiencia y utilizar todas las herramientas, se decidió dividir la respuesta del filtro en 2 funciones de transferencia en cascada e implementar una con topología canónica de realimentación positiva (Sallen-Key), la otra con topología canónica de realimentación negativa y agregar un amplificador inversor final como ajuste de ganancia.

En ambos casos se utilizó el método de igualación de coeficientes con las sugerencias del libro "Principles of Active Network Synthesis and Design", de Gobind Daryanani (en adelante "El Daryanani").

NOTA AL PIE: Es claro que incluir un amplificador inversor adicional es contraproducente ya que se agrega una etapa y no se cumple la idea de "la

menor cantidad de amplificadores". Si bien esto se evita sintetizando ambas etapas con topologías del mismo tipo, se considero como objetivo principal analizar y aprender sobre ambas topologías utilizando la mayor cantidad de herramientas.

... se tomo "el camino largo" en pos de hacer el analisis mas completo.

1.1. Analisis de topologias

Se analizaron ambas topologias canonicas de realimentacion positiva/negativa, se plantearon ecuaciones de nodos y mediante el modulo SymPy de PYTHON se consiguieron las funciones de transferencia para cada una.

1.1.1. Bicuadratica de Realimentacion positiva (Sallen-Key)

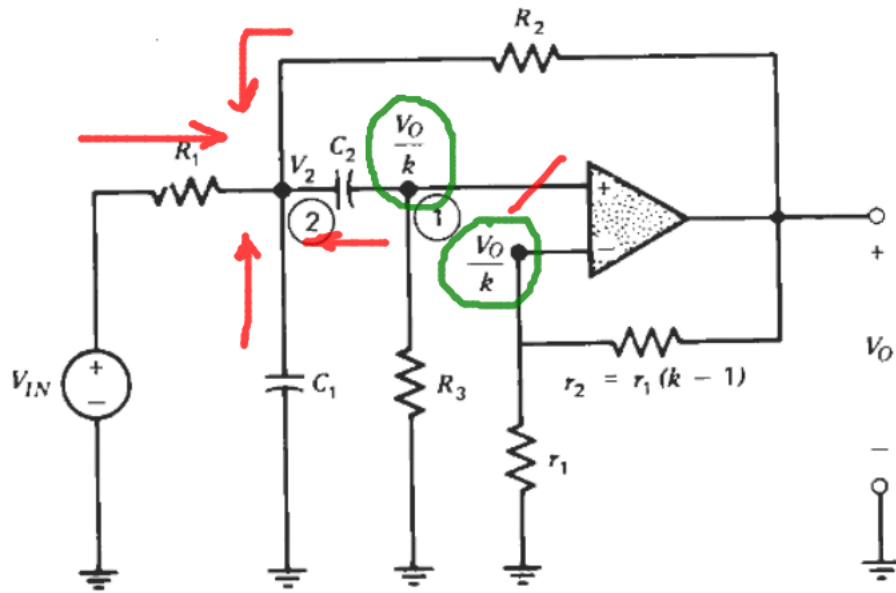


Figura 2: Topologia de realimentacion positiva (Sallen-Key BP).

» Considerando un amplificador ideal de ganancia k , planteando corrientes en los nodos y teniendo en cuenta que las corrientes por C_2 y R_3 son iguales, se llego a las ecuaciones:

$$V_2 \left(C_1 s + C_2 s + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) - \frac{V_o}{R_2} - \frac{V_i}{R_1} - \frac{C_2 V_o s}{k} = 0$$

$$\frac{V_o \left(C_2 s + \frac{1}{R_3} \right)}{k} - C_2 V_2 s = 0$$

» Mediante PYTHON se resolvió para V_o/V_i y se obtuvo la función de transferencia del filtro:

$$G = \frac{\frac{k}{C_1 R_1} s}{s^2 + s \left(\frac{1}{C_2 R_3} + \frac{1}{C_1 R_3} - \frac{k}{C_1 R_2} + \frac{1}{C_1 R_2} + \frac{1}{C_1 R_1} \right) + \frac{1}{C_1 C_2 R_2 R_3} + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_3}} = \frac{k_1 s}{s^2 + a_1 s + b_1} \quad (1)$$

1.1.2. Bicuadrática de Realimentación negativa

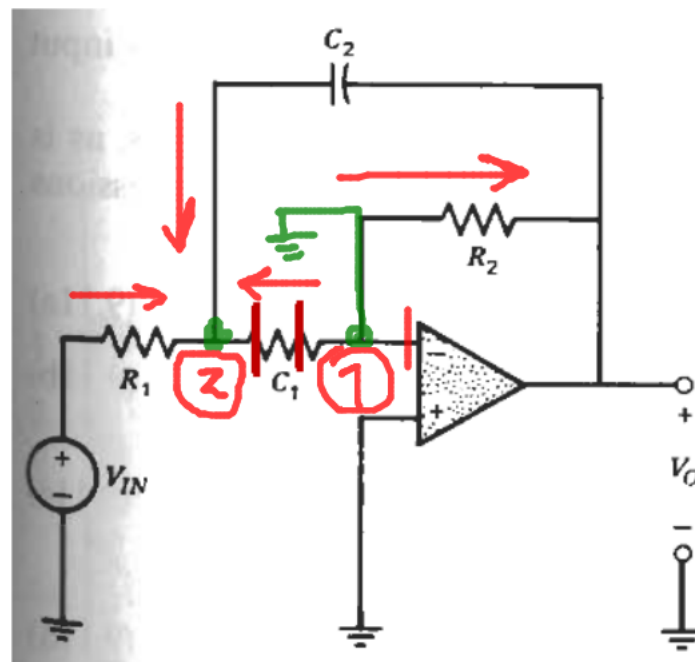


Figura 3: Topología de realimentación negativa, BP (corregido esquema del Daryanani).

» Planteando las ecuaciones de corriente para los nodos 1 y 2, y considerando al amplificador como ideal por lo que $V_1=0$:

$$\begin{aligned}V_2 \left(C_1 s + C_2 s + \frac{1}{R_1} \right) - \frac{V_i}{R_1} - C_2 V_o s &= 0 \\-C_1 V_2 s - \frac{V_o}{R_2} &= 0\end{aligned}$$

» Mediante PYTHON se resolvió para V_o/V_i y se obtuvo la función de transferencia del filtro:

$$G = -\frac{\frac{1}{C_2 R_1} s}{s^2 + s \left(\frac{1}{C_2 R_2} + \frac{1}{C_1 R_2} \right) + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}} = \frac{k_2 s}{s^2 + a_2 s + b_2} \quad (2)$$

1.2. Diseño/síntesis

Con los análisis anteriores se buscaron los valores de componentes mediante la técnica de igualación de coeficientes y siguiendo las recomendaciones de el Daryanani.

1.2.1. Realimentación positiva (Sallen-Key)

» Recordando la FT 1 e igualando a la función de transferencia requerida para la primera etapa, se obtienen las ecuaciones de diseño:

$$G = \frac{k_1 s}{s^2 + a_1 s + b_1} = \frac{5252,26s}{s^2 + 3184,42s + 66320656}$$

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{k}{C_1 R_1} \\ a_1 &= \frac{1}{C_2 R_3} + \frac{1}{C_1 R_3} - \frac{k}{C_1 R_2} + \frac{1}{C_1 R_2} + \frac{1}{C_1 R_1} \\ b_1 &= \frac{1}{C_1 C_2 R_2 R_3} + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_3} \end{aligned}$$

» En las que se tiene más incógnitas que ecuaciones, por lo que se siguieron las condiciones propuestas por el Daryanani:

$$C_1 = C_2 = 1 \quad R_1 = R_2 = R_3 = R$$

Figura 4: Selección de grados de libertad (Daryanani pag. 286).

