

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

# Trabajo Práctico N°5: Filtros Activos y Celdas Teoría de Circuitos - 2019

Grupo 1:

Farall, Facundo David  
Gaytan, Joaquín Oscar  
Kammann, Lucas  
Maselli, Carlos Javier  
Müller, Malena

Profesores:

Jacoby, Daniel Andrés  
Belaustegui Goitia, Carlos  
Iñaki Iribarren, Rodrigo

21 de octubre de 2019

## ÍNDICE

<b>1. Celda Sallen-Key</b>	<b>3</b>
<b>2. Celda Rauch (Deliyannis - Friend modificada)</b>	<b>4</b>
<b>3. Sedra-Ghorab-Martin</b>	<b>5</b>
<b>4. Celda Universal</b>	<b>6</b>
4.1. Introducción teórica . . . . .	6
4.2. Configuraciones correspondientes a distintas celdas universales . . . . .	7
4.2.1. Kerwin-Huelsman-Newcomb (KHN) . . . . .	7
4.2.2. Tow-Thomas . . . . .	8
4.2.3. Ackerberg-Mossberg . . . . .	10
4.2.4. Fleischer-Tow . . . . .	10

## 1. CELDA SALLEN-KEY

## 2. CELDA RAUCH (DELIYANNIS - FRIEND MODIFICADA)

### 3. SEDRA-GHORAB-MARTIN

## 4. CELDA UNIVERSAL

En esta sección se analizan celdas de configuraciones diferentes que están compuestas por dos integradores, con la finalidad de realizar un filtro *rechaza banda* que cumpla las siguientes especificaciones:

$f_{\infty}$	$51kHz$
notch depth	$\geq 50dB$
$\Delta f_a$	$600Hz$
$\Delta f_p$	$880Hz$
$A_a$	$40dB$
$A_p$	$6dB$
$G$	$[-3:3]dB$
$ Zin(f) $	$\geq 50k\Omega$

Tabla 4.1: Especificaciones del filtro rechaza banda a realizar.

### 4.1. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Se comienza analizando el comportamiento de circuitos compuestos por dos integradores, representandolos mediante diagramas en bloques. El siguiente diagrama de la figura 4.1<sup>1</sup> es una representación simple que permite entender lo que se desarrolla luego.

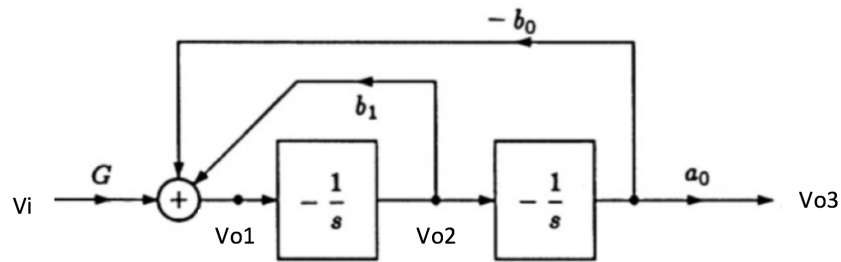


Figura 4.1: Representación en bloques de un circuito simple de segundo orden formado por dos integradores.

Del diagrama anterior, se obtienen las siguientes expresiones, a partir de las cuales se puede apreciar que se trata de un circuito de orden 2.

$$\begin{cases} Vo_2 = -\frac{1}{2} \cdot Vo_1 \\ Vo_3 = -\frac{1}{2} \cdot Vo_2 \\ H(s) = \frac{Vo_3}{Vi} = G \cdot \frac{a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} \end{cases} \quad (4.1)$$

Si ahora se suman a la salida las tensiones  $Vo_1$  y  $Vo_2$  como se muestra en el diagrama de la siguiente figura 4.2:

<sup>1</sup>Adaptación de una imagen obtenida de: <https://elxcompacme.files.wordpress.com/2014/03/filter-kendell-su.pdf>

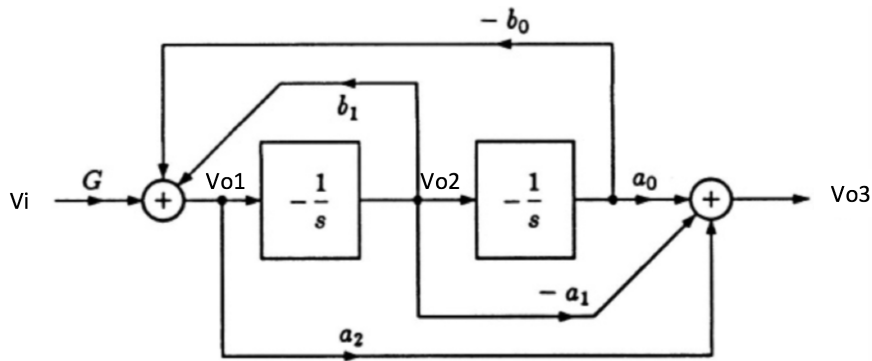


Figura 4.2: Misma representación en bloques que antes pero sumando las tensiones  $Vo_1$  y  $Vo_2$  a la salida.

Así se obtiene:

$$\frac{Vo_3}{Vi} = G \cdot \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} \quad (4.2)$$

Las configuraciones que se analizan a continuación están basadas en modificaciones sobre este último diagrama de la figura 4.2 y su ecuación correspondiente 4.3

## 4.2. CONFIGURACIONES CORRESPONDIENTES A DISTINTAS CELDAS UNIVERSALES

2

citar la página esta de internet

### 4.2.1. KERWIN-HUELSMAN-NEWCOMB (KHN)

La siguiente es la celda Kerwin-Huelsman-Newcomb, también llamada KHN por sus siglas.

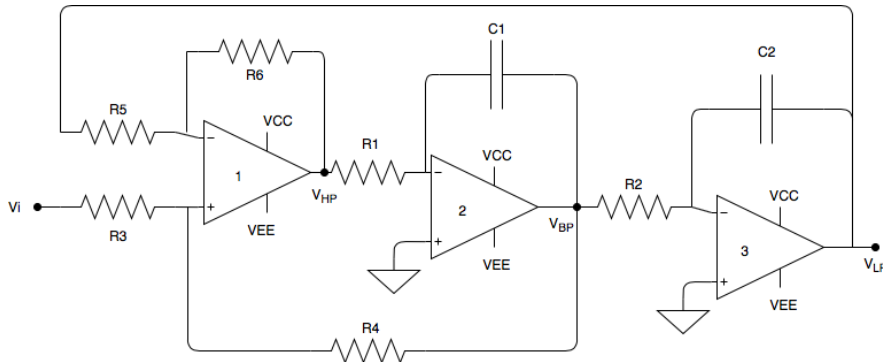


Figura 4.3: Circuito Kerwin-Huelsman-Newcomb

Esta celda tiene sensibilidades bajas.

$$\begin{cases} Vo_2 = -\frac{1}{2} \cdot Vo_1 \\ Vo_3 = -\frac{1}{2} \cdot Vo_2 \\ H(s) = \frac{Vo_3}{Vi} = G \cdot \frac{a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} \end{cases} \quad (4.3)$$

Dependiendo de dónde se tome la salida del circuito 4.3, se puede obtener un filtro pasa altos, un pasa banda o un pasabajos. Lo que sucede con Kerwin-Huelsman-Newcomb es que no brinda una salida rechaza banda. La misma puede igual lograrse agregándole al circuito 4.3 un sumador, como se muestra en la figura 4.4:

<sup>2</sup><https://elxcompacme.files.wordpress.com/2014/03/filter-kendell-su.pdf>

CHEQUEAR circuito porque en el palombo está distinto!

