

FILTROS ACTIVOS PARA SEÑALES SINUSOIDALES UNICAS DE PENDIENTE INFINITA

*Karel Espinoza Torres.
Estudiante de la FIE
Escuela Politécnica Nacional*

*Ing. Tarquino Sánchez Almeida
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones
Profesor Agregado II de la FIE
Escuela Politécnica Nacional.*

RESUMEN

Se utiliza un convertidor de frecuencia a voltaje, un comparador de voltaje y un interruptor análogo digital para obtener un filtro pasa altos, pasa bajos, pasa banda y rechaza banda para señales senoidales únicas de hasta 100KHz.

Al convertidor de frecuencia a voltaje ingresa la señal a filtrarse obteniéndose a la salida un valor de voltaje DC proporcional a la frecuencia de entrada el cual ingresa a un comparador de voltaje que tiene una referencia de voltaje correspondiente a la frecuencia de corte programada para el filtro. Cuando se sobrepasa este nivel el comparador cambia de estado actuando este sobre el interruptor análogo digital que controlará el paso de la señal a ser filtrada, obteniéndose de esta manera un filtro con características casi ideales, limitado por los parámetros propios de los elementos utilizados. Se puede utilizar este principio de filtrado en aplicaciones donde se tenga una señal única de tipo senoidal.

Abstract.

The signal to be filtered enters the frequency to voltage converter at the output a DC voltage proportional to the input frequency is obtained, this voltage enters a voltage comparator which has a reference voltage corresponding to the cut frequency programmed for the filter.

When this level is surpassed the comparator changes its state acting over the analog – digital switch, which controls the pass of the signal to be filtered, in this way a filter of nearly ideal characteristics is obtained, limited by the parameters of the used elements.

This filtering principle can be used in applications which have a single sinusoidal signal.

1. Introducción

Se presentan los circuitos para la obