

FILTROS ACTIVOS

Definición:

Un filtro eléctrico es un cuadripolo capaz de atenuar determinadas frecuencias del espectro de la señal de entrada y permitir el paso de las demás.

Se denomina espectro de una señal a su descomposición en una escala de amplitudes respecto de la frecuencia, y se hace por medio de las series de Fourier o con el analizador de espectro. Obsérvese que mientras el osciloscopio es un instrumento que analiza la señal en relación con el tiempo, el analizador lo hace por medio de las series de Fourier o con el analizador de espectro. Obsérvese que mientras el osciloscopio es un instrumento que analiza la señal en relación con el tiempo, el analizador lo hace con relación a la frecuencia.

En el presente capítulo estudiaremos los filtros activos cuando la señal que se aplica a la entrada es senoidal.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS FILTROS ACTIVOS

En comparación con los pasivos, los filtros activos poseen una serie de **ventajas**:

- a. Permiten eliminar las inductancias que, en bajas frecuencias, son voluminosas, pesadas y caras.
- b. Facilitan el diseño de filtros complejos mediante la asociación de etapas simples.
- c. Proporcionan una gran amplificación de la señal de entrada (ganancia), lo que es importante al trabajar con señales de niveles muy bajos.
- d. Permiten mucha flexibilidad en los proyectos.

Por otro lado, tienen una serie de **inconvenientes**:

- a. Exigen una fuente de alimentación.
- b. Su respuesta de frecuencia está limitada por la capacidad de los AO utilizados.

c. Es imposible su aplicación en sistemas de media y alta potencia (por ejemplo, en los filtros que emplean los convertidores e inversores contruidos con tiristores que se utilizan en la industria).

A pesar de estas limitaciones, los filtros activos prestan cada vez un mayor servicio en el campo de la electrónica, especialmente en las áreas de instrumentación y telecomunicaciones. Dentro de la primera es interesante destacar la electromedicina o bioelectrónica, cuyos equipos hacen gran uso de ellos, principalmente cuando operan en bajas frecuencias.

CLASIFICACION:

Los filtros pueden clasificarse atendiendo a tres aspectos:

- ***a la función que llevan a cabo,***
- ***a la tecnología empleada,***
- ***a la función matemática utilizada para conseguir la curva de respuesta.***

Al primer grupo pertenecen los cuatro tipos siguientes:

I FUNCION QUE LLEVAN A CABO

a. Filtro pasa bajo (PB)

Sólo permite el paso de las frecuencias inferiores a una determinada f_c (denominada de corte). Las frecuencias superiores resultan atenuadas.

b. Filtro pasa alto (PA)

Deja pasar las frecuencias que se hallan por encima de una determinada f_c (de corte) atenuando las inferiores.

c. Filtro pasa banda (PBANDA)

Permite el paso de las frecuencias situadas dentro de una banda delimitada por una frecuencia de corte inferior (f_{c1}) y otra superior (f_{c2}). Las frecuencias que estén fuera de esta banda son atenuadas.

d. Filtro de rechazo de banda (RB)

Permite el paso de las frecuencias inferiores o superiores a dos frecuencias determinadas, que se denominan de corte inferior (f_{c1}) y superior (f_{c2}), respectivamente. Son atenuadas las frecuencias comprendidas en la banda que delimitan f_{c1} y f_{c2} .

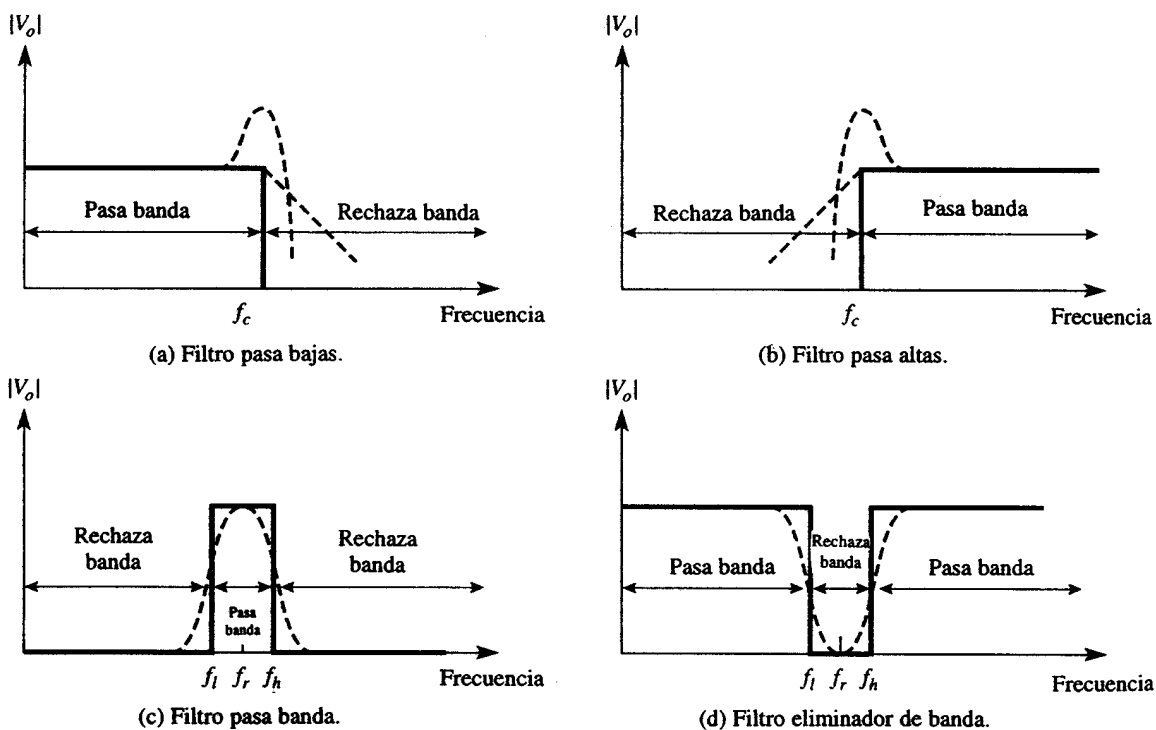


FIGURA 1 Respuesta a la frecuencia de cuatro tipos de filtros.

Dentro del segundo grupo los filtros se clasifican atendiendo a la tecnología empleada:

II TECNOLOGIA EMPLEADA

a: Filtros pasivos:

Están contruidos exclusivamente con elementos pasivos como resistencias, condensadores y bobinas. Estos filtros son inviabiles en bajas frecuencias al exigir inductancias muy grandes.

b. Filtros activos:

Constan de elementos pasivos asociados a otros activos (válvulas, transistores o amplificadores operacionales).

La primera generación de estos filtros utilizaba las válvulas, por lo que tenían un consumo de potencia muy alto, ruidos, baja ganancia, etc..

La segunda empleaba transistores como elementos activos y, aunque tenía más ventajas que la anterior, no tenía unas características enteramente satisfactorias.

La **tercera generación**, objeto de nuestro estudio, utiliza los amplificadores operacionales. La alta resistencia de entrada y la baja resistencia de salida de los AOP's, además de otras características, permiten la realización de filtros con cualidades óptimas.

c. Filtros digitales:

Estos filtros llevan componentes digitales. La señal analógica es convertida en digital mediante un sistema de conversión A/D. La señal binaria resultante se trata en el filtro digital y a continuación se reconvierte en analógica en un conversor D/A. Estos filtros son útiles para procesar simultáneamente muchos canales de transmisión.

III FUNCIONES MATEMATICAS

Para finalizar, el tercer grupo de la clasificación hacía referencia a la función matemática (o aproximación) utilizada para proyectar el filtro. Un estudio detallado de este tema escapa a nuestras intenciones, ya que exige un tratamiento matemático complejo y de interés puramente teórico.

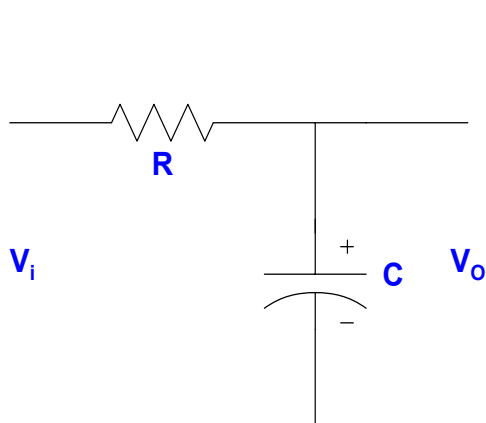
Los tipos más comunes de aproximaciones son los siguientes:

- Butterworth.
- Chebyshev.
- Cauer.

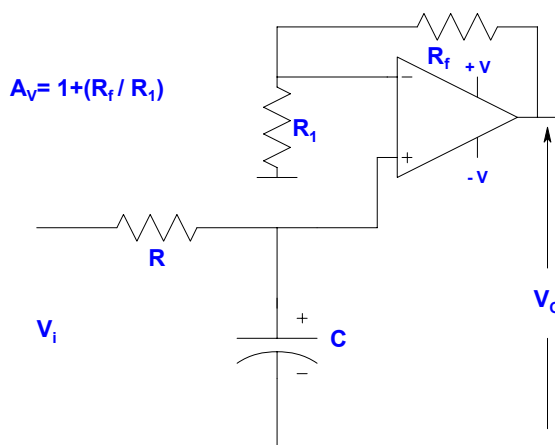
Cada uno tiene una función matemática específica que permite aproximar su curva de respuesta a la ideal de cada tipo de filtro. En las secciones siguientes se estudiarán los dos primeros, por ser los más sencillos y los más utilizados en la práctica. La función de Cauer, denominada también elíptica, es la de mayor exactitud, pero su complejidad impide abordarla con detalle.

FILTRO PASA BAJO BÁSICO (PB) Primer Orden

Es aquel que deja pasar una señal bajo ciertas frecuencias límites.



Pasivo



Activo

Ecuaciones

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

Angulo

$$\angle \left(\frac{V_o}{V_i} \right) = -\tan^{-1} \omega RC$$

Magnitud

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

$$\left| \frac{1}{\sqrt{2}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad /()^2$$

$$\omega = \frac{1}{RC} \Rightarrow$$

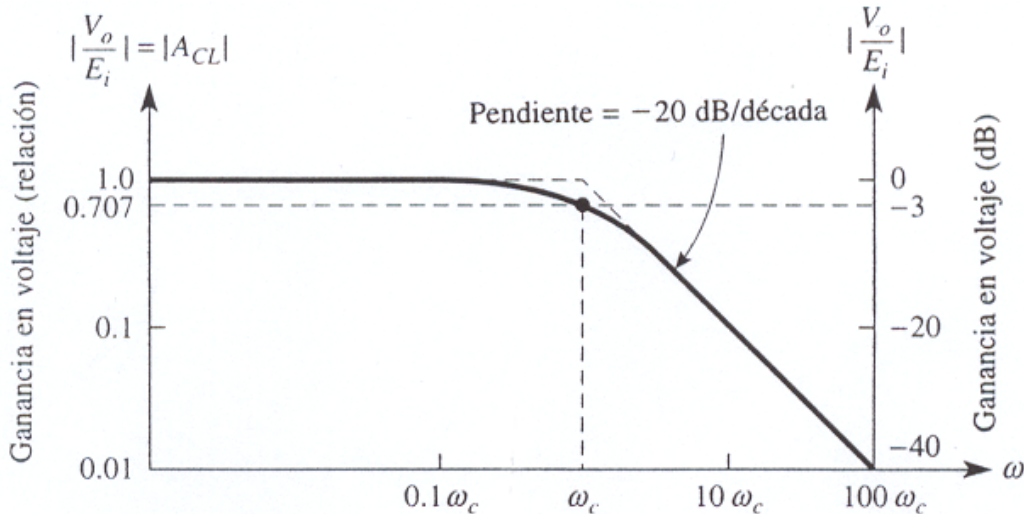
$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

Ecuación de Diseño

si $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ (- 3db) se produce la frecuencia de corte

Procedimiento de Diseño

1. Defina una frecuencia de corte f_0
2. Defina C ; elija el valor adecuado, comprendido entre 100 pf y $0,1 \mu\text{f}$
3. Calcule R



(b) Gráfica de la respuesta de frecuencia para el circuito de la parte (a).

FIGURA 2 Filtro pasa bajas y gráfica de respuesta a la frecuencia de un filtro cuya atenuación es de -20 dB/década .

FILTROS BUTTERWORTH PASA BAJOS

En diversas aplicaciones de los filtros pasa bajos se necesita que la ganancia de lazo cerrado se aproxime lo más posible a 1 dentro de la banda de paso. Para este tipo de aplicación, lo mejor es el filtro Butterworth. A este tipo de filtro también se le conoce como filtro máximamente plano o plano-plano. Todos los filtros utilizados en esta sección serán del tipo Butterworth. A continuación se muestra en la figura la respuesta a la frecuencia ideal (línea continua) y la respuesta a la frecuencia real (línea punteada), de tres tipos de filtros Butterworth. Conforme las atenuaciones se van volviendo más pronunciadas, podemos observar que se acerca más al filtro ideal.

Para obtener un filtro de -40 dB/dec se podrían acoplar dos filtros activos similares, sin embargo este no es el diseño más económico, ya que para ello se necesitan dos amplificadores operacionales.

A continuación veremos como construir un filtro Butterworth de -40 dB/dec (2° Orden), con un Amplificador Operacional.

Para obtener un filtro de -60 db/dec se podrían acoplar tres filtros activos similares, sin embargo este no es el diseño más económico, ya que para ello se necesitan tres amplificadores operacionales. Se podría construir con un filtro de -40 db/dec, conectado en cascada con un filtro de -20 db/dec.

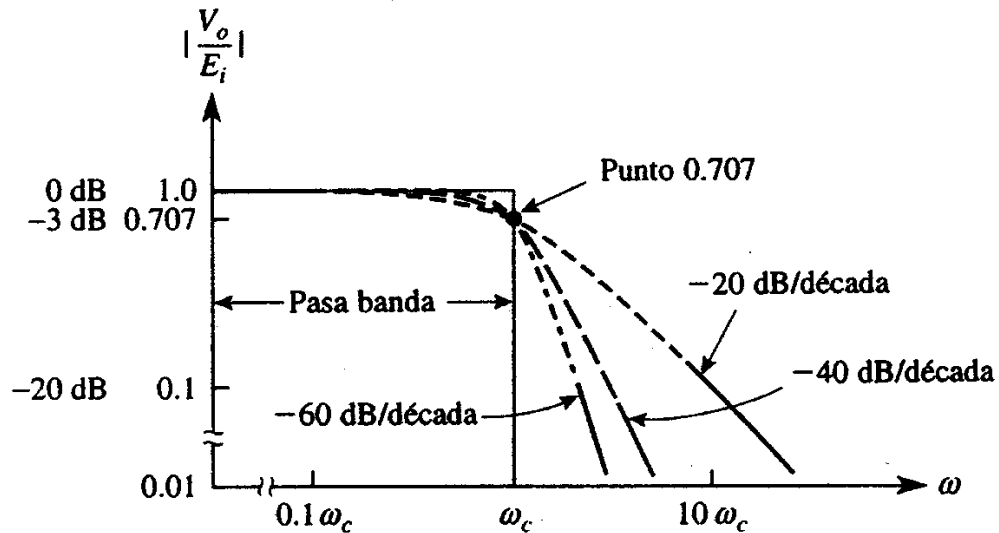


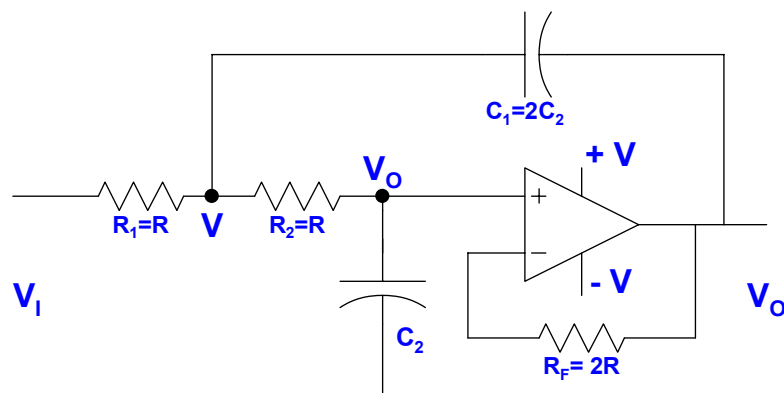
FIGURA Gráficas de respuesta a la frecuencia de tres tipos de filtros pasa bajas Butterworth.

Los filtros Butterworth no se diseñan para mantener un ángulo de fase constante en la frecuencia de corte. El filtro pasa bajo básico de -20 db/dec, tiene un ángulo de fase de -45° en la frecuencia de corte. El filtro Butterworth de -40 db/dec, tiene un ángulo de fase de -90° en la frecuencia de corte y el filtro de -60 db/dec, tiene un ángulo de fase de -135° en la frecuencia de corte, es decir cada aumento de -20 db/dec en la pendiente, aumenta la fase en -45° .

FILTROS PASA BAJOS DE SEGUNDO ORDEN

Butterworth

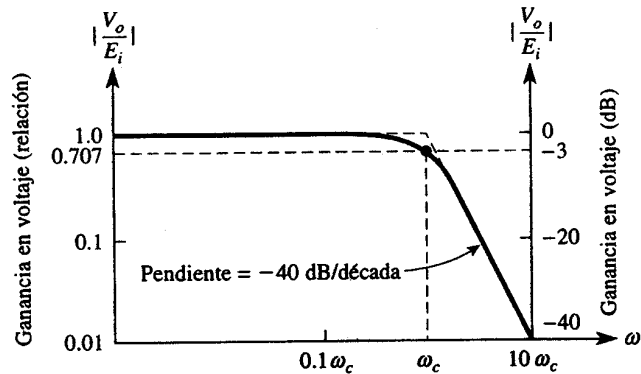
Pendiente: -40 db/dec



Ecuaciones

$$\frac{V_I - V}{R_1} = \frac{V - V_O}{R_2} + \frac{V - V_O}{1/j\omega C_1}$$

$$V_O = V \times \frac{1/j\omega C_2}{R_2 + 1/j\omega C_2}$$



(b) Gráfica de la respuesta a la frecuencia del filtro pasa bajas de la parte (a).

FIGURA Circuito y gráfica de respuesta a la frecuencia del filtro pasa bajas de -40 dB/década.

