

Parte I

Celda Sallen-Key

1. Introducción

Se llama filtros activos a aquellos que agregan componentes activos al circuito, como lo es en este caso la utilización de un amplificador operacional. En el caso de la celda Sallen-Key se utilizan solo resistores y capacitores como componentes pasivos y dependiendo de su ubicación dentro del circuito se obtienen los diferentes tipos de filtros. En esta primer parte se mostrará el análisis e implementación de celdas Sallen-Key para la creación de dos filtros pasa-bajos, utilizando la aproximación de Legendre para uno y la de Bessel para el restante.

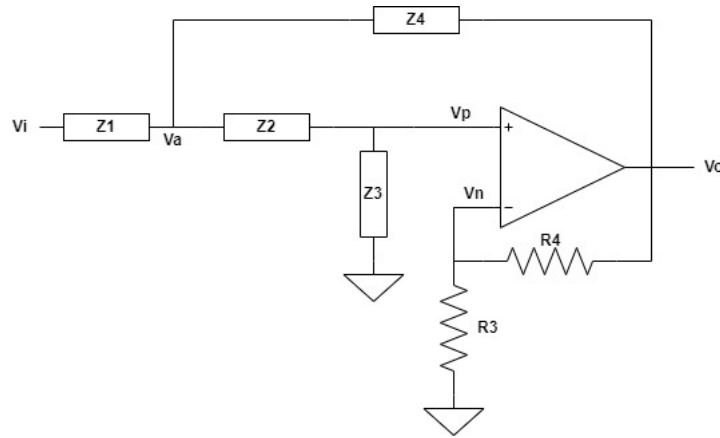


FIGURA 1: Celda Sallen-Key genérica

2. Análisis Teórico

2.0.1. Función Transferencia

A continuación en esta sección se realizará el análisis del circuito, se buscará la función transferencia genérica y luego se harán los reemplazos necesarios para obtener la del filtro pasa-bajos.

$$\begin{cases} V_o = A_{Vol} (V_p - V_n) \\ V_o = V_n K \\ V_p = V_a \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3} \\ \frac{V_a - V_{in}}{Z_1} + \frac{V_a - V_p}{Z_2} + \frac{V_a - V_o}{Z_4} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Donde $K = \frac{R_3 + R_4}{R_3}$. Utilizando software de cálculo y la aproximación de A_{Vol} infinito se obtiene la siguiente expresión:

$$H(S) = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{K}{\frac{Z_1 Z_2}{Z_3 Z_4} + \frac{Z_1 + Z_2}{Z_3} + \frac{Z_1 (1 - K)}{Z_4} + 1} \quad (2)$$

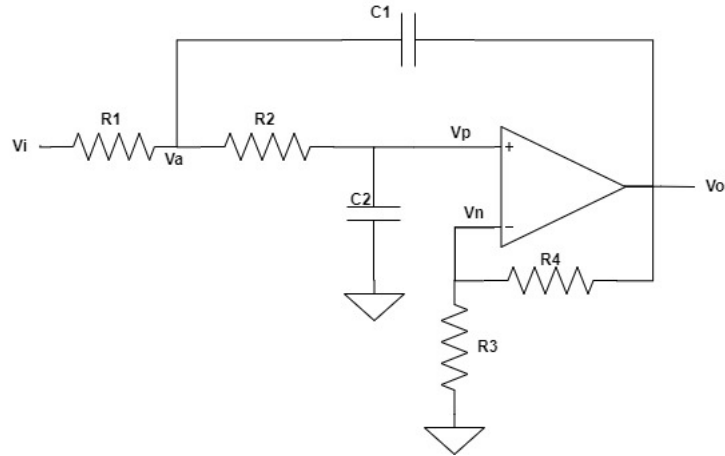


FIGURA 2: Celda Sallen-Key genérica

Para el caso de un filtro pasa-bajos se cambias las impedancias por resistencias y capacitores de la forma que puede observarse en la Figura ?? y se obtiene la función transferencia siguiente:

$$H(S) = \frac{K}{(R_1 R_2 C_1 C_2) S^2 + ((R_1 + R_2)C_2 + (1 - K)C_1 R_1)S + 1} \quad (3)$$

$$H(S) = \frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{(R_1 R_2 C_1 C_2) S^2 + \left((R_1 + R_2) C_2 - C_1 R_1 \frac{R_4}{R_3} \right) S + 1} \quad (4)$$

Habiendo reemplazado $Z_1 = R_1$, $Z_2 = R_2$, $Z_3 = \frac{1}{S C_2}$, $Z_4 = \frac{1}{S C_1}$. Se puede despejar de la Ecuación ?? que:

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (5)$$

$$\frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{R_1 (C_1 + C_2) - R_2 C_2 \frac{R_4}{R_3}} \quad (6)$$

2.0.2. Sensibilidades

Celda Sallen-Key		
	W_0	Q
R_1	-1/2	$\frac{1}{2} \frac{C_1 R_1 R_4 + R_3 C_2 R_2 - R_3 C_2 R_1}{(C_2 R_3 (R_1 + R_2) - C_1 R_1 R_4)}$
R_2	-1/2	$-\frac{1}{2} \frac{C_1 R_1 R_4 + R_3 C_2 R_2 - R_3 C_2 R_1}{C_2 R_3 (R_1 + R_2) - C_1 R_1 R_4}$
C_1	-1/2	$-\frac{1}{2} \frac{C_1 R_1 R_4 + C_2 (R_1 + R_2)}{C_1 R_1 R_4 - C_2 R_3 (R_1 + R_2)}$
C_2	-1/2	$\frac{1}{2} \frac{C_1 R_1 R_4 + C_2 (R_1 + R_2)}{C_1 R_1 R_4 - C_2 R_3 (R_1 + R_2)}$
R_3	0	$\frac{C_1 R_1 R_4}{C_1 R_1 R_4 - C_2 R_3 (R_1 + R_2)}$
R_4	0	$-\frac{C_1 R_1 R_4}{C_1 R_1 R_4 - C_2 R_3 (R_1 + R_2)}$

Se puede observar que W_0 es de igual forma sensible tanto a $R_1 R_2 C_1$ y C_2 , mientras que Q depende de los componentes elegidos.

3. Diseño del Filtro

Se busca implementar dos filtros pasa-bajos con las siguientes características:

Legendre	
Orden	5
f_p	$33 \text{ kHz} \pm 5 \%$
A_p	3 dB
$ Z_{in}(f) $	$\geq 50 \text{ k}\Omega$

TABLA 1: Legendre para alta señal

Bessel	
f_p	2200 Hz
f_a	10400 Hz
A_p	3 dB
A_a	40 dB
$\Upsilon(f_p)$	$\leq 5 \%$
$ Z_{in}(f) $	$\geq 50 \text{ k}\Omega$

TABLA 2: Bessel para baja señal

3.1. Legendre

Mediante el empleo de software se logró conseguir la función transferencia del circuito mediante la aproximación por polinomios de Legendre y como resultado se obtuvo:

$$H(S) = \frac{G}{(s + p_1)(s + p_1^*)(s + p_2)(s + p_2^*)(s + p_3)} \quad (7)$$

Con los valores $p_1 = (-32840 + 206900j)$, $p_2 = (-82990 + 125800j)$, y $p_3 = -100100$, se puede notar que se necesita de tres etapas, una de primer orden y otras dos de segundo orden. Para las dos etapas de orden dos se utilizarán dos celdas Sallen-Key con la configuración pasa-bajos. A partir de la Ecuación ?? podemos obtener:

$$W_{01} = 209.5 \text{ k} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (8)$$

$$Q_1 = 3.19 \quad (9)$$

$$W_{02} = 1.51 \text{ k} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (10)$$

$$Q_2 = 0.91 \quad (11)$$

Para la etapa de orden uno se eligió usar un circuito integrador compensado y a partir de la Ecuación (??) se sabe que $W_{03} = 100.1 \text{ kHz}$ y $Q_3 = 0.5$.