» Sin considerar la ganancia k_0 (que se ajuste más tarde), aplicando las condiciones se obtuvieron las ecuaciones de síntesis:

$$\begin{aligned} -\frac{k}{R} + \frac{4}{R} &= 3184,42 \\ \frac{2}{R^2} &= 66320656 \end{aligned}$$

» Resolviendo el sistema y escalando R para que C sea de 100nF:

$$C_1 = 100nF$$

$$C_2 = 100nF$$

$$R = 1736,56$$

$$k = 3,45 = 1 + \frac{r_2}{r_1}$$

Para la implementacion se decidio hacer $R \cong 1738\Omega$ (implementanda con una red serie $1,5k\Omega + 220\Omega + 18\Omega$).

Y $k \cong 3,44$, con ($r_1 = 1k\Omega$ y $r_2 = 2440\Omega$ (implementada con red mixta $2,2k\Omega + 720//720//720\Omega$).

1.2.2. Realimentacion negativa

» Recordando la FT 2 e igualando a la funcion de transferencia requerida para la segunda etapa, se obtienen las ecuaciones de diseño:

$$G = \frac{k_2 s}{s^2 + a_2 s + b_2} = \frac{-3126,49s}{s^2 + 1895,58s + 23500096}$$

$$k_2 = -\frac{1}{C_2 R_1}$$

$$a_2 = \frac{1}{C_2 R_2} + \frac{1}{C_1 R_2}$$

$$b_2 = \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}$$

Para este caso tenemos una ganancia negativa propia del amplificador inversor, para resolver esto el ajuste de ganancia se implemento con un aplicador inversor en la ultima etapa del filtro.

» Nuevamente se tiene mas incognitas que ecuaciones, por lo que se siguieron las condiciones propuestas por el Daryanani:

$$C_1 = C_2 = 1$$

Figura 5: Selecccion de grados de libertad (Daryanani pag. 302).

» Sin considerar la ganancia k_1 , aplicando las condiciones se obtuvieron las ecuaciones de síntesis:

$$\frac{2}{R_2} = 1895,58$$
$$\frac{1}{R_1 R_2} = 23500096$$

» Se resolvió el sistema y se escalaron resistencias para que C sea de 100nF :

$$C_1 = 100\text{nF}$$
$$C_2 = 100\text{nF}$$
$$R_1 = 403,31$$
$$R_2 = 10550,86\Omega$$

Para la implementación se decidió hacer $R_1 \cong 410\Omega$ (implementada con una red paralelo $820//820\Omega$).

Y $R_2 \cong 10560\Omega$ (implementada con red serie $10k\Omega + 560\Omega$).

1.3. Simulaciones

Ya con el valor de los componentes se utilizo LTSPICE para simular las etapas por separado y compararlas con la herramienta LAPLACE. Finalmente se pusieron en cascada las etapas y se ajusto la ganancia para cumplir con los requerimientos.

1.3.1. Realimentacion positiva (Sallen-Key)

Para la primer etapa se armo el filtro con los componentes calculados y se configuro la herramienta LAPLACE con los parametros de la primer FT.

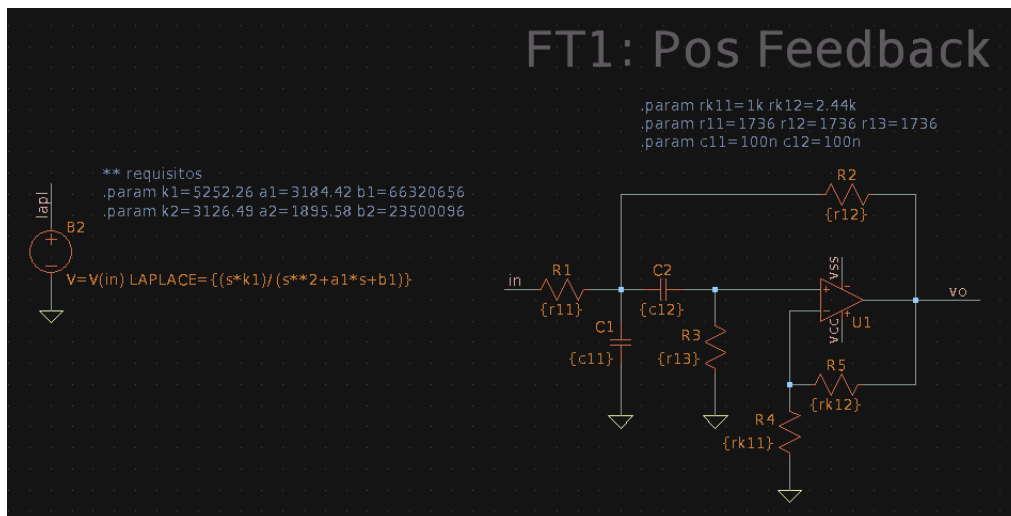


Figura 6: Circuito para primer etapa.

»» Comparando ambas respuestas:

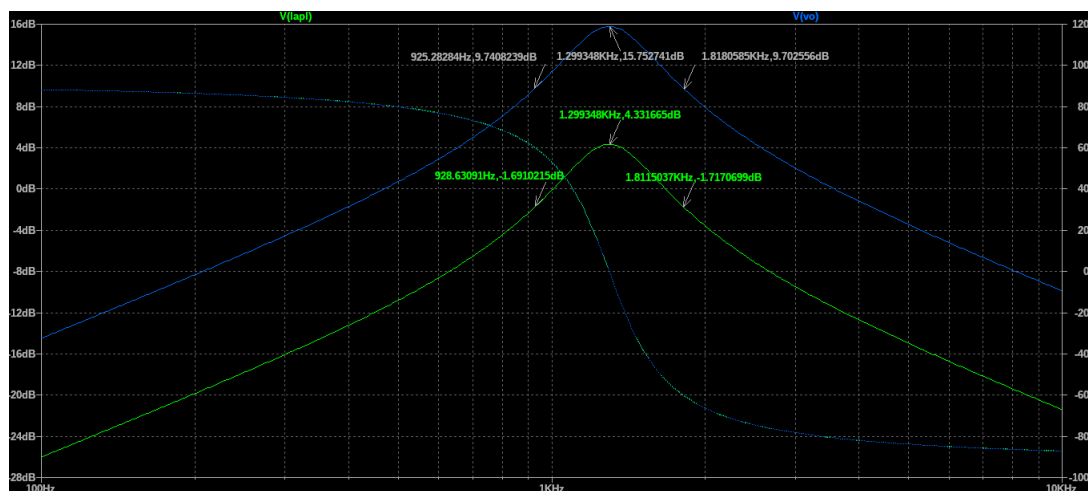


Figura 7: Laplace vs primer etapa.

Ignorando la diferencia de magnitud entre ambas respuestas se tiene para la primer etapa un pasa-banda con frecuencia central de 1.3KHz aprox. y ancho de banda de 893Hz, que es casi identica a la respuesta de LAPLACE con frecuencia central 1.3KHz y ancho de banda 883Hz.

1.3.2. Realimentacion negativa

Para la segunda etapa se armo el filtro con los componentes calculados y se configuro la herramienta LAPLACE con los parametros de la segunda FT.

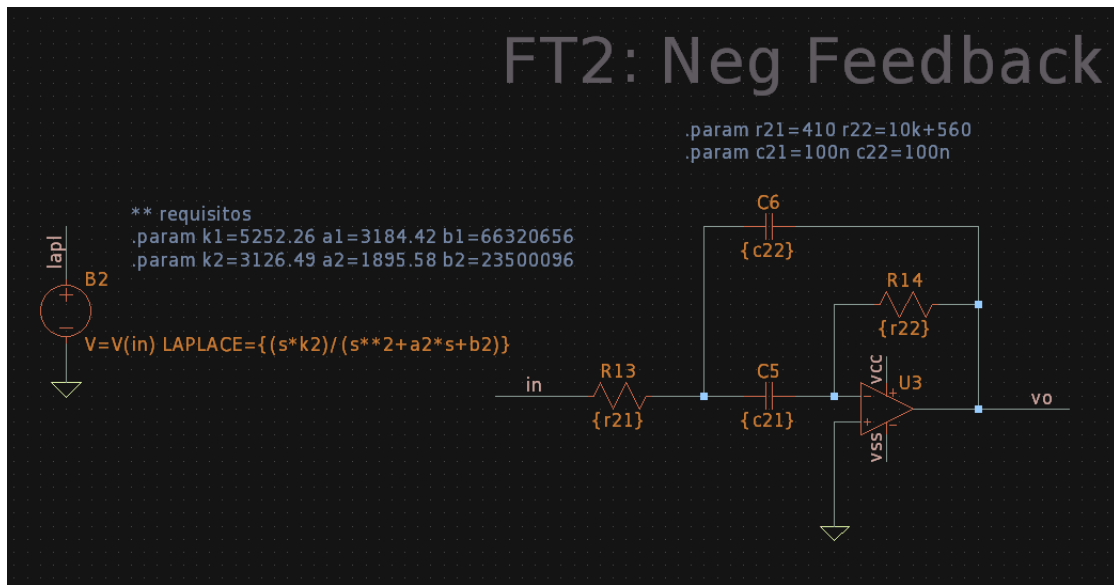


Figura 8: Circuito para segunda etapa.

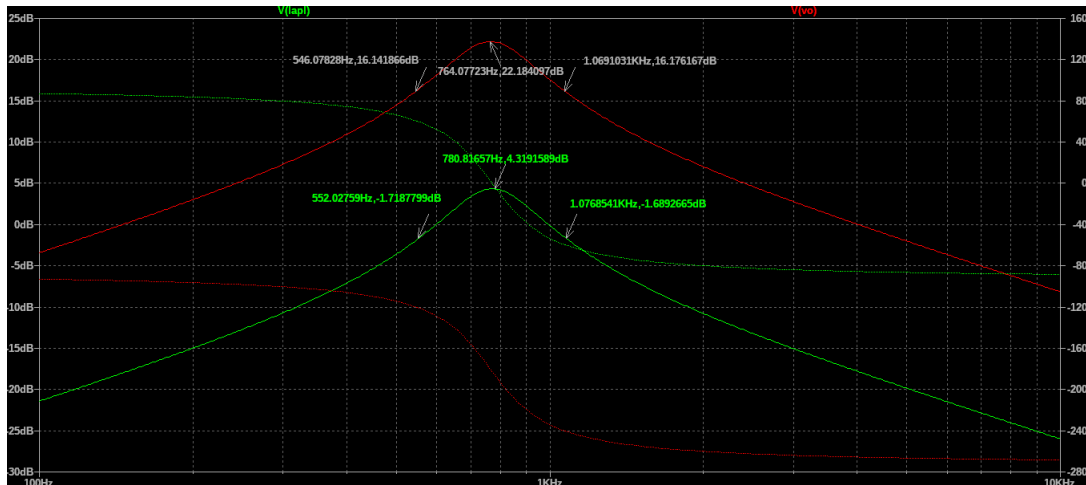


Figura 9: Laplace vs segunda etapa.

Ignorando la diferencia de magnitud entre ambas respuestas se tiene para la segunda etapa un pasa-banda con frecuencia central de 764Hz aprox. y ancho de banda de 454Hz, en este caso algo diferente a la respuesta de LAPLACE con frecuencia central 780Hz y ancho de banda 448Hz. En efecto

aquí se observó como al alejarse del valor calculado para las resistencias, en pos de hacer sencilla la implementación circuital, también nos alejamos de la FT teórica.

1.3.3. Filtro final

Luego se unieron las etapas y se configuró LAPLACE con la función de transferencia final.

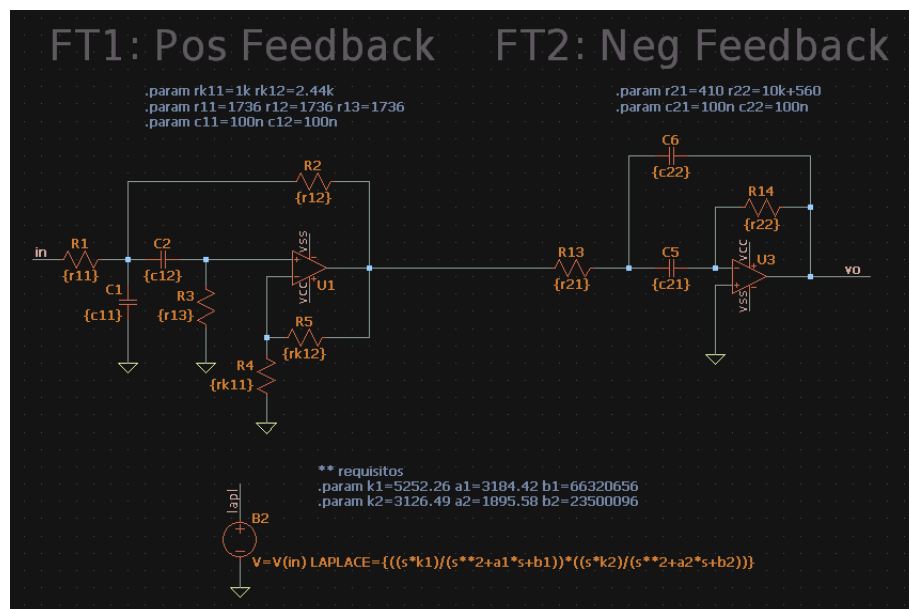


Figura 10: Filtro multi-etapa.

Comparando las respuestas se notaron las diferencias en magnitud y fase respecto de la respuesta ideal.