Salida	$H(s)$	$G$	$\omega_0$	$Q$
LP	$\frac{\frac{R_4}{R_5 R_1 R_2 C_1 C_2} \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_3 + R_4}}{S^2 + \frac{R_3}{R_5 R_1 C_1} \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_3 + R_4} s + \frac{R_6}{R_5 R_1 R_2 C_1 C_2}}$	$\frac{R_4 (R_5 + R_6)}{R_6 (R_3 + R_4)}$		
BP	$-\frac{\frac{R_4}{R_5 R_1 C_1} \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_3 + R_4} s}{S^2 + \frac{R_3}{R_5 R_1 C_1} \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_3 + R_4} s + \frac{R_6}{R_5 R_1 R_2 C_1 C_2}}$	$-\frac{R_4}{R_3}$	$\sqrt{\frac{R_4 (R_5 + R_6)}{R_6 (R_3 + R_4)}}$	$\frac{R_5 (R_3 + R_4)}{R_3 (R_5 + R_6)} \cdot \sqrt{\frac{R_6 R_1 C_1}{R_5 R_2 C_2}}$
HP	$-\frac{\frac{R_4}{R_5} \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_3 + R_4} S^2}{S^2 + \frac{R_3}{R_5 R_1 C_1} \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_3 + R_4} s + \frac{R_6}{R_5 R_1 R_2 C_1 C_2}}$	$\frac{R_4 (R_5 + R_6)}{R_5 (R_3 + R_4)}$		

Tabla 4.2: Características de la celda Kerwin-Huelsman-Newcomb.

	$\omega_0$	$Q$	$G_{LP}$	$G_{BP}$	$G_{HP}$
$R_1$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0
$R_2$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0	0
$R_3$	0	$-\frac{R_4}{R_3 + R_4}$	$-\frac{R_3}{R_3 + R_4}$	-1	$-\frac{R_3}{R_3 + R_4}$
$R_4$	0	$\frac{R_4}{R_3 + R_4}$	$\frac{R_3}{R_3 + R_4}$	1	$\frac{R_3}{R_3 + R_4}$
$R_5$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{R_6 - R_5}{2(R_5 + R_6)}$	$\frac{R_5}{R_5 + R_6}$	0	$-\frac{R_6}{R_5 + R_6}$
$R_6$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{R_6 - R_5}{2(R_5 + R_6)}$	$-\frac{R_5}{R_5 + R_6}$	0	$\frac{R_6}{R_5 + R_6}$
$C_1$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0
$C_2$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0	0

Tabla 4.3: Sensibilidades de la celda Kerwin-Huelsman-Newcomb.

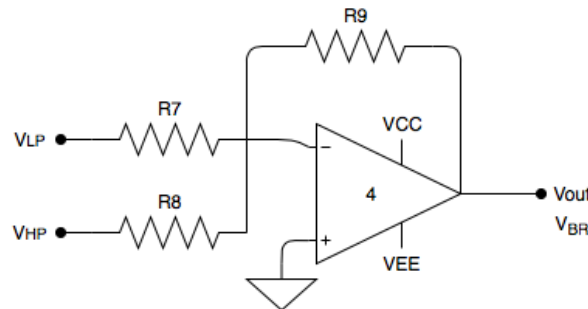


Figura 4.4: Sumador que se le agrega a la selda para obtener un rechaza banda.

#### 4.2.2. TOW-THOMAS

La celda Tow-Thomas varía frente a la Kerwin-Huelsman-Newcomb al tener juntos a la entrada el sumador y el primer integrador, agregando luego un inversor y una resistencia en la realimentación que va de la salida  $V_{LP}$  a la entrada del circuito. Esta nueva configuración, al igual que en la Kerwin-Huelsman-Newcomb sigue teniendo una salida de pasa bajos y una de pasa banda, pero ya no tiene una de pasa altos. Esto no importa en nuestro caso al querer obtener un rechaza bandas. Al igual que para el caso anterior, debe agregarse el sumador de la



figura 4.4.

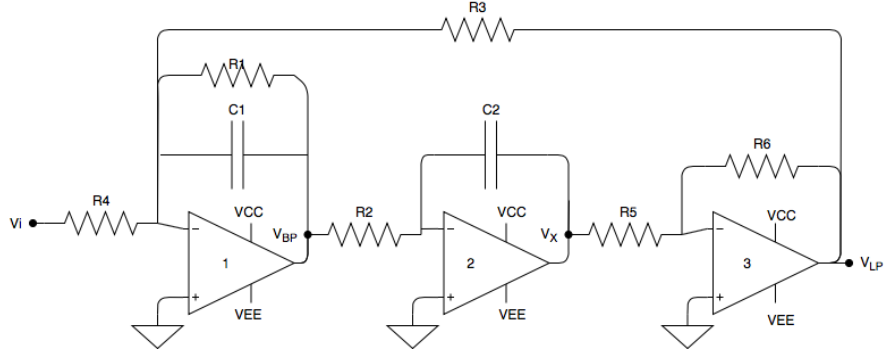


Figura 4.5: Celda Tow-Thomas

Los parámetros correspondientes a la celda Tow-Thomas son los siguientes:

Salida	$H(s)$	$G$	$\omega_0$	$Q$
LP	$-\frac{\frac{R_6/R_5}{R_2 R_4 C_1 C_2}}{s^2 + \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{R_6/R_5}{R_2 R_3 C_1 C_2}}$	$-\frac{R_3}{R_4}$	$\sqrt{\frac{R_6/R_5}{R_2 R_3 C_1 C_2}}$	$\frac{R_1}{\sqrt{R_2 R_3}} \sqrt{\frac{R_6 C_1}{R_5 C_2}}$
BP	$-\frac{\frac{1}{R_4 C_1} s}{s^2 + \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{R_6/R_5}{R_2 R_3 C_1 C_2}}$	$-\frac{R_1}{R_4}$		

Tabla 4.4: Características de la celda Tow-Thomas.

	$\omega_0$	$Q$	$G_{LP}$	$G_{BP}$
$R_1$	0	1	0	1
$R_2$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0
$R_3$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	1	0
$R_4$	0	0	-1	-1
$R_5$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0
$R_6$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0
$C_1$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0
$C_2$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0

Tabla 4.5: Sensibilidades de la celda Tow-Thomas.

#### 4.2.3. ACKERBERG-MOSSBERG

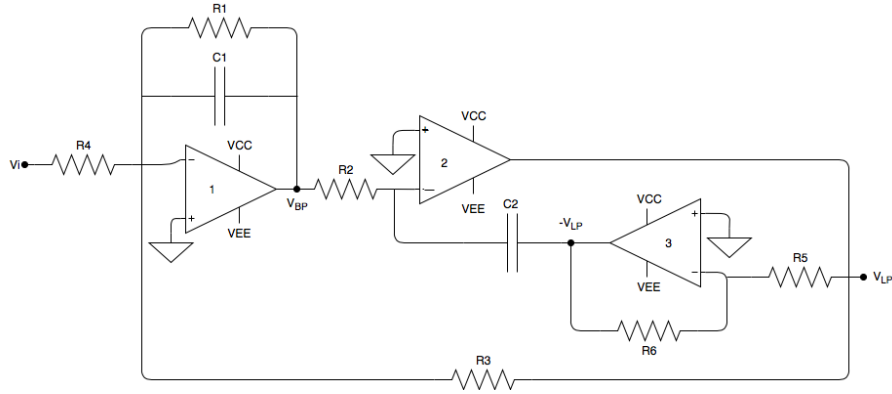


Figura 4.6: Celda Ackerman-Mossberg

Salida	$H(s)$	$G$	$\omega_0$	$Q$
LP	$-\frac{\frac{R_5}{C_1 C_2 R_2 R_4 R_6}}{s^2 + \frac{1}{C_1 R_1} s + \frac{R_5}{C_1 C_2 R_2 R_3 R_6}}$	$-\frac{R_3}{R_4}$	$\sqrt{\frac{R_5}{C_1 C_2 R_2 R_3 R_6}}$	$C_1 R_1 \sqrt{\frac{R_5}{C_1 C_2 R_2 R_3 R_6}}$
BP	$-\frac{\frac{1}{C_1 R_4} s}{s^2 + \frac{1}{C_1 R_1} s + \frac{R_5}{C_1 C_2 R_2 R_3 R_6}}$	$-\frac{R_1}{R_4}$		

Tabla 4.6: Características de la celda Ackerman-Mossberg.

	$\omega_0$	$Q$	$G_{LP}$	$G_{BP}$
$R_1$	0	1	0	1
$R_2$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0
$R_3$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	1	0
$R_4$	0	0	-1	-1
$R_5$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0
$R_6$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0
$C_1$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0
$C_2$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0

Tabla 4.7: Sensibilidades de la celda Ackerman-Mossberg.