Desarrollando encontramos la relación $H(s) = \frac{V_O}{V_I}$

$$H(s) = \frac{V_O}{V_I} = \frac{1}{s^2 + s \frac{C_2 R_2 + C_2 R_1}{R_1 R_2 C_1 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

Esta ecuación puede ser comparada con la siguiente ecuación normalizada de segundo orden:

$$H(s) = \frac{K}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

donde ξ = factor de amortiguación y ω_n = frecuencia natural

Por comparación, tenemos que: $\omega_n = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$

para diseño $\xi = 0,707$ y además se deben cumplir las siguientes relaciones:

$$C_1 = 2C_2 \quad \text{y} \quad R_1 = R_2 = R$$

Por lo que la ecuación de diseño, queda como sigue:

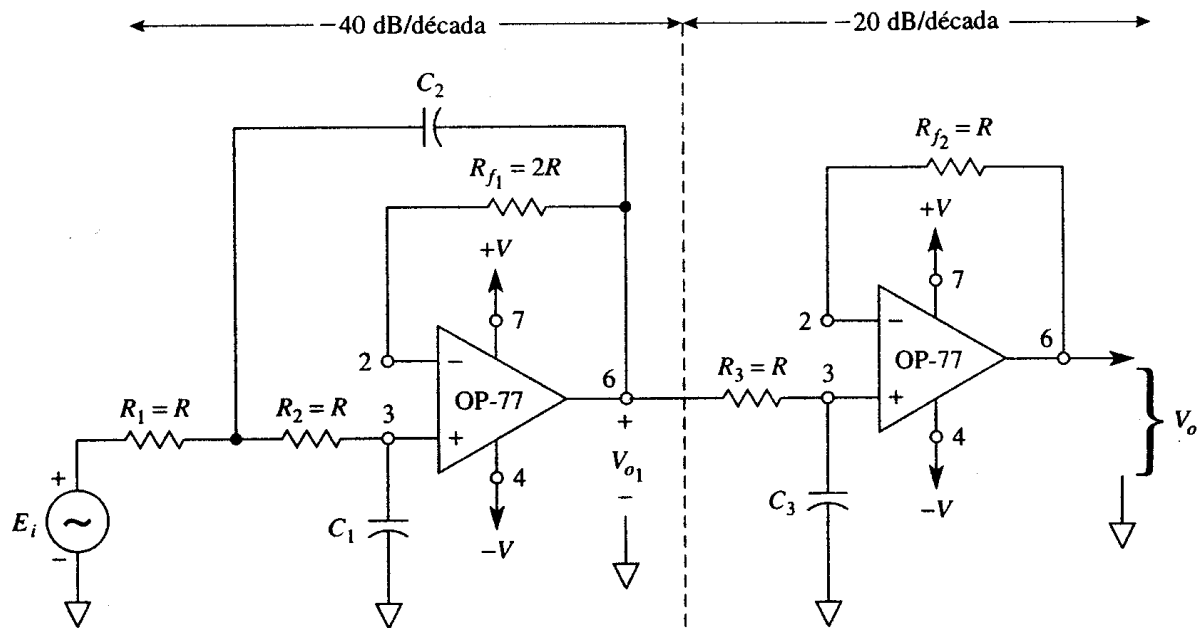
$$f_n = \frac{1}{2\pi RC_2 \sqrt{2}} \quad \text{Ecuación de Diseño}$$

Procedimiento de Diseño

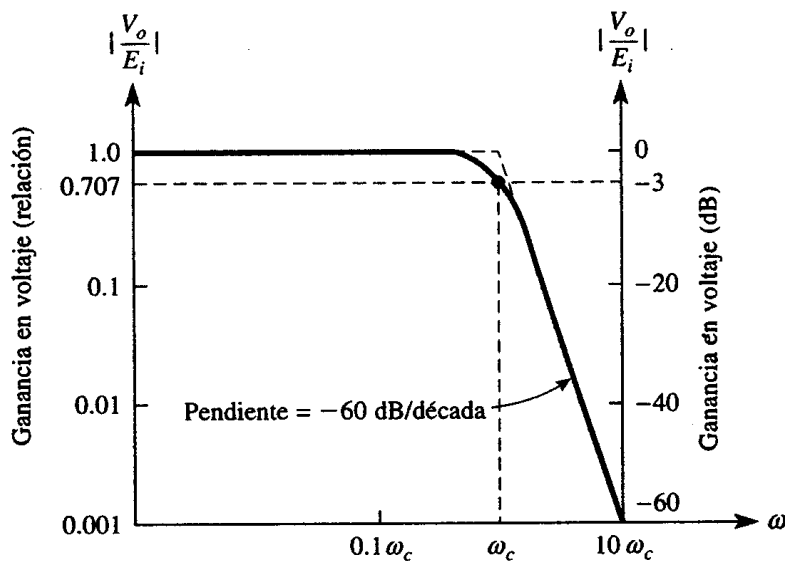
1. Defina una frecuencia de corte f_n
2. Defina C_1 ; elija el valor adecuado, comprendido entre 100 pf y 0,1 μ f
3. Defina $C_1 = 2C_2$
4. Calcule R
5. Calcule $R_F = 2R$

Ej. Dado una $f_n = 10$ KHz y si elegimos $C_1 = 1,1$ nf, podemos calcular $C_2 = 2,2$ nf y de la ecuación anterior despejamos el valor de R, quedando éste como sigue $R_1 = R_2 = R = 10$ K Ω y $R_F = 20$ K Ω

FILTRO BUTTERWORTH PASA BAJOS -60db/dec



(a) Filtro pasa bajas para una atenuación de -60 dB/década.



(b) Gráfica de la respuesta a la frecuencia del circuito de la parte (a).

FIGURA Filtro pasa bajas diseñado para una atenuación de -60 dB/década y su respectiva gráfica de respuesta a la frecuencia.

El filtro pasa bajos de la figura, se construye mediante un filtro de pasa bajos de -40 db/dec conectado en cascada con otro de -20 db/dec, para obtener así una atenuación total de -60 db/dec. La ganancia del lazo cerrado total, es la ganancia del primer filtro multiplicado por la ganancia del segundo filtro.

FILTROS BUTTERWORTH PASA ALTOS

Los filtros pasa altos son circuitos que atenúan todas las señales cuya frecuencia está por debajo de una frecuencia de corte específica, f_c , y pasa todas aquellas señales cuya frecuencia es superior a la frecuencia de corte. Es decir, el filtro pasa altos funciona en forma contraria al filtro pasa bajos. La figura muestra a continuación una gráfica de la magnitud de la ganancia de lazo cerrado en función de ω para tres tipos de filtros Butterworth. El ángulo de fase de un circuito de $+20$ dB/década es 45° para la frecuencia ω .

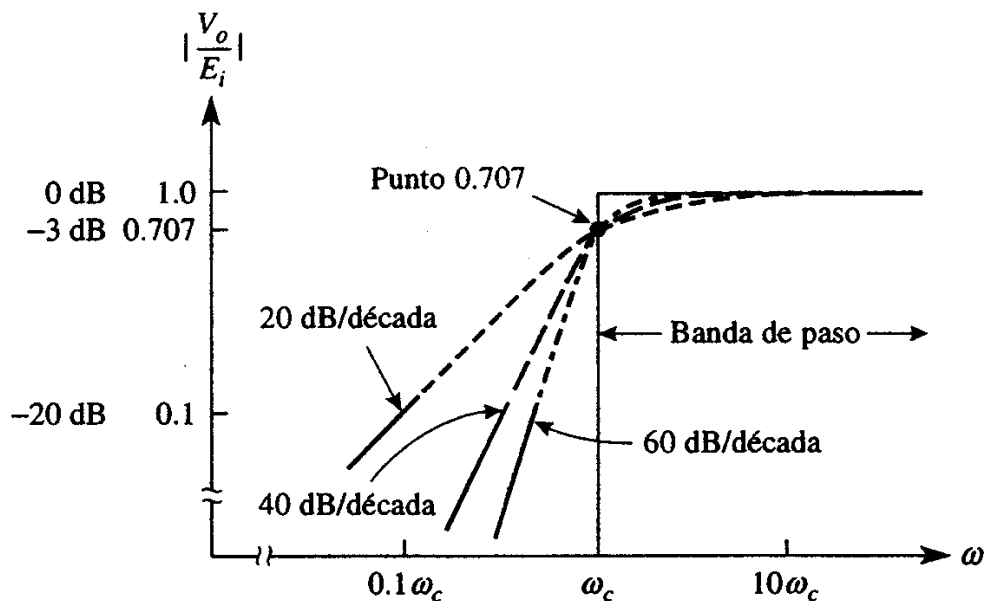
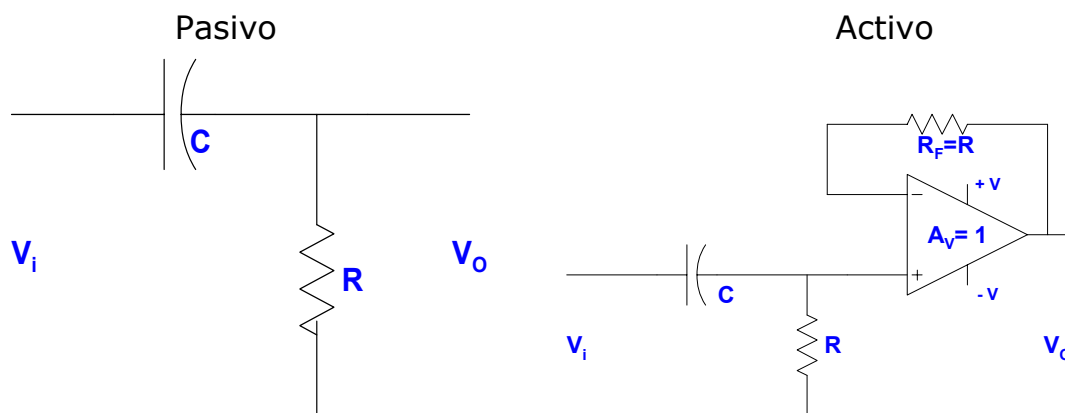


FIGURA Comparación de la respuesta a la frecuencia de tres filtros pasa altas Butterworth.