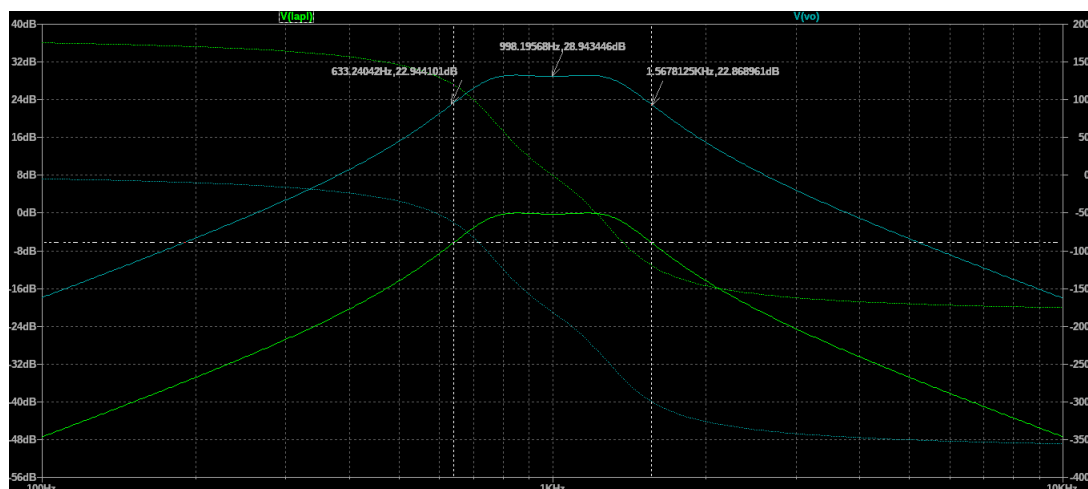


Figura 11: Laplace vs filtro multi-etapa.

Para terminar los ajustes de ganancia y fase se agrego una etapa inversora con una atenuacion de 28.9dB.

$$att = 28,9dB \longrightarrow att = 10^{\frac{28,9}{20}} = 27,86 = \frac{1}{k} \longrightarrow k \cong 0,035$$

$$k = -\frac{R2}{R1} \longrightarrow \mathbf{R1=100k\Omega} \text{ y } \mathbf{R2=3.3k\Omega+220\Omega}$$

» Obteniendo el circuito final:

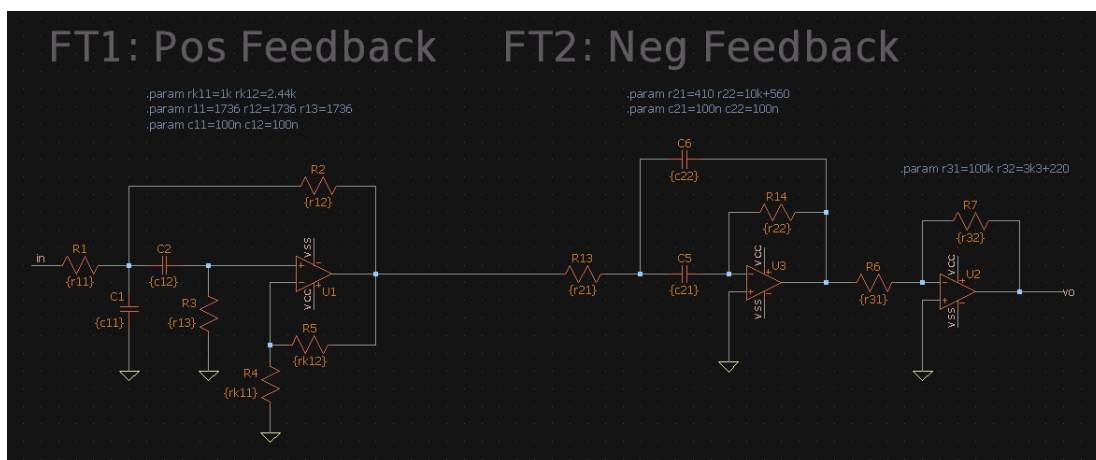


Figura 12: Circuito final.

Y comparando con los requisitos tenemos respuestas muy similares.

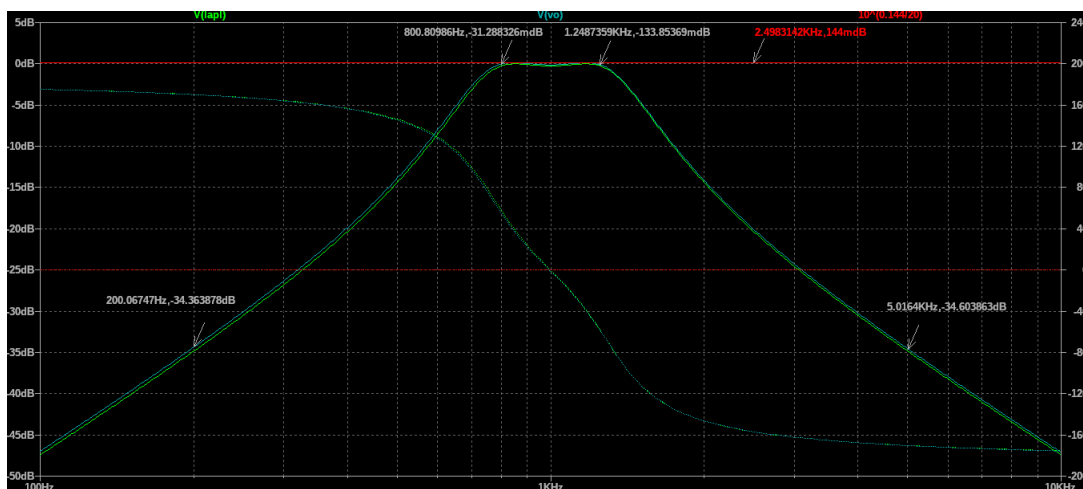


Figura 13: Laplace vs circuito final.

Con lo que se tiene una atenuacion maxima entre los 800 y 1250Hz de 0.27dB (algo superior a la requerida) y una atenuacion mayor a 34dB para los 200Hz y 5KHz respectivamente. Por lo que se sintetizo un filtro casi identico al requerido.

1.4. Analisis de sensibilidades

Se calcularon las sensibilidades de cada FT para ω_p y bw_p con respecto a cada componente. Para ello se hizo uso de PYTHON y las propiedades desarrolladas en el Daryanani para las sensibilidades.

$$S_x^{p_1 p_2} = S_x^{p_1} + S_x^{p_2} \quad (5.11a)$$

$$S_x^{p_1/p_2} = S_x^{p_1} - S_x^{p_2} \quad (5.11b)$$

$$S_{x^n}^p = \frac{1}{n} S_x^p \quad (5.11c)$$

$$S_x^{p^n} = n S_x^p \quad (5.11d)$$

$$S_x^{p_1 + p_2} = \frac{p_1 S_x^{p_1} + p_2 S_x^{p_2}}{p_1 + p_2} \quad (5.11e)$$

$$S_x^{cf(x)} = S_x^{f(x)} \quad (5.11f)$$

Figura 14: Propiedades para la sensibilidad (Daryanani pag. 149).

Luego se comprobaron los resultados obtenidos con las identidades de verificación que nos da el Daryanani.

$$\sum S_{R_i}^{Q_p} = \sum S_{C_i}^{Q_p} = 0 \quad (5.25a)$$

$$\sum S_{R_i}^{\omega_p} = \sum S_{C_i}^{\omega_p} = -1 \quad (5.25b)$$

Figura 15: Identidades de verificación (Daryanani pag. 155).

Y finalmente se reemplazaron los valores de componentes y obtuvieron los valores de sensibilidad para cada circuito.

