

Pràctica 5

Filtres Actius amb Amplificadors Operacionals

1. INTRODUCCIÓ.

En aquesta pràctica estudiarem dos filtres actius de Butterworth, un de primer ordre i un altre de segon ordre. Aquest tipus de filtre es basa en amplificadors operacionals on s'hi combina la utilització de resistències i condensadors per aconseguir les característiques de filtre desitjades.

2. FILTRES ACTIUS.

Hi ha notables diferències entre els filtres actius i els passius (circuitos amb RC). La principal és que els actius necessiten una font d'energia per a poder funcionar, traduint-ne aquest fet en la necessitat de polaritzar l'amplificador operacional (generalment, a +15 V, - 15 V). La segona diferència apreciable és la possibilitat que tenim amb els filtres actius d'aconseguir guanys superiors a 0 dB en la zona de pas de banda. Per altra banda, però, els filtres passius presenten una major simplicitat estructural (només utilitzen resistències, condensadors i inductàncies) i tenen la possibilitat de treballar a més altes freqüències.

Es defineix un filtre ideal com aquell que és capaç d'eliminar totalment el senyal en un cert rang determinat de freqüències i deixar-lo passar en la resta amb una certa amplificació (tenim una banda passant i una atenuada). Un filtre amb característiques similars no es pot construir amb un nombre finit d'elements electrònics; ara bé, podem aproximar-nos a aquest comportament realitzant diverses aproximacions que es diferencien entre elles per l'expressió matemàtica de la funció de transferència del filtre en concret. Un exemple d'aquestes aproximacions són els filtres de Butterworth, Chebyshev, Cauer, Bessel-Thomson, Inversa-Chebyshev, etc.

Filtre de Butterworth passa-baixos. Cel·les de Sallen Key.

L'expressió matemàtica de la funció de transferència d'un filtre de Butterworth passa-baixos és la següent:

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{H_o}{B_n(s)}$$

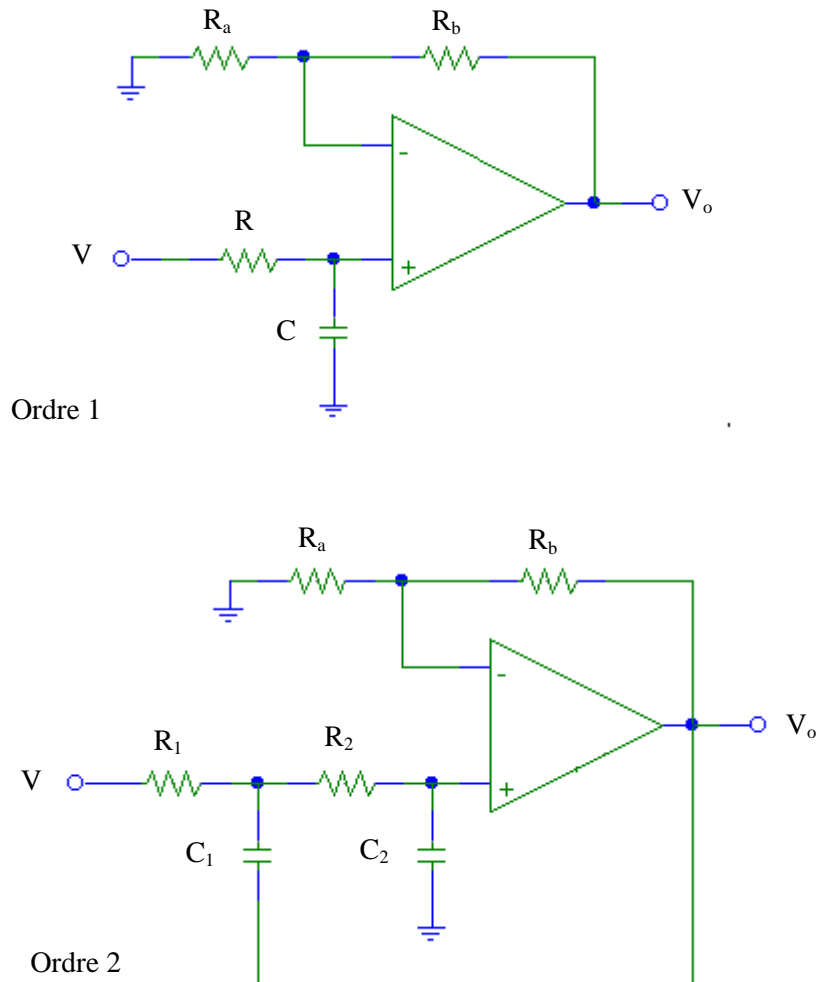
On $B_n(s)$ és el polinomi de Butterworth d'ordre n , H_o és el guany a baixes freqüències i s és la freqüència complexa.