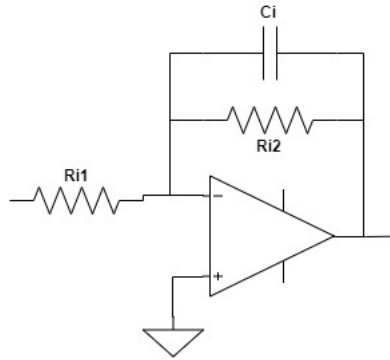


FIGURA 3: Circuito integrador compensado

Entonces se eligieron los siguientes valores de componentes:

	Etapas 1	Etapas 2
R₁	$\geq 26 \Omega$	$\geq 7.7 \text{ k}\Omega$
R₂	$\geq 26 \Omega$	$\geq 7.7 \text{ k}\Omega$
C₁	470 nF	4.1 nF
C₂	142.6 nF	100 pF
R₃	$\geq 4.7 \text{ M}\Omega$	$\geq 4.7 \text{ M}\Omega$
R₄	$\geq 77.6 \Omega$	$\geq 77.6 \Omega$

TABLA 3: Valores de componentes para etapas de orden dos

Ri1	Ri2	Ci
$\geq 56 \text{ k}\Omega$	$\geq 56 \text{ k}\Omega$	183.8 pF

TABLA 4: Valores de componentes para la etapa de orden uno

Algunos valores al no ser comerciales se busca obtenerlos mediante combinación de otros valores. El orden de etapas se eligió teniendo en cuenta la selectividad de cada etapa del circuito, como se desea trabajar con alta señal se ordenaron de manera de maximizar el rango dinámico del filtro, teniendo así en primera posición aquella que presenta menor sobrepico, esto es importante para evitar un incremento de tensión a la salida que podría saturar las demás etapas.

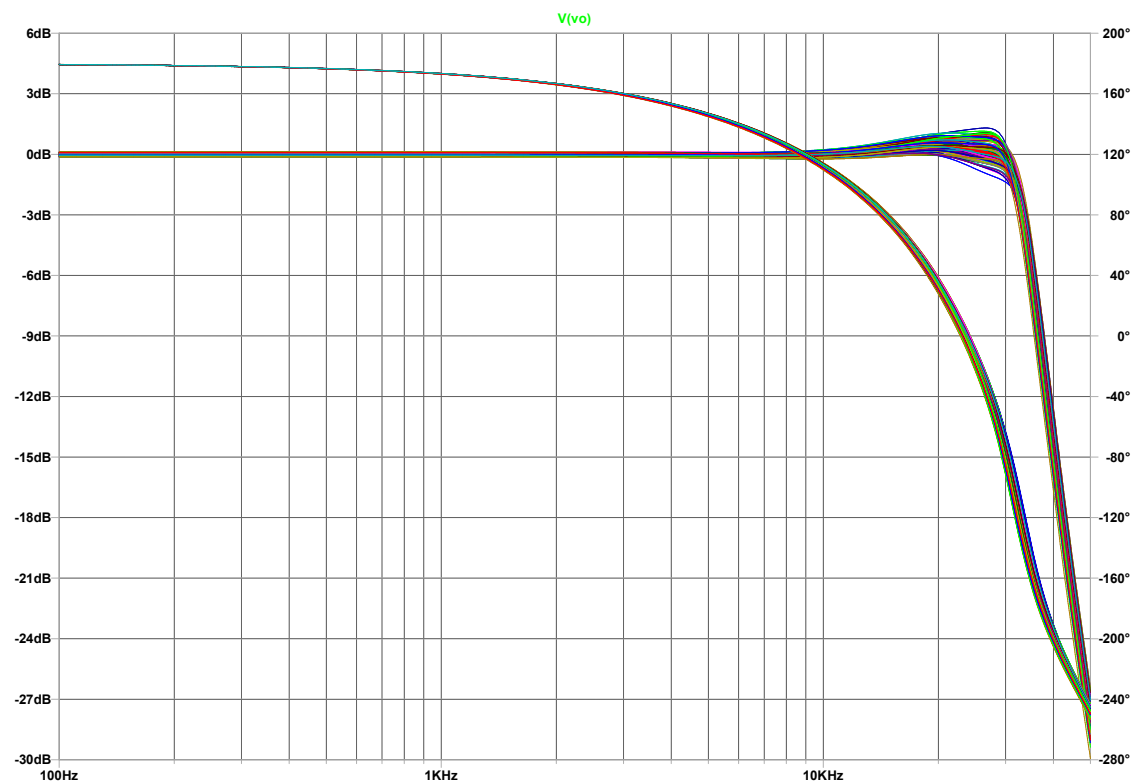


FIGURA 4: Montecarlo con los componentes elegidos

En este diagrama de montecarlo se puede observar que al momento en que la atenuación es de 3 dB , el peor caso hacia ambos extremos cae dentro del margen del $\pm 5\%$ que se especifica de $f_p = 33\text{ kHz}$.