1.4.1. Realimentación positiva (Sallen-Key)

» Recordando la topología analizada y la FT (1) obtenida:

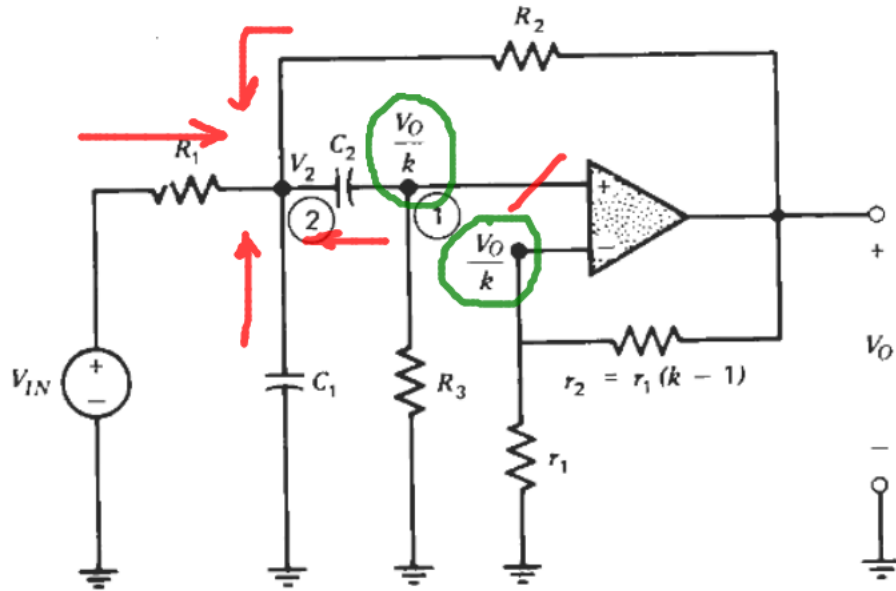


Figura 16: Topologia de realimentacion positiva (Sallen-Key BP).

» Se identifican por inspeccion los parametros:

$$\omega_p^2 = \frac{1}{R_1 C_1 R_3 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2 R_3 C_1} = \omega_1 \omega_{32} + \omega_2 \omega_{31}$$

$$\frac{\omega_p}{Q_p} = bw_p = \frac{1}{R_2 C_1} (1 - k) + \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_3 C_1} + \frac{1}{R_3 C_2} = \omega_{21} (1 - k) + \omega_1 + \omega_{31} + \omega_{32}$$

Donde por simplicidad se define (con 1 o 2 sub-indices) $\omega = \begin{cases} \omega_{ij} = \frac{1}{R_i C_j}, & si \quad i \neq j \\ \omega_i = \frac{1}{R_i C_i}, & si \quad i = j \end{cases}$

De esta forma se identifico que por ejemplo ω_p^2 esta compuesto por una suma de productos de parametros.

Con esto en mente se empezaron a aplicar las propiedades para la suma y producto de sensibilidades.

Como es una suma:

$$S_x^{\omega_p^2} = \frac{\omega_1 \omega_{32} S_x^{\omega_1 * \omega_{32}} + \omega_2 \omega_{31} S_x^{\omega_2 * \omega_{31}}}{\omega_1 \omega_{32} + \omega_2 \omega_{31}}$$

Desarrollando los productos:

$$\begin{aligned} S_x^{\omega_1 * \omega_{32}} &= S_x^{\omega_1} + S_x^{\omega_{32}} \\ S_x^{\omega_2 * \omega_{31}} &= S_x^{\omega_2} + S_x^{\omega_{31}} \end{aligned}$$

$$S_x^{\omega_p^2} = \frac{\omega_1 \omega_{32} (S_x^{\omega_1} + S_x^{\omega_{32}}) + \omega_2 \omega_{31} (S_x^{\omega_2} + S_x^{\omega_{31}})}{\omega_1 \omega_{32} + \omega_2 \omega_{31}}$$

Y aplicando la propiedad para la potencia:

$$S_x^{\omega_p^2} = 2S_x^{\omega_p}$$

» Donde x representa cualquier componente del circuito, por ejemplo para la sensibilidad de los parametros respecto de R1 se tiene:

$$S_{R1}^{\omega_1} = -1, \quad S_{R1}^{\omega_{32}} = 0, \quad S_{R1}^{\omega_2} = 0, \quad S_{R1}^{\omega_{31}} = 0$$

» Reemplazando para el parametro que nos interesa:

$$S_{R1}^{\omega_p} = -\frac{1}{2} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Siguiendo este procedimiento se obtuvieron las sensibilidades de los parametros de interes respecto de todos los componentes del circuito. Para acelerar el proceso se trabajo con ecuaciones simbolicas en PYTHON.

Sensibilidades para ω_p :

$$\begin{aligned} S_{R1}^{\omega_p} &= -\frac{1}{2} \frac{R_2}{R_1 + R_2} & S_{C1}^{\omega_p} &= -\frac{1}{2} \\ S_{R2}^{\omega_p} &= -\frac{1}{2} \frac{R_1}{R_1 + R_2} & S_{C2}^{\omega_p} &= -\frac{1}{2} \\ S_{R3}^{\omega_p} &= -\frac{1}{2} \end{aligned}$$

Sensibilidades para bw_p :

$$\begin{aligned} S_{R1}^{bw_p} &= -\frac{1}{C_1 R_1} \frac{1}{bw_p} & S_{C1}^{bw_p} &= -\frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 (1 - k) + R_2 R_3}{C_1 R_1 R_2 R_3} \frac{1}{bw_p} \\ S_{R2}^{bw_p} &= -\frac{1 - k}{C_1 R_2} \frac{1}{bw_p} & S_{C2}^{bw_p} &= -\frac{1}{C_2 R_3} \frac{1}{bw_p} \\ S_{R3}^{bw_p} &= -\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 R_3} \frac{1}{bw_p} \end{aligned}$$

Tambien se comprobaron mediante PYTHON las igualdades de verificación de $S_x^{\omega_p}$ y $S_x^{Q_p}$; obteniendo esta ultima aplicando la propiedad de cociente de sensibilidades para $S_x^{bw_p}$ y despejando $S_x^{Q_p}$:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^3 S_{R_i}^{\omega_p} &= \sum_{i=1}^2 S_{C_i}^{\omega_p} = -1 \\ \sum_{i=1}^3 S_{R_i}^{Q_p} &= \sum_{i=1}^2 S_{C_i}^{Q_p} = 0 \end{aligned}$$

Finalmente se reemplazaron los valores de los componentes por los utilizados en la implementación del circuito, para obtener las sensibilidades de la primer etapa con topología de realimentación positiva.

Como: $C_1 = 100nF$, $C_2 = 100nF$, $R = 1738\Omega$, $k = 3,44$

$$S_{R1}^{\omega_p} = S_{R2}^{\omega_p} = -0,25, \quad S_{R3}^{\omega_p} = -0,5 \quad (3)$$

$$S_{C1}^{\omega_p} = S_{C2}^{\omega_p} = -0,5 \quad (4)$$

$$S_{R1}^{bw_p} = -1,81, \quad S_{R2}^{bw_p} = 4,41, \quad S_{R3}^{bw_p} = -3,61 \quad (5)$$

$$S_{C1}^{bw_p} = 0,79, \quad S_{C2}^{bw_p} = -1,81 \quad (6)$$

1.4.2. Realimentacion negativa

» Recordando la topologia analizada y la FT (2)

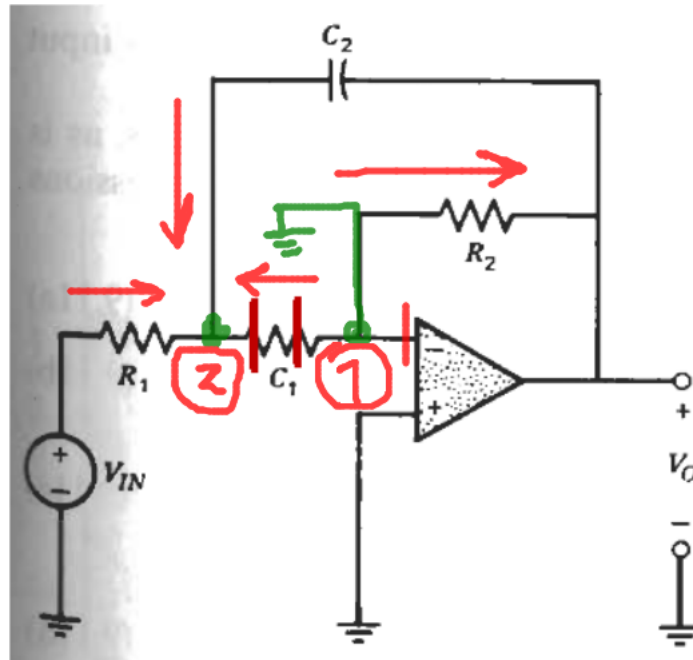


Figura 17: Topologia de realimentacion negativa.

» Por inpeccion indentificamos los parametros:

$$\omega_p^2 = \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_2} = \omega_1 \omega_2$$

$$\frac{\omega_p}{Q_p} = bw_p = \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_2 C_1} = \omega_2 + \omega_{21}$$

Donde por simplicidad se define (con 1 o 2 sub-indices) $\omega = \begin{cases} \omega_{ij} = \frac{1}{R_i C_j}, & si \quad i \neq j \\ \omega_i = \frac{1}{R_i C_i}, & si \quad i = j \end{cases}$

Se aplicaron las propiedades para las sensibilidades y se siguió el mismo procedimiento para obtener las sensibilidades de los parámetros de interés respecto de todos los componentes del circuito.

Sensibilidades para ω_p :

$$\begin{aligned} S_{R1}^{\omega_p} &= -0,5 & S_{C1}^{\omega_p} &= -0,5 \\ S_{R2}^{\omega_p} &= -0,5 & S_{C2}^{\omega_p} &= -0,5 \end{aligned}$$

Sensibilidades para bw_p :

$$\begin{aligned} S_{R1}^{bw_p} &= 0 & S_{C1}^{bw_p} &= -\frac{C_2}{C_1 + C_2} \\ S_{R2}^{bw_p} &= -1 & S_{C2}^{bw_p} &= -\frac{C_1}{C_1 + C_2} \end{aligned}$$

» Se comprobaron mediante PYTHON las igualdades de verificación para validar las expresiones encontradas:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^2 S_{R_i}^{\omega_p} &= \sum_{i=1}^2 S_{C_i}^{\omega_p} = -1 \\ \sum_{i=1}^2 S_{R_i}^{Q_p} &= \sum_{i=1}^2 S_{C_i}^{Q_p} = 0 \end{aligned}$$

Finalmente se reemplazaron los valores de los componentes por los utilizados en la implementación del circuito, para obtener las sensibilidades de la segunda etapa con topología de realimentación negativa.

Como: $C_1 = 100nF$, $C_2 = 100nF$, $R1 = 410\Omega$, $R2 = 10560\Omega$

$$\mathbf{S}_{R1}^{\omega_p} = \mathbf{S}_{R2}^{\omega_p} = -0,5 \quad (7)$$

$$\mathbf{S}_{C1}^{\omega_p} = \mathbf{S}_{C2}^{\omega_p} = -0,5 \quad (8)$$

$$S_{R1}^{bw_p} = 0, \quad S_{R2}^{bw_p} = -1 \quad (9)$$

$$S_{C1}^{bw_p} = S_{C2}^{bw_p} = -0,5 \quad (10)$$

1.5. Analisis de tolerancias (Worst Case Analysis)

Se utilizaron las sensibilidades obtenidas para analizar el cambio por unidad de los parametros requeridos para una tolerancia dada de los componentes.

Como desarrolla el Daryanani el cambio de un parametro debido a pequeñas variaciones en el valor de los componentes se puede obtener por un desarrollo en series de Taylor de primer orden y relacionando la expresion con el concepto de sensibilidad.

$$\begin{aligned}\frac{\Delta Q_p}{Q_p} &= \sum_{j=1}^m S_{x_j}^{Q_p} V_{x_j} & \frac{\Delta K}{K} &= \sum_{j=1}^m S_{x_j}^K V_{x_j} \\ \frac{\Delta \omega_z}{\omega_z} &= \sum_{j=1}^m S_{x_j}^{\omega_z} V_{x_j} & \frac{\Delta Q_z}{Q_z} &= \sum_{j=1}^m S_{x_j}^{Q_z} V_{x_j}\end{aligned}$$

Figura 18: Variabilidad en parametros por tolerancias de los componentes (Daryanani pag. 152).

Se realizo un script en PYTHON para calcular el cambio por unidad de ω_p y bw_p con una tolerancia de los componentes del 10 % para ambas topologias analizadas.

1.5.1. Realimentacion positiva (Sallen-Key)

» Siguiendo lo desarrollado en el Daryanani, y teniendo en cuenta que para este caso la tolerancia de todos los componentes es la misma:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta \omega_p}{\omega_p} &= \sum_i S_{x_i}^{\omega_p} \frac{\Delta x_i}{x_i} = \frac{\Delta x}{x} (S_{R1}^{\omega_p} + S_{R2}^{\omega_p} + S_{R3}^{\omega_p} + S_{C1}^{\omega_p} + S_{C2}^{\omega_p}) \\ &= 0,1 (S_{R1}^{\omega_p} + S_{R2}^{\omega_p} + S_{R3}^{\omega_p} + S_{C1}^{\omega_p} + S_{C2}^{\omega_p}) \\ &= -0,2000\end{aligned}$$

$$\frac{\Delta bw_p}{bw_p} = \sum_i S_{x_i}^{bw_p} \frac{\Delta x_i}{x_i} = -0,2024$$

Lo que significa que el el peor de los casos cuando los componentes varien un 10 % de su valor nominal, ω_p y bw_p variaran un 20 % aproximadamente.

