

## 0.1. Introducción Teórica

### 0.1.1. Realimentación Positiva

Con realimentación positiva se puede lograr virtualmente cualquier  $Q$  deseado en los filtros. Sin embargo, esta realimentación debe ser contralada. Una forma de realizar esto es la de localizarla alrededor de la frecuencia de corte del filtro deseado. Un perfecto ejemplo de esto puede verse en una celda Sallen-Key. En la Figura (5a) se puede notar como existen tres etapas en el funcionamiento:

- En bajas frecuencias  $C_1$  y  $C_2$  actúan como circuito abierto. Por ende la celda actúa como no inversor con ganancia proporcional a  $R_3$  y  $R_4$ .
- En altas frecuencias  $C_1$  y  $C_2$  actúan como corto-circuito. La señal de entrada al operacional está puesta a tierra por lo que el amplificador operacional amplificará esta resultando en una ganancia nula.
- Alrededor de la frecuencia de corte, las impedancias de  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_1$  y  $R_2$  son del mismo orden por lo que efectivamente hay una realimentación positiva, incrementando el factor de calidad del circuito.

Todas celdas a estudiar en este informe se apoyan sobre este concepto para lograr los factores de calidad necesarios para cumplir distintas plantillas.

### 0.1.2. Consideraciones del Diseño en Cascada

El diseño en cascada de filtros analógicos activos permite una solución fácil y con una cantidad de componentes reducida. Dado que cada celda posee al menos un amplificador operacional, estas poseerán una muy baja impedancia de salida, lo que remueve el gasto de utilizar técnicas de *buffering* para acoplar etapas. Existen consideraciones a ser tomadas al momento de diseñar un filtro en cascada que permiten modificar propiedades sutiles del filtro.

Una de ellas es el ordenamiento de las celdas a utilizar. Matemáticamente hablando es irrelevante el orden en el que se colocan las etapas, mientras que haya un buen acoplamiento de impedancias. En la práctica sin embargo se descubre que si se ordenan las celdas con un factor de calidad ascendente, se logra reducir la pérdida de rango dinámico del filtro debido a sobrepicos en las etapas de alto  $Q$  que pueden ocasionar que la señal de entrada saturé. Por otro lado, si se ordenan las etapas acorde a la misma propiedad pero de manera descendente, se logra reducir el ruido a la salida del filtro, teniendo en cuenta que el ruido de frecuencia igual a la de resonancia de las etapas de alto  $Q$  puede ser amplificado considerablemente.

Otra propiedad por la que se puede diseñar un filtro en cascada es acorde al tipo de señal esperado a la entrada. Si la señal es pequeña, es favorable en ciertos casos utilizar como primer etapa aquella que amplifique más que el resto, mientras que si la señal esperada es grande, resulta beneficioso ordenar las celdas de tal manera que la señal de entrada sea atenuada en la primera etapa para reducir el riesgo de saturación dado un sobrepico en etapas siguientes.

## 0.2. Introducción

En esta sección se implementaron dos filtros Low-Pass utilizando tanto una aproximación de **Legendre** como una de **Bessel**. El filtro debía cumplir las siguientes especificaciones:

Large Signal LP Sallen-Key Legendre	
Orden	5
$f_p$	$31KHz \pm 5\%$
$A_p$	$3dB$
$ Z_{in} $	$\geq 50K\Omega$

Small Signal LP Sallen-Key Bessel	
$f_p$	$1650Hz$
$f_a$	$7800Hz$
$A_p$	$3dB$
$A_a$	$40dB$
$\Upsilon$	$\leq 5\%$
$ Z_{in} $	$\geq 50K\Omega$

## 0.3. Aproximación de Legendre.

Para cumplir con la plantilla propuesta con seguridad, se diseñó el filtro con una plantilla más restrictiva que la original, presentada a continuación.