FILTRO PASA ALTOS (PA) Primer Orden



Ecuaciones

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{1 + \frac{i}{j\omega C}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

Angulo

$$\angle \left(\frac{V_o}{V_i} \right) = 90 - \tan^{-1} \omega RC$$

Magnitud

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad \text{si } \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (-3\text{db}) \text{ se produce la frecuencia de corte}$$

$$\left| \frac{1}{\sqrt{2}} \right| = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad /(\)^2$$

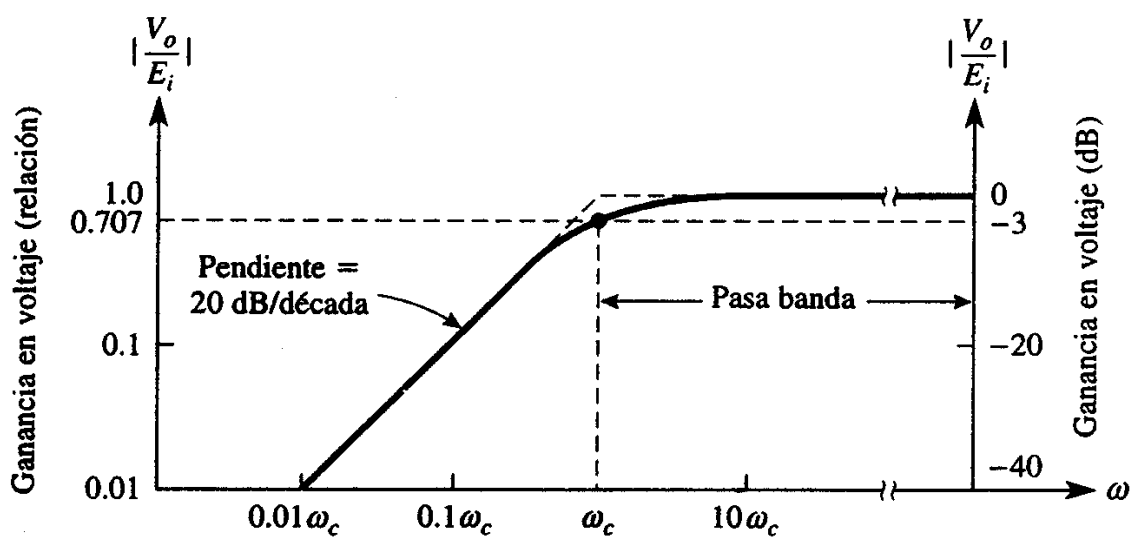
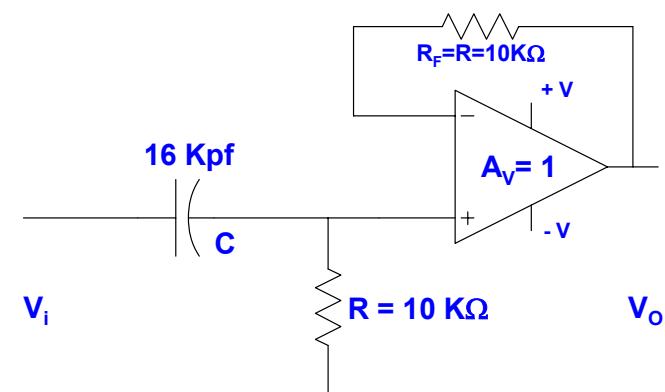
$$\omega = \frac{1}{RC} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{Ecuación de Diseño}$$

Procedimiento de Diseño

1. Defina una frecuencia de corte f_0
2. Defina C; elija un valor adecuado para C comprendido entre 100 pf y 0,1 μf
3. Calcule R

Ej. Diseñar un filtro pasa altos de primer orden cuya frecuencia de corte es de 1 KHz

$$\text{Si } C = 16 \text{ Kpf} \quad \Rightarrow \quad R = 10 \text{ K}\Omega$$

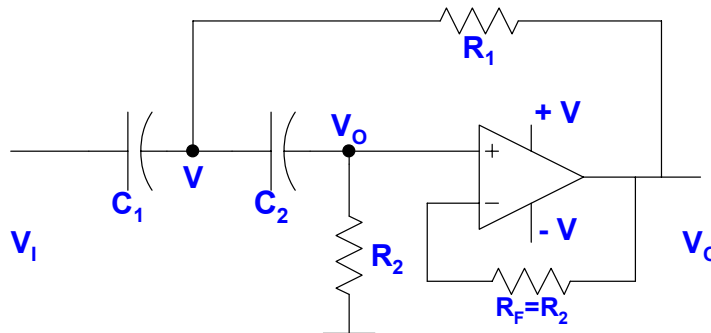


(b) Respuesta a la frecuencia correspondiente a (a).

FIGURA 7 Filtro pasa altas básico, 20 dB/década.

FILTROS BUTTERWORTH PASA ALTOS DE SEGUNDO ORDEN

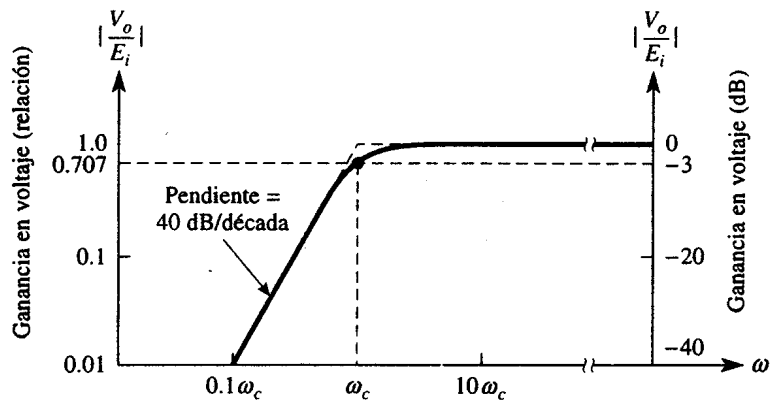
Pendiente: +40 dB/dec



Ecuaciones

$$\frac{V_1 - V}{1/j\omega C_1} = \frac{V - V_0}{R_1} + \frac{V - V_0}{1/j\omega C_2}$$

$$V_0 = V \times \frac{R_2}{R_2 + 1/j\omega C_2}$$



(b) Respuesta a la frecuencia del circuito de la parte (a).

FIGURA Circuito y respuesta a la frecuencia de un filtro pasa altas Butterworth de 40 dB/década.

Desarrollando encontramos la relación $H(s) = \frac{V_0}{V_1}$

$$H(s) = \frac{V_0}{V_1} = \frac{KS^2}{S^2 + S \frac{C_1 R_1 + C_2 R_1}{R_1 R_2 C_1 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

Esta ecuación puede ser comparada con la siguiente ecuación normalizada de segundo orden:

$$H(s) = \frac{KS^2}{S^2 + 2\xi\omega_n S + \omega_n^2}$$

donde ξ = factor de amortiguación y ω_n = frecuencia natural

Por comparación, tenemos que: $w_n = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$

Para diseño $\xi = 0,707$ y además se deben cumplir las siguientes relaciones:

$$C_1 = C_2 = C \quad \text{y} \quad R_1 = 2R_2$$

Por lo que la ecuación de diseño, queda como sigue:

$$f_n = \frac{1}{2\pi R_1 C \sqrt{2}} \quad \text{Ecuación de Diseño}$$

Procedimiento de Diseño

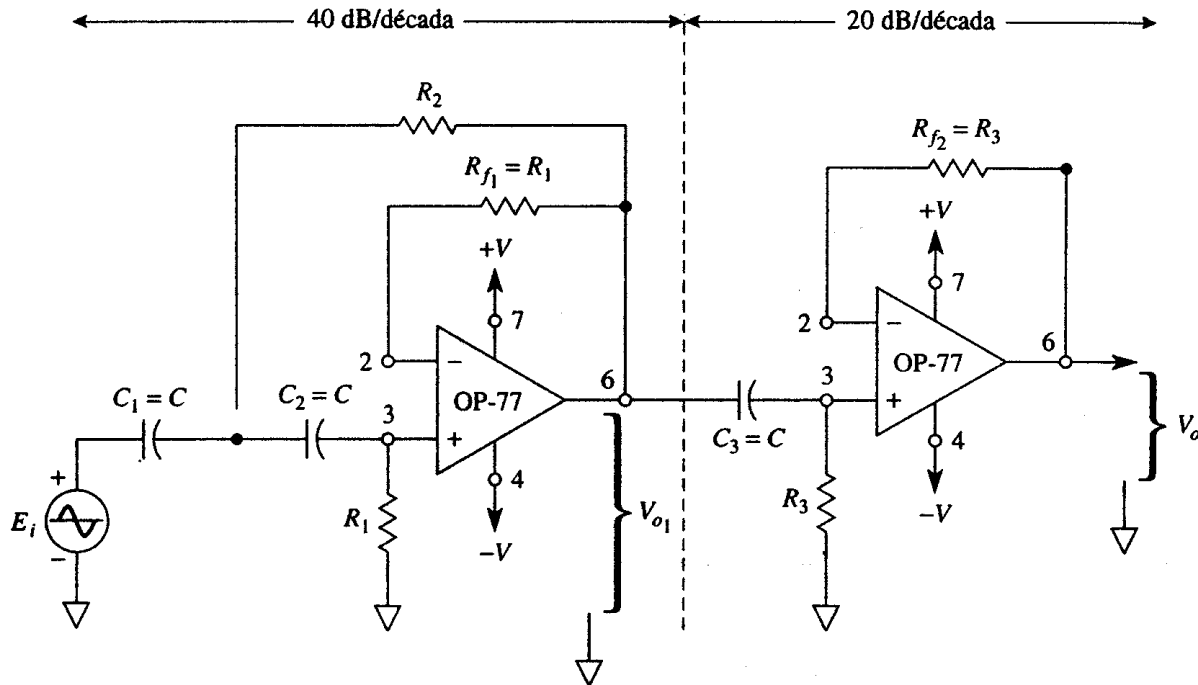
4. Defina una frecuencia de corte f_0
5. Defina C; elija el valor adecuado, comprendido entre 100 pf y 0,1 μf
6. Calcule R_1 Y R_2 .