1.5.2. Realimentacion negativa

» Siguiendo lo desarrollado en el Daryanani, y teniendo en cuenta que para este caso la tolerancia de todos los componentes es la misma:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta\omega_p}{\omega_p} &= \sum_i S_{x_i}^{\omega_p} \frac{\Delta x_i}{x_i} = \frac{\Delta x}{x} (S_{R1}^{\omega_p} + S_{R2}^{\omega_p} + S_{R3}^{\omega_p} + S_{C1}^{\omega_p} + S_{C2}^{\omega_p}) \\ &= 0,1(S_{R1}^{\omega_p} + S_{R2}^{\omega_p} + S_{R3}^{\omega_p} + S_{C1}^{\omega_p} + S_{C2}^{\omega_p}) \\ &= -0,2000\end{aligned}$$

$$\frac{\Delta bw_p}{bw_p} = \sum_i S_{x_i}^{bw_p} \frac{\Delta x_i}{x_i} = -0,2000$$

Nuevamente se vio que en el peor de los casos cuando los componentes varien un 10 % de su valor nominal, ω_p y bw_p variaran un 20 % aproximadamente.

1.6. Analisis de desviaciones

La simulacion de Montecarlo genera un numero aleatorio, de distribucion uniforme, entre el valor nominal +/- la tolerancia para el valor de cada componente.

Se configuraron los componentes de cada etapa para realizar el analisis de Montecarlo para una tolerancia del 10 %. Ademas se definieron los parametros var1, var2 y var3 con el que se activa/anula el analisis para cada etapa por separado, por ejemplo para ver el cambio en la respuesta del filtro debido a variaciones en los componentes de la etapa 1.

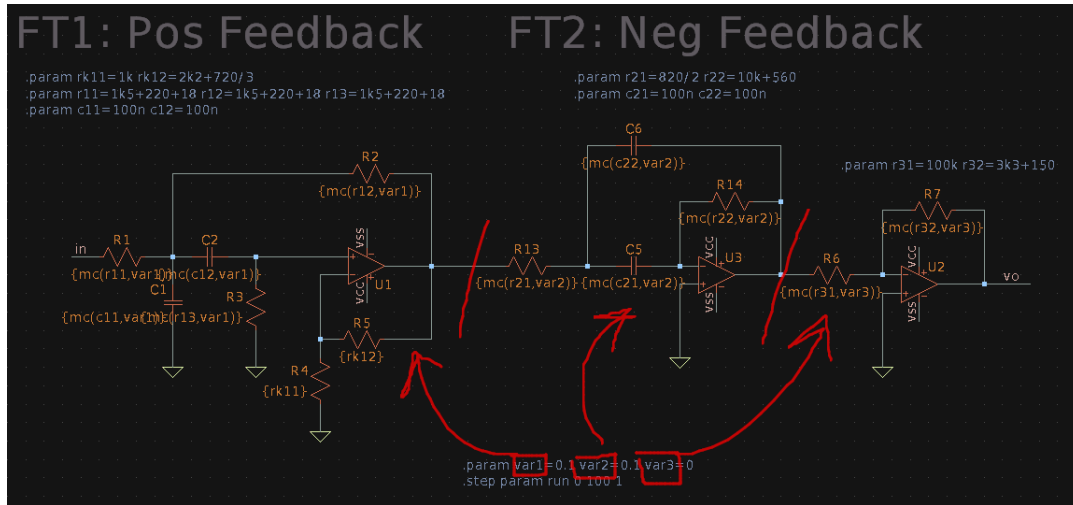


Figura 19: Analisis de montecarlo.

Utilizando Montecarlo se obtuvo una idea de que tanto podria distorsionarse la respuesta del filtro debido a la tolerancia de los componentes.

Por ultimo se utilizo la herramienta MEASURE para calcular el valor medio de la respuesta en la banda de paso para cada iteracion del analisis de Montecarlo, como adicional para tener una idea de en que rango de valores es mas probable que este la magnitud de la respuesta.

1.6.1. Realimentacion positiva (Sallen-Key)

» Para este caso se aplico el analisis de Montecarlo solo a la etapa de realimentacion positiva:

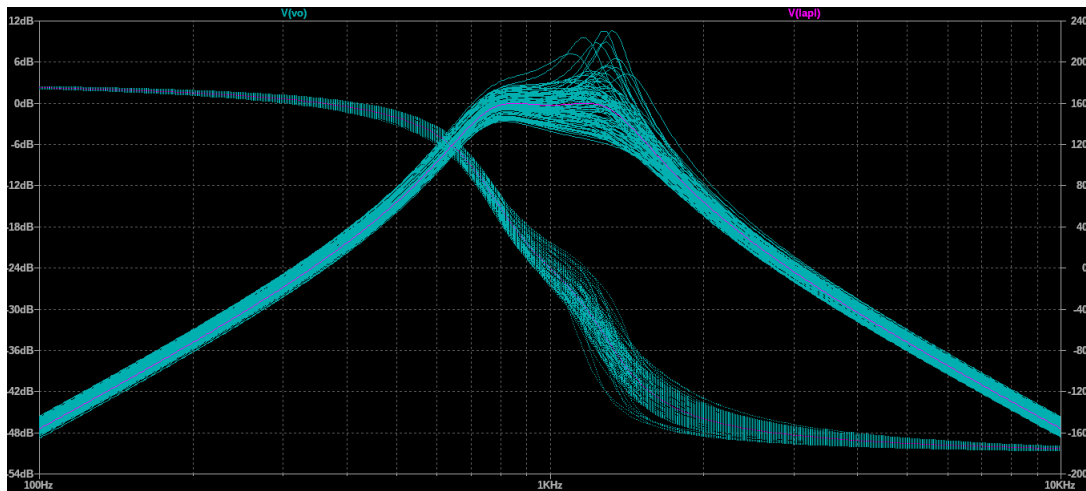


Figura 20: Montecarlo, primer etapa.

Se noto como variaciones en el valor de los componentes pueden generar un pico importante de casi 12dB en la magnitud de la respuesta a los 1.2kHz aprox. Vemos de esta forma como la primer etapa influye principalmente en la parte alta de nuestra banda de paso.

1.6.2. Realimentacion negativa

» Para este caso se aplico el analisis de Montecarlo solo a la etapa de realimentacion negativa:

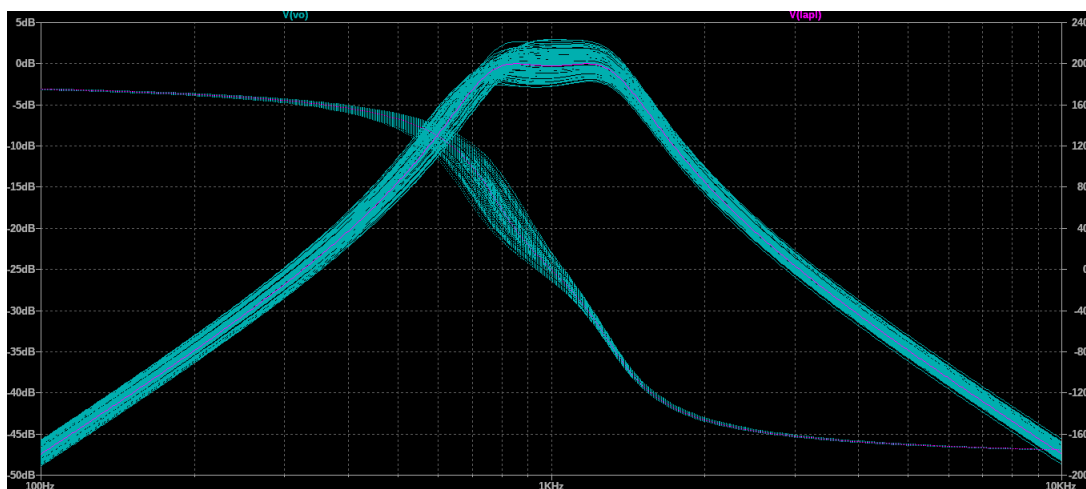


Figura 21: Montecarlo, segunda etapa.