Els filtres bàsics de Butterworth són els d'ordre 1 i 2. En aquests casos, els polinomis del denominador de la funció de transferència seran d'ordre 1 i 2 respectivament, i seran:

$$B_1(s) = \frac{s}{w_o} + 1 \qquad B_2(s) = \frac{s^2}{w_o^2} + \sqrt{2} \cdot \frac{s}{w_o} + 1$$

On ω_0 és la freqüència de tall del filtre.

Els circuits bàsics corresponents a filtres actius de Butterworth d'ordre 1 i 2 tenen el següent esquema:



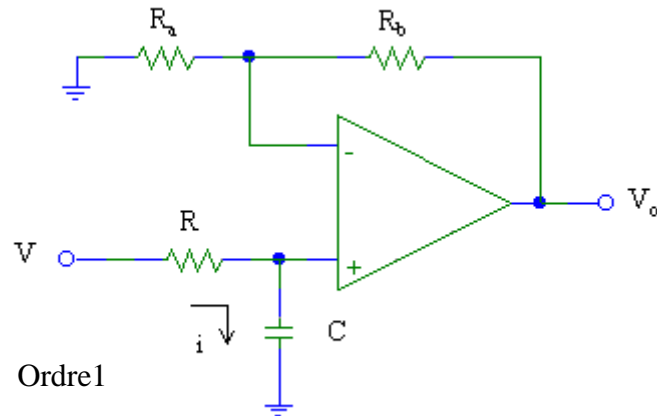
Aquests circuits s'anomenen cel·les bàsiques de Sallen Key. Permeten construir filtres de Butterworth de qualsevol ordre. Per a filtres d'ordre parell, n'hi ha prou amb acoblar cel·les bàsiques de Sallen Key d'ordre 2 i per a filtres d'ordre imparell es necessiten cel·les de segon ordre i una d'ordre 1. Com més gran sigui l'ordre del filtre, més ens aproximarem a la seva resposta ideal, però més complicat serà el circuit.

A continuació analitzem detalladament les dues cel·les bàsiques.

Filtre passa-baixos de Butterworth de 1r ordre.

A freqüències mitjanes, el condensador està en circuit obert. Per tant per un AMPOP

$$\text{ideal } (R_i = \infty) \quad v_+ = v_- = v_i \quad \text{i} \quad \frac{v_o}{v_i} = A_0$$

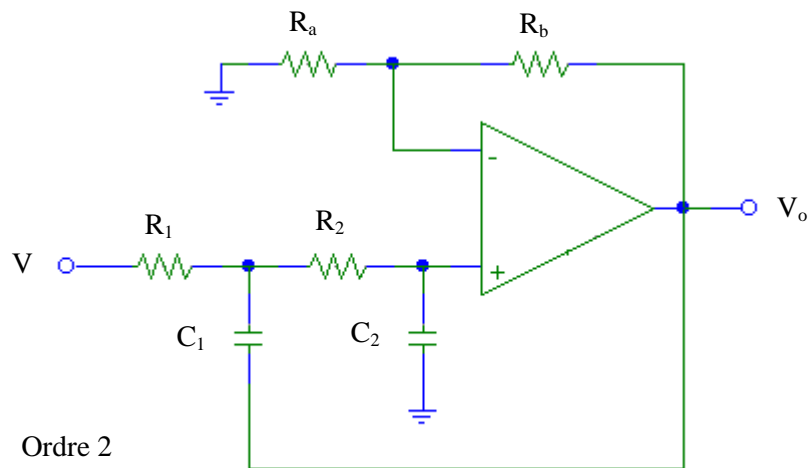


$$H(s) = \frac{v_o}{v} = \frac{A_0}{RCs + 1} = \frac{A_0 \frac{1}{RC}}{s + \frac{1}{RC}}$$

Per tant,

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{1}{2\pi C f_0} \\ R_b &= R_a (H_0 - 1) \end{aligned} \right\} \quad H_0 = 2, \quad f_0 = 1 \text{ kHz} \quad \begin{aligned} C &= 10 \text{ nF} \rightarrow R = 15.9 \text{ k}\Omega \\ R_a &= 10 \text{ k}\Omega \rightarrow R_b = R_a = 10 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Filtre passa-baixos de Butterworth de 2n ordre.



$$H(s) = \frac{v_o}{v} = \frac{\frac{A_0}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{s^2 + \left[\frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_1 C_1} - \frac{A_0}{R_2 C_2} \right] s + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

NOTA 1: Si $C_1 = C_2 = C$
 $A_0 = 2$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{\sqrt{2}}{w_0 C} \rightarrow R_1 = \frac{R_2}{2}$$

Només es modifica R_1 .

NOTA 2: Si $C_1 = C_2 = C$
 $R_1 = R_2 = R$

$$\left. \begin{aligned} w_0 &= \frac{1}{RC} \\ \Rightarrow H_0 &= A_0 \\ A_0 &= \frac{R_a + R_b}{R_a} = 3 - \sqrt{2} = 1.59 \end{aligned} \right\}$$

3. OBJECTIUS.

Un cop finalitzada la pràctica l'estudiant serà capaç de:

- Dissenyar i construir filtres de Butterworth de primer i segon ordre.
- Adquirir dades d'amplitud.
- Realitzar el diagrama de Bode.

4. MATERIAL NECESSARI.

- Dos resistències: $8k\Omega$
- Dos resistències: $10k\Omega$
- Dos resistències: $16k\Omega$
- Dos condensadors: $10nF$
- Un integrat LM324.
- Un generador de funcions
- Una font d'alimentació continua
- Un oscil·loscopi

5. REALITZACIÓ PRÀCTICA.

A. Filtre passa-baixos de Butterworth d'ordre 1

Freqüència de tall, $f_0 = 1 \text{ kHz}$

Guany a freqüències baixes, $H_0 = 2$

- 1) Mesureu la funció de transferència del filtre.

B. Filtre passa-baixos de Butterworth d'ordre 2

- 2) Mesureu la funció de transferència del filtre.
- 3) En el filtre anterior d'ordre 2, intercanvieu les posicions de les resistències amb els condensadors. Mesureu la funció de transferència

6. INFORME DE LA PRÀCTICA.

A. Filtre passa-baixos de Butterworth d'ordre 1:

- 1) Realitzeu una taula amb les variables V_o , V_i , f_r i Δv . (1punt)
- 2) Realitzeu el diagrama de Bode. (1punt)
- 3) Verifiqueu que es compleixen les especificacions indicades:
 - a) Comproveu quin és el pendent de la corba del guany per altes freqüències (aplicar recta de regressió lineal). (1punt)
 - b) Quina és la freqüència de tall? (0.5punt)

B. Filtre passa-baixos de Butterworth d'ordre 2.

- 4) Realitzeu una taula amb les variables V_o , V_i , f_r i Δv . (1punt)
- 5) Realitzeu el diagrama de Bode. (1punt)
- 6) Verifiqueu que es compleixen les especificacions indicades:
 - a) Comproveu quin és el pendent de la corba del guany per altes freqüències (aplicar recta de regressió lineal). (1punt)
 - b) Quina és la freqüència de tall? (0.5punt)

Intercanviant les posicions de les resistències amb els condensadors

- 7) Realitzeu una taula amb les variables V_o , V_i , f_r i Δv . (1punt)
- 8) Realitzeu el diagrama de Bode. (0.5punt)
- 9) Trobeu la freqüència de tall. De quin tipus de filtre es tracta? (1punt)
- 10) Què passa quan $\omega = \omega_c$ en aquest tipus de filtres? Per què? Raoneu-ho amb alguna expressió. Quin dels dos filtres s'aproxima més a un comportament ideal? Per què? (1punt)