	Large Signal LP Sallen-Key Legendre
Orden	5
$f_p$	$31KHz \pm 5\%$
$A_p$	$2dB$
$ Z_{in} $	$\geq 50K\Omega$

Figura 2: Aproximación de Legendre más estricta utilizada.

### 0.3.1. Elecciones de diseño

## 0.4. Aproximación de Bessel.

preset en r1 segunda etapa

	Large Signal LP Sallen-Key Bessel
$f_p$	$1650Hz$
$f_a$	$7800Hz$
$A_p$	$2dB$
$A_a$	$43dB$
$\Upsilon$	$\leq 5\%$
$ Z_{in} $	$\geq 50K\Omega$

Figura 3: Aproximación de Bessel más estricta utilizada.

### 0.4.1. Elecciones de diseño

## 0.5. Celda Sallen-Key.

El circuito de la Figura (4) posee como máximo, cuando la impedancia provista por  $R_2$  y  $C_2$  es mucho mayor que la impedancia provista por  $R_1$  y  $C_1$ , un Q igual a  $\frac{1}{2}$ .

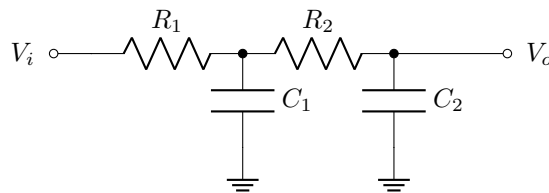
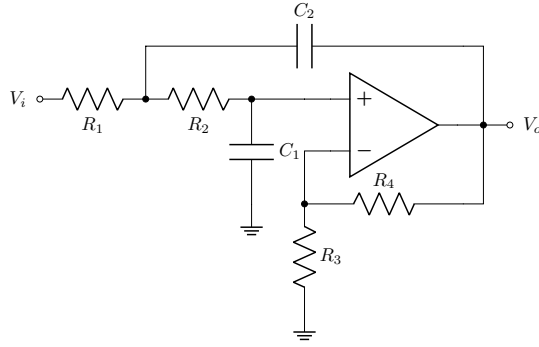


Figura 4: Filtro pasa-bajos de segundo implementado con una red R-C.

Utilizando realimentación positiva se pueden lograr Q mucho mayores. Al colocar un amplificador operacional a la salida del filtro anterior y conectando  $C_2$  a la salida de este, se consigue una topología nombrada **Sallen-Key**, por los profesores R.P. Sallen y E.L. Key los quienes describieron por primera vez su comportamiento.



(a) Filtro pasa-bajos de segundo orden.

$$H(S) = \frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{S^2(R_2R_1C_2C_1) + S(C_1(R_2 + R_1) - \frac{C_2R_1R_4}{R_3}) + 1}$$

$$Z_{in}(S) = \frac{S^2(R_2R_1C_2C_1) + S(C_1(R_2 + R_1) - \frac{C_2R_1R_4}{R_3}) + 1}{S^2(R_2R_1C_2C_1)}$$

$$Z_{out} \approx Z_{out_{opamp}}$$

(b) Ecuaciones del filtro pasa-bajos.

Figura 5: Topología Sallen-Key para un filtro pasa-bajos de segundo orden.

La topología Sallen-Key posee varias ventajas. La primera es que esta topología presenta la menor dependencia frente a el GBP del operacional utilizado, ya que estas celdas utilizan al operacional como amplificador y no como integrador. La segunda ventaja de este tipo de celdas es el pequeño desvío entre los valores de capacitores y entre los valores de resistencias en la misma celda, lo que es beneficioso para la manufactura de estos filtros. La desventaja de esta topología, sin embargo, es la alta sensibilidad del factor de calidad respecto a los componentes de la celda, más aún cuanto más alto sea este.

#### 0.5.1. Cálculo Analítico

#### 0.5.2. Elecciones de diseño

#### 0.5.3. Acoplamiento de Impedancias.

### 0.6. Respuesta en Frecuencia.

#### 0.6.1. Etapas Utilizadas

#### 0.6.2. Filtro definitivo.