Se noto como variaciones en el valor de los componentes generan un aumento en la magnitud a los 800Hz aprox. pero no genera picos abruptos de magnitud. Vemos de esta forma como la segunda etapa influye principalmente en la parte baja de nuestra banda de paso y en general la respuesta es mas suave, lo que puede deberse a la realimentacion negativa de esta topologia.

1.6.3. Filtro final.

» Por ultimo se aplico el analisis de Montecarlo en ambas etapas considerando la tolerancia para todos los componentes del 10%:

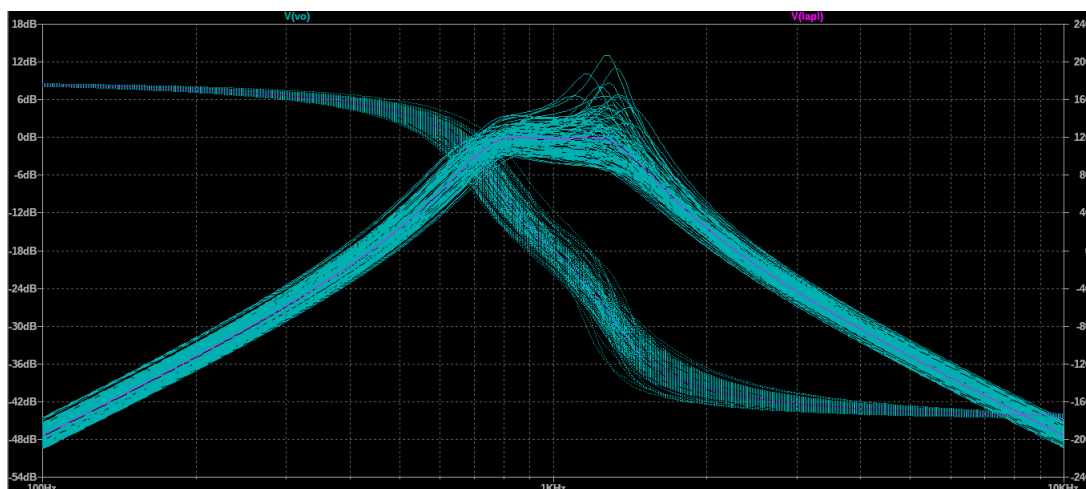


Figura 22: Montecarlo, circuito final.

Con esto tenemos una idea de la respuesta del filtro para variaciones aleatorias en el valor de los componentes.

Ademas se utilizo la herramienta MEASURE por ejemplo para sacar el valor medio de la respuesta en la banda de paso para cada iteracion del analisis de Montecarlo.

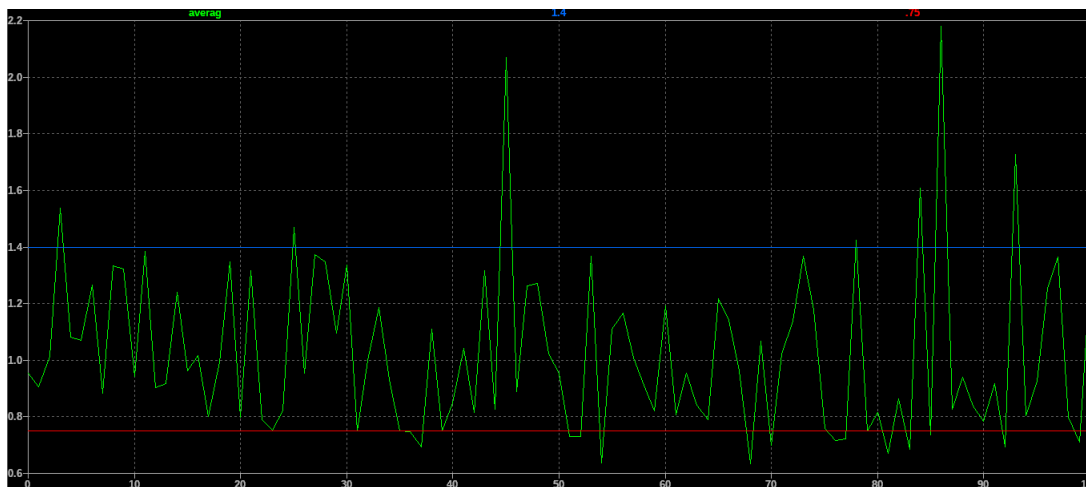


Figura 23: Valores medios de magnitud en la banda de paso.

Con esto podemos darnos una idea aproximada de que el valor medio de

la respuesta en la banda de paso esta comprendido entre los 0.75dB y 1.4dB la mayoría de las veces.

1.6.3.1 Mejorar respuesta

Como se analizo antes, la distorsion mas grande de la respuesta es el pico de ganancia debido a la dispersion del valor de los componentes de la etapa con realimentacion positiva. Es claro que para mejorar la respuesta ante las posibles variaciones tenemos que mejorar los componentes de la primer etapa.

Teniendo en cuenta esto se realizo otro analisis pero con una tolerancia del 1 % en los componentes de la etapa con realimentacion positiva.

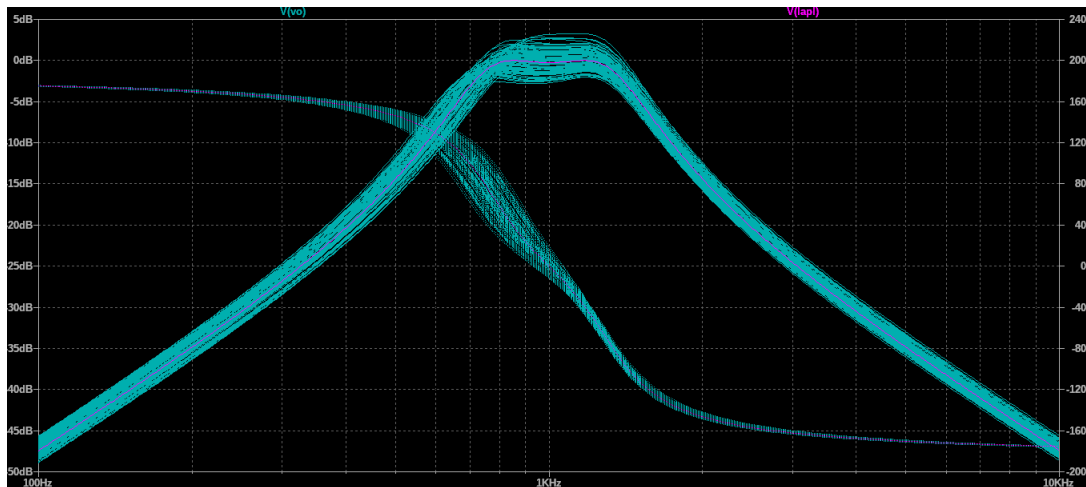


Figura 24: Primera etapa, componentes con tolerancia del 1 %.

Vemos como mejorando la tolerancia desaparece el pico de ganancia aumentando asi las probabilidades de sintetizar un filtro mas fiel a la respuesta requerida.