Ej. Diseñar un filtro activo pasa altos de segundo orden a una frecuencia de operación de 10 KHz

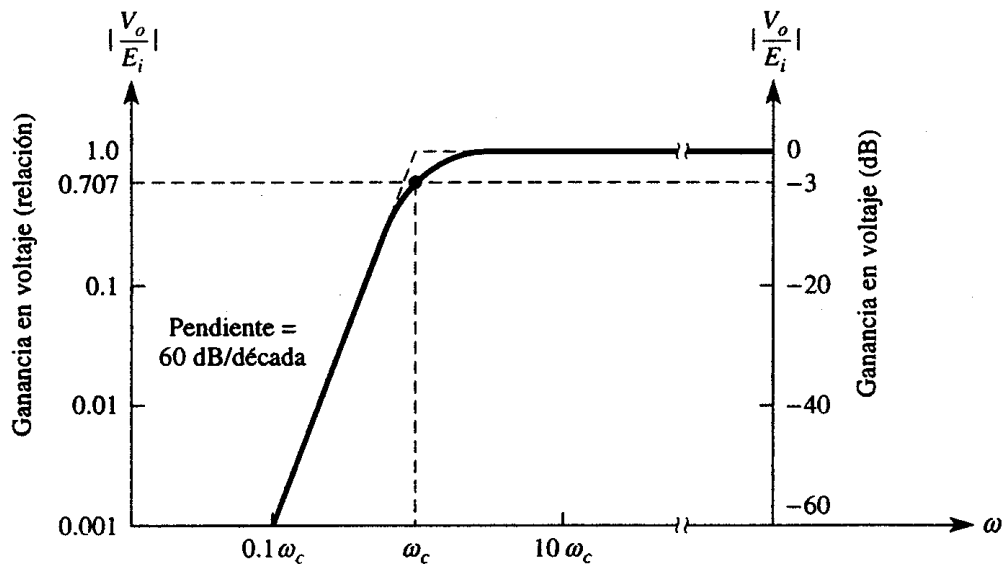
Sea $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$ $\therefore R_2 = 20 \text{ K}\Omega$ y $C_1 = C_2 = C = 1,1 \text{ Kpf}$

FILTROS BUTTERWORTH PASA ALTOS DE +60 dB/dec

Al igual que en el filtro pasa bajos de -60 dB/dec, este filtro se obtiene conectando en cascada un filtro de +40 dB/dec con otro de +20 dB/dec.



(a) Filtro pasa altas para una pendiente de 60 dB/década.



(b) Respuesta a la frecuencia del circuito de la parte (a).

FIGURA Circuito y respuesta a la frecuencia de un filtro pasa altas Butterworth de 60 dB/década.

FILTROS PASA BANDA

Los filtros pasa banda son selectores de frecuencia. Permiten a uno elegir o pasar sólo una determinada banda de frecuencias de entre todas las frecuencias que puede haber en un circuito. En la siguiente figura se puede apreciar la respuesta de frecuencia normalizada de este filtro. Este tipo de filtros tiene una ganancia máxima en la frecuencia de resonancia f_r . Dado que se trata de un filtro "normalizado", se trabajará con ganancia unitaria a f_r y las frecuencias de corte estarán ubicadas 0,707 del valor máximo.

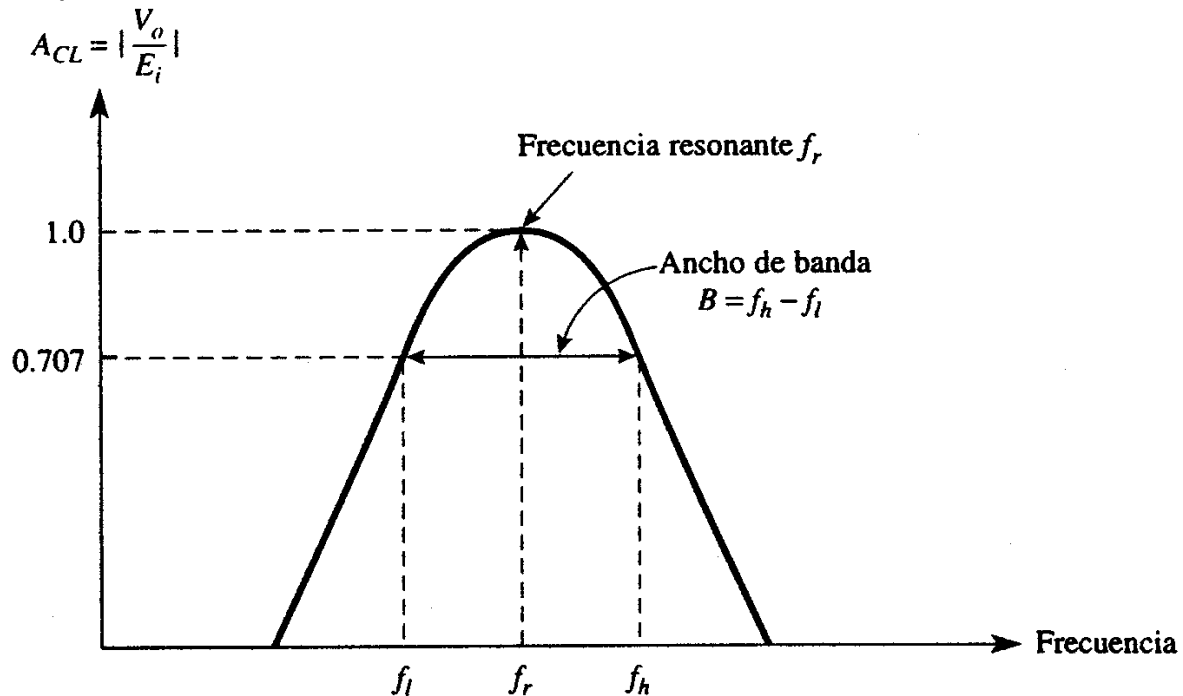


FIGURA La ganancia máxima del filtro pasa banda se da en la frecuencia resonante, f_r . La banda de frecuencias transmitida se encuentra entre f_l y f_h .

DEFINICIONES

Ancho de Banda: Al rango de frecuencias comprendidas entre f_l y f_h se le conoce como ancho de banda, B_w o

$$B_w = f_h - f_l$$

El ancho de banda no se encuentra centrado justamente en la frecuencia de resonancia. (Por ello se utilizará el nombre de "frecuencia resonante" y no el de "frecuencia central", para referirse a la f_r .)

Si se conocen los valores de f_l y de f_h , la frecuencia resonante se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$f_r = \sqrt{f_h \times f_l}$$

Si se conoce la frecuencia resonante f_r y el ancho de banda B_w , mediante la siguiente ecuación se calculan las frecuencias de corte:

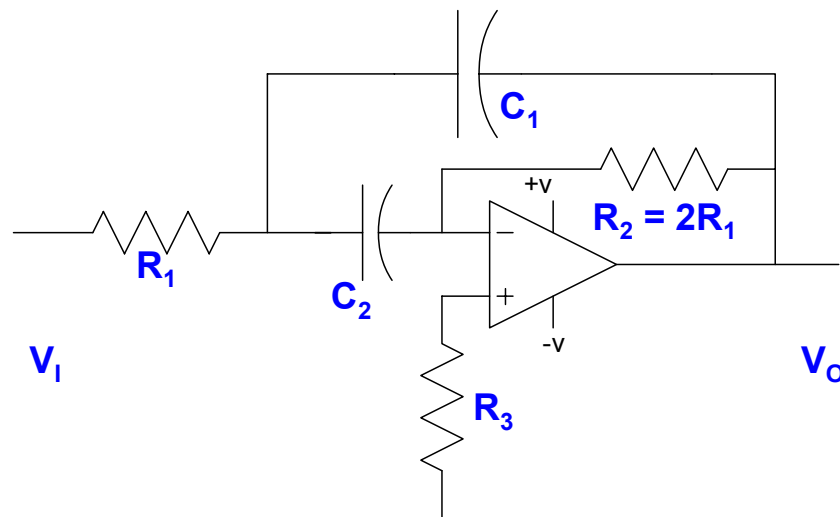
$$f_l = \sqrt{\frac{B_w^2}{4} + f_r^2} - \frac{B_w}{2} \qquad f_h = f_l + B_w$$

Factor de Calidad: El factor de calidad, Q , se define como la relación entre la frecuencia resonante y el ancho de banda, es decir:

$$Q = \frac{f_r}{B_w}$$

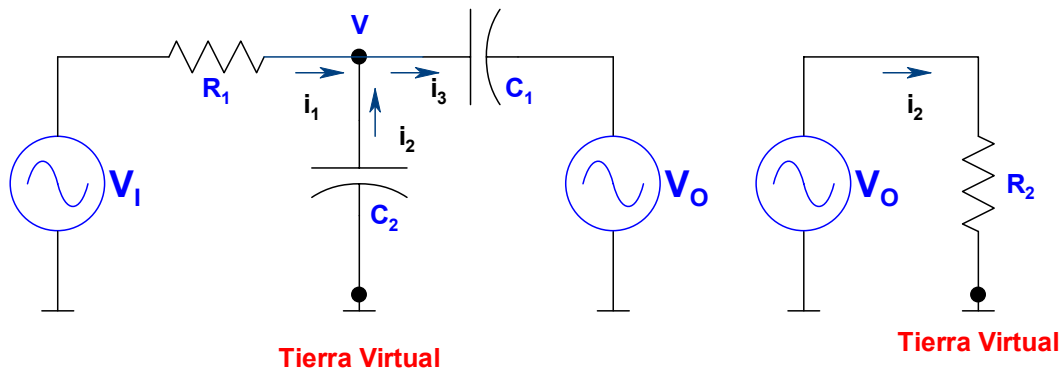
Q es la medida de la *selectividad* del filtro pasa banda. Un valor elevado de Q indica que el filtro selecciona una banda de frecuencias más reducidas (más selectivo).

CIRCUITO DE UN FILTRO PASA BANDA. (De banda angosta)



Análisis

Circuito equivalente

**ECUACIONES**

$$\left. \begin{aligned} \frac{V_I - V}{R_1} + \frac{V}{1/SC_2} &= \frac{V - V_O}{1/SC_1} & (1) \\ i_2 = \frac{V_O}{R_2} & & (2) \end{aligned} \right\}$$

Desarrollando

$$\frac{V_O}{V_I} = \frac{-S \frac{1}{R_1 C_1}}{S^2 + S \frac{1}{R_2} \left[\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right] + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

Donde $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$

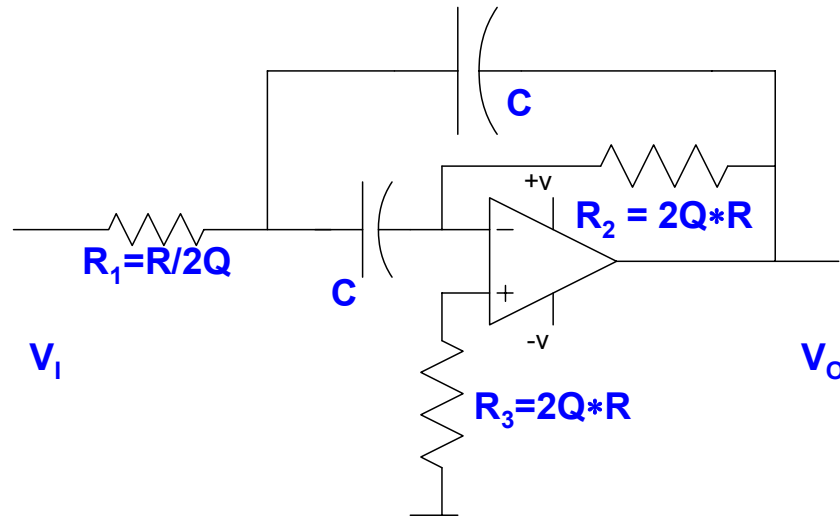
Normalizando para diseño $R_1 = \frac{R}{2Q}$ y $R_2 = 2QR$ y $C_1 = C_2 = C$

la ganancia del circuito, que es la relación $\frac{V_O}{V_I} = -2Q^2$

$$f_r = \frac{1}{2\pi RC}$$

A medida que Q aumente, la ganancia aumentará en forma cuadrática.

El circuito normalizado para diseño es:



Ej. Diseñar un filtro pasa banda activo para una frecuencia resonante (f_r) de 1 KHz con $Q = 1$
Sea $R = 10\text{ K}\Omega$

$$C = C_1 = C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 10^4} = 16\text{Kpf}$$

$$\text{y } R_1 = \frac{10^4}{2Q} = 5\text{K}\Omega \quad \text{y} \quad R_2 = 10^4 * 2Q = 20\text{K}\Omega$$

FILTRO DE BANDA ANCHA BÁSICO

Configuración en cascada

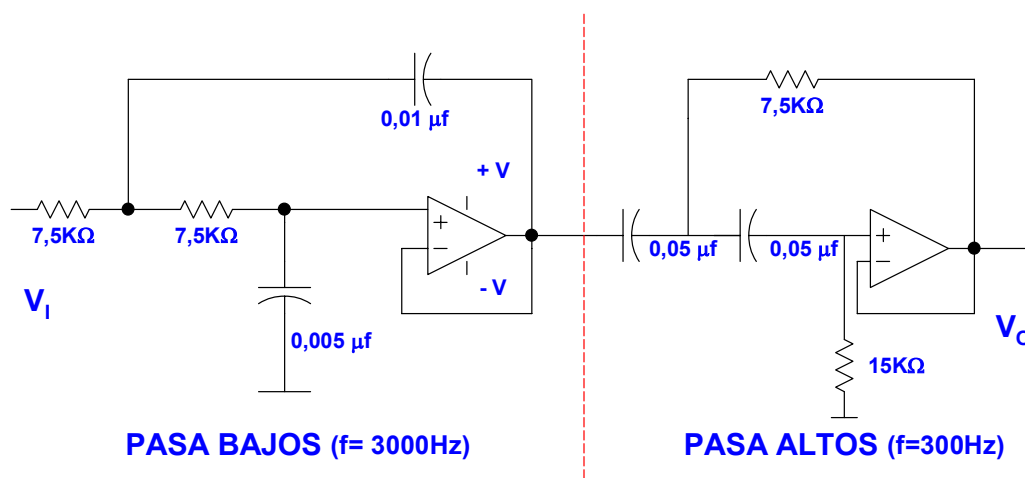
Cuando se conecta en serie la salida de un circuito con la entrada de un segundo circuito, se dice que las etapas de ganancia están en cascada. En la figura que se muestra a continuación, en la primera etapa está un filtro pasa bajos de 3000 Hz. Su salida se conecta con la entrada de un filtro pasa altos de 300 Hz. Este par de filtros activos conectados en cascada, forman así un filtro pasa banda.

CIRCUITO DEL FILTRO DE BANDA ANCHA

En general, para construir un filtro pasa banda ($Q \leq 0,5$) se conecta en cascada un filtro pasa bajos un filtro pasa altos. Es importante que las frecuencias *no se traslapen*, y que ambas tengan la misma ganancia en banda de paso. Además, la frecuencia de corte del filtro pasa bajos debe ser 10 veces o más la frecuencia de corte del pasa altos.

El filtro de banda ancha obtenido mediante los filtros pasa bajos y pasa altos conectados en cascada tienen las siguientes características:

1. La frecuencia de corte inferior, f_i , esta determinada **sólo** por el filtro pasa altos
2. La frecuencia de corte superior, f_h , está definida exclusivamente por el filtro pasa bajos.
3. La ganancia tendrá su máximo valor, en la frecuencia resonante, f_r , y su valor será el mismo que la ganancia de banda de paso de cualquiera de los filtros anteriores.



RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL CIRCUITO PASA BANDA

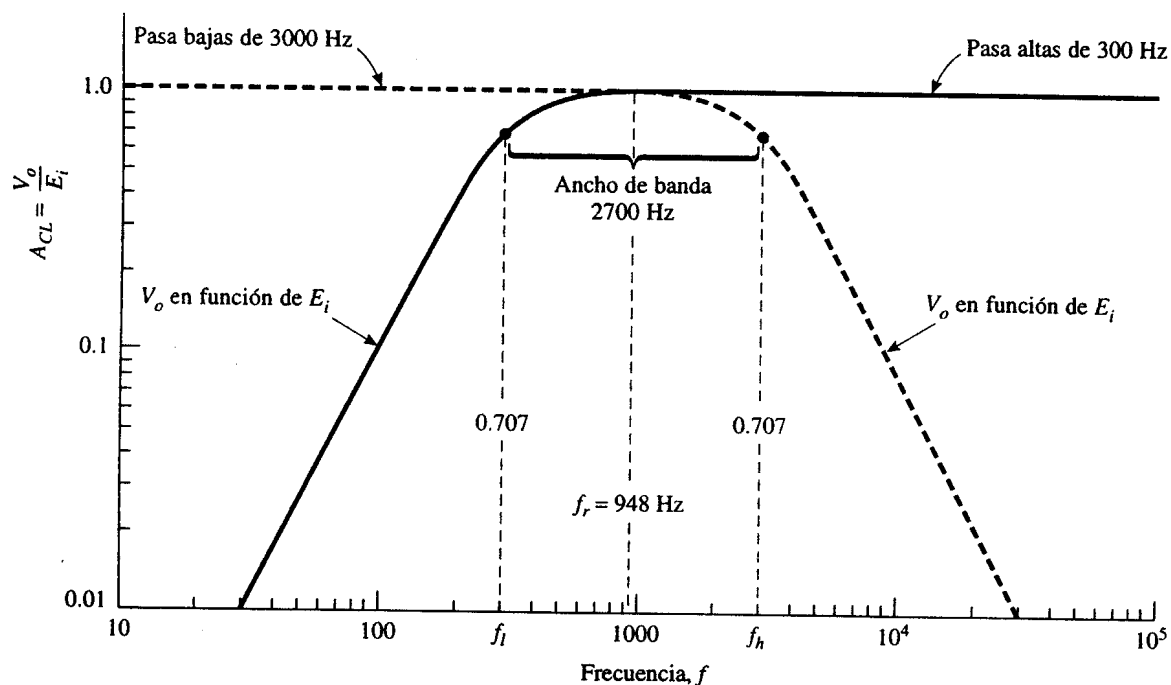


FIGURA Conexión en cascada de un filtro pasa bajos de segundo orden y 3000 Hz con un filtro pasa altos de 300 Hz para formar un filtro de voz pasa bandas de 300 a 3000 Hz.