#### 4.2.4. FLEISCHER-TOW

Una característica importante a remarcar de la selda Flesicher-Tow es que, a diferencia de las celdas anteriores, permite realizar cualquier tipo de filtro de segundo orden sin la necesidad de agregar otro amplificador

chequear  
sensibili-  
dad Q res-  
pecto a c1

operacional. Como se ha estudiado en trabajos prácticos anteriores, el amplificador operacional tiene ciertas limitaciones para un circuito, debidas al slew rate, a la saturación, entre otras; por lo que es ventajoso el hecho de no tener que agregar un amplificador operacional para obtener un filtro rechaza banda.

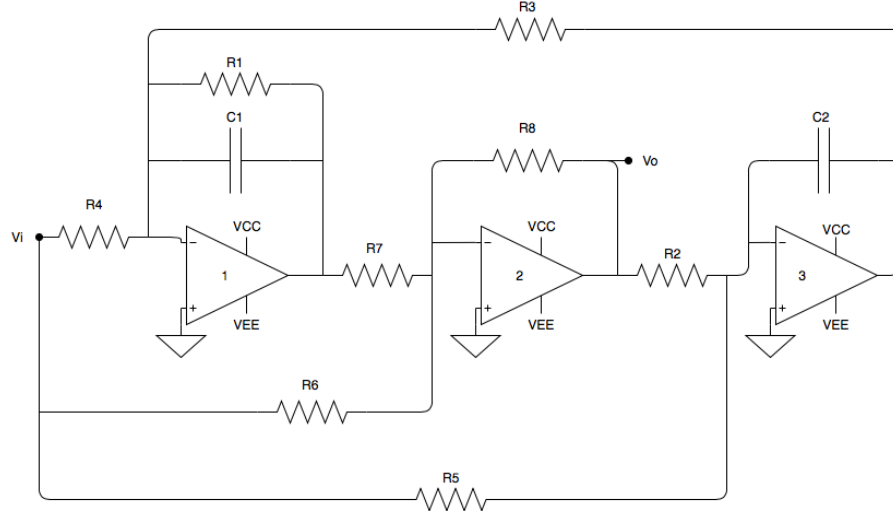


Figura 4.7: Celda Fleischer-Tow

$H(s)$ genérica	$\omega_0$	$Q$
$-\frac{\frac{R_8}{R_6} s^2 + \left( \frac{R_8}{R_6 R_1 C_1} - \frac{R_8}{R_4 R_7 C_1} \right) s + \frac{R_8}{R_3 R_5 R_7 C_1 C_2}}{s^2 + \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{R_8}{R_2 R_3 R_7 C_1 C_2}}$	$\sqrt{\frac{R_8}{R_2 R_3 R_7 C_1 C_2}}$	$R_1 C_1 \sqrt{\frac{R_8}{R_2 R_3 R_7 C_1 C_2}}$

Tabla 4.8: Expresiones genéricas de la celda Fleischer-Tow.

Salida	Condiciones	$H(s)$	$G$	$\omega_0$	$Q$
LP	$R_6 = R_4 = \infty$	$-\frac{\frac{R_8}{R_3 R_5 R_7 C_1 C_2}}{s^2 + \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{R_8}{R_2 R_3 R_7 C_1 C_2}}$	$-\frac{R_2}{R_5}$		
BP	$R_6 = R_5 = \infty$	$\frac{\left( \frac{R_8}{R_4 R_7 C_1} \right) s}{s^2 + \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{R_8}{R_2 R_3 R_7 C_1 C_2}}$	$\frac{R_1 R_8}{R_4 R_7}$		
HP	$R_5 = \infty$ y $R_1 R_6 = R_4 R_7$	$-\frac{\frac{R_8}{R_6} s^2}{s^2 + \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{R_8}{R_2 R_3 R_7 C_1 C_2}}$	$-\frac{R_8}{R_6}$		
BR		$-\frac{\frac{R_8}{R_6} s^2 + \frac{R_8}{R_3 R_5 R_7 C_1 C_2}}{s^2 + \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{R_8}{R_2 R_3 R_7 C_1 C_2}}$			

Tabla 4.9: Características de la celda Fleischer-Tow.