FILTROS SUPRESORES DE BANDA o FILTROS NOTCH

El nombre de filtro de rechazo de banda o supresor de banda o filtro de muesca, se debe a la forma característica de su curva de respuesta a la frecuencia, la cual se muestra a continuación.

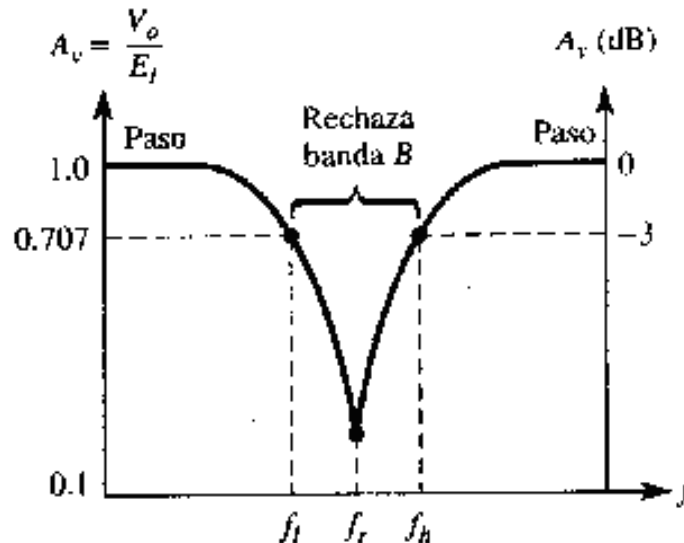


FIGURA El filtro de muesca transmite las frecuencias de la banda de paso y elimina frecuencias indeseadas, presentes en la banda de paso

Las frecuencias indeseables se atenúan en la banda de rechazo, B_w . Las frecuencias deseadas sí se transmiten y son las que se encuentran dentro de las bandas que están a ambos lados de la muesca.

Por lo general la ganancia de la banda de paso de los filtros supresores es de 1 o 0 db.

Las ecuaciones correspondientes a Q , B_w , f_i , f_h y f_r son idénticas a la del filtro pasa banda correspondiente.

TEORÍA DE UN FILTRO SUPRESOR DE BANDA

Como se muestra en la figura, los filtros supresores se construyen restando la salida de un filtro pasa banda a la señal original.

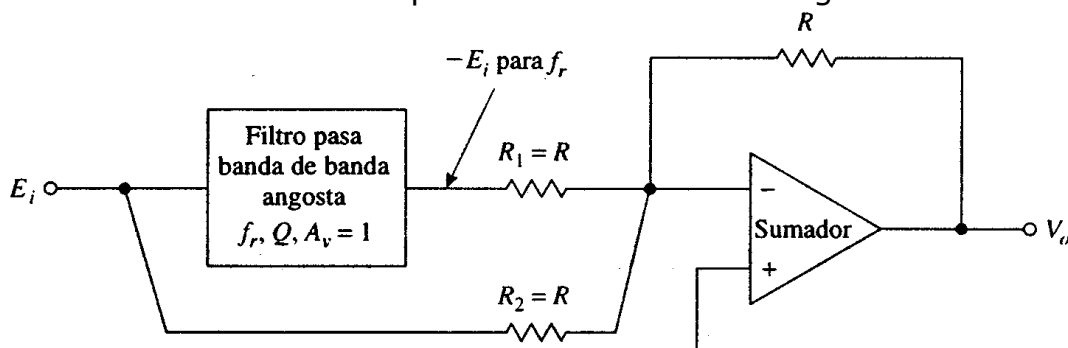


FIGURA El filtro muesca se construye con un circuito que resta la salida del filtro pasa banda de la señal original.

Para las frecuencias que están en la banda de paso del filtro supresor, la salida de la sección del filtro pasa banda se aproxima a cero. Por lo tanto, la entrada E_i se transmite a través de la resistencia de entrada sumadora, R_1 , con lo que V_o adquiere un valor igual a $-E_i$. Por lo tanto, $V_o = -E_i$, tanto en la banda de paso superior como en la inferior del filtro

PARA QUE SIRVE UN FILTRO SUPRESOR

En las aplicaciones en las que se necesita amplificar señales de bajo nivel, existe la posibilidad de que haya una o varias señales de ruido indeseables. Por ejemplo, las frecuencias de 50,60 o 400 Hz de las líneas de suministro eléctrico; el rizado de 100 Hz que producen los rectificadores de onda completa, o incluso, frecuencias más altas que generan las fuentes de alimentación reguladas conmutadas o los osciladores de reloj. Si ambas señales y un componente de ruido de la misma frecuencia se pasan por el filtro supresor, únicamente saldrá del filtro las señales deseadas. La frecuencia de ruido se suprime con la muesca.

A continuación un ejemplo de cómo construir un filtro supresor para eliminar un zumbido de 120 Hz.

Se elige una Banda de rechazo de 12 Hz. La ganancia del filtro supresor en la banda de paso es de uno (0 db), por lo que las señales deseadas se transmiten sin atenuaciones. Mediante la siguiente ecuación, calculamos el

valor de Q:

$$Q = \frac{f_r}{B_w} = \frac{120}{12} = 10$$

Un valor de Q tan elevado como el anterior indica que:

1. Los filtros supresores y pasa banda empleado tienen bandas angostas y curvas de respuestas a la frecuencia muy pronunciadas.
2. El ancho de banda básicamente se concentra alrededor de la frecuencia resonante. Es decir, este filtro transmitirá las frecuencias que vayan de 0 a $(120-6)=114$ Hz y todas las frecuencias que sean mayores a $(120+6)=126$ Hz. El filtro detendrá todas las frecuencias comprendidas entre 114 y 126 Hz.

PROCEDIMIENTO PARA CONSTRUIR UN FILTRO SUPRESOR

1. Construya un filtro pasa banda que tenga la misma frecuencia resonante, ancho de banda, y en consecuencia el Q del filtro supresor.
2. Conecte el sumador inversor, como indica la figura a continuación, eligiendo resistencias iguales para R. Por lo general $R = 10\text{k}\Omega$.
3. Calcule R_r de la siguiente manera $R_r = \frac{R}{2Q^2 - 1}$

CIRCUITO PROPUESTO

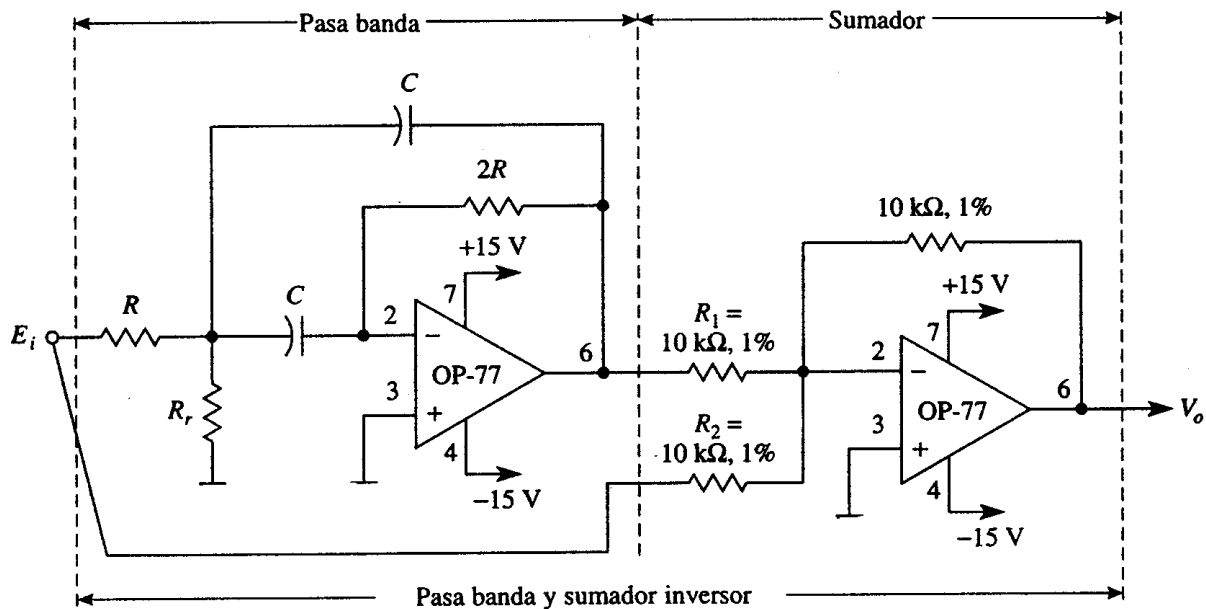


FIGURA Este filtro muesca, para el que se usan dos amplificadores operacionales, consta de un filtro pasa banda y un sumador inversor. Si $C = 0.33 \mu\text{F}$, $R = 40.2 \text{k}\Omega$ y $R_r = 201 \Omega$, la frecuencia de muesca será de 120 Hz y la del ancho de banda de rechazo de 12 Hz.

Para el diseño del filtro pasa banda

$$B_w = \frac{0.1591}{RC} \quad B_w = \frac{f_r}{Q}$$

La ganancia tiene un valor máximo de uno cuando la frecuencia es f_r , siempre y cuando la resistencia de realimentación $2R$ sea el doble del valor de la resistencia de entrada R .

La frecuencia resonante f_r se determina mediante la resistencia R_r de acuerdo con la siguiente ecuación: $R_r = \frac{R}{2Q^2 - 1}$

Si se dispone de los valores de los componentes del circuito, la frecuencia resonante se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$f_r = \frac{0.1125}{RC} \times \sqrt{1 + \frac{R}{R_r}}$$

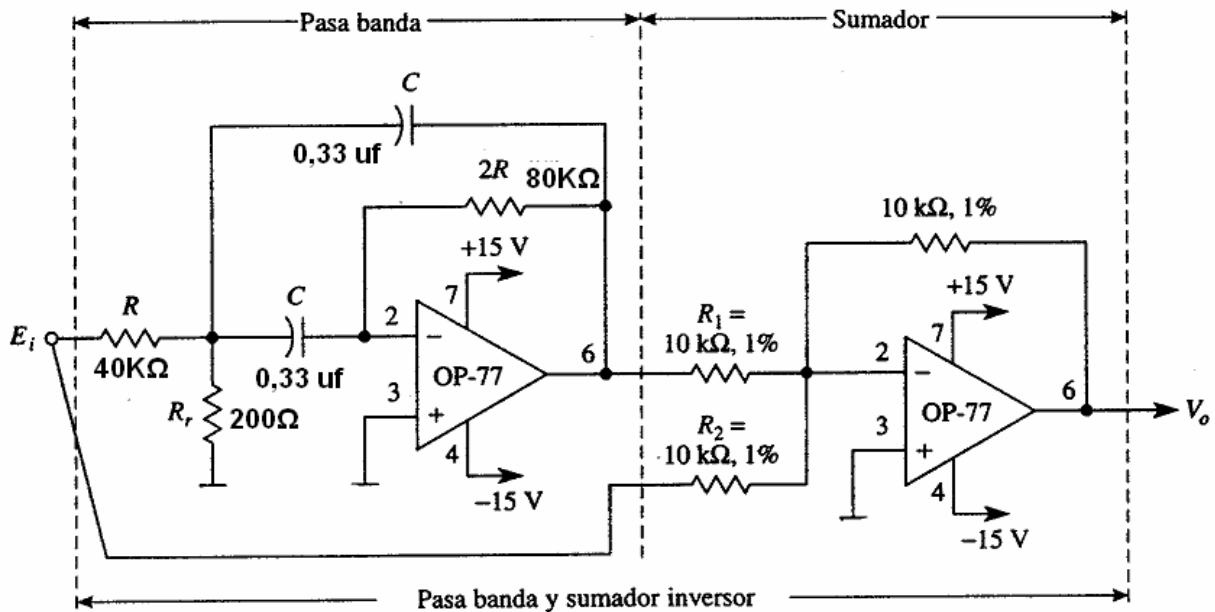
Solución:

Elija $C = 0,33 \mu\text{f}$

Calcule $R = \frac{0.1591}{B_w C} = \frac{0.1591}{(12)(0.33 \times 10^{-6})} = 40.2 \text{K}\Omega$

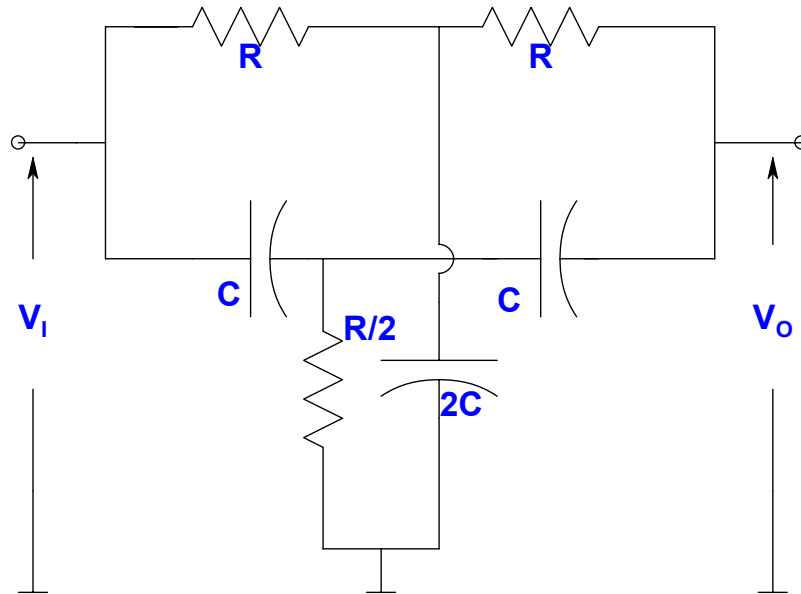
La resistencia de realimentación de paso será $2R = 80.4 \text{K}\Omega$

Y $R_r = \frac{R}{2Q^2 - 1} = \frac{40.2 \text{K}\Omega}{2(10)^2 - 1} = \frac{40.2 \text{k}\Omega}{199} = 201 \Omega$



OTRAS MALLAS PARA LA CONSTRUCCION DE FILTROS SUPRESORES

FILTRO PASIVO NOTCH



Donde

$$f_r = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{ecuación de diseño}$$

FILTRO ACTIVO NOTCH

El Amplificador Operacional está conectado básicamente como seguidor de voltaje (ganancia unitaria)

La pendiente del filtro dependerá directamente del Q del circuito.

Q en este caso esta dado por:

$$Q = \frac{R_2}{2R_1} = \frac{C_1}{C_2} \quad \text{y} \quad f_r = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

Ej. Diseñar un filtro Notch para $f = 50 \text{ Hz}$ con $Q = 5$

Dado $C_1 = 0,1 \mu\text{f}$ se calcula $R_1 = \frac{1}{2\pi f_r C_1} = 31.830\Omega$

Valor comercial $R_1 = 33 \text{ K}\Omega$

$\therefore C_2 = \frac{C_1}{Q} = 0,02\mu\text{f}$ y $R_2 = 2R_1Q = 330\text{K}\Omega$

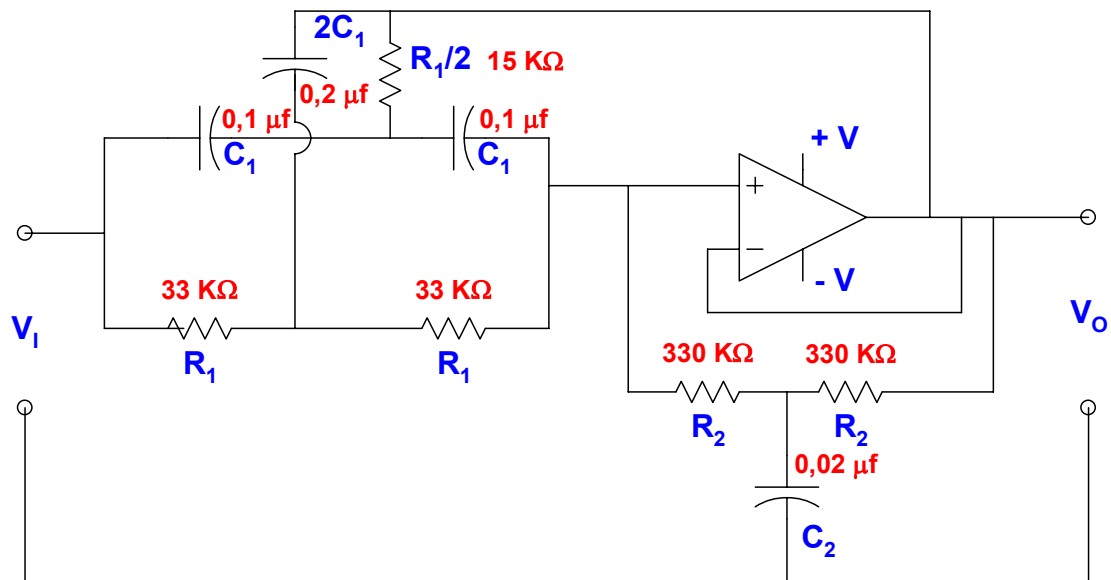


TABLA RESUMEN

ORDEN DEL FILTRO	PENDIENTE PASA BAJOS	PENDIENTE PASA BANDA o SUPRESOR DE BANDA	PENDIENTE PASA ALTOS
1	- 6 db/dec		+6 db/dec
2	- 12 db/dec	±6 db/dec	+12 db/dec
3	- 18 db/dec		+18 db/dec
4	- 24 db/dec	±12 db/dec	+24 db/dec
5	- 30 db/dec		+30 db/dec
6	- 36 db/dec	±18 db/dec	+36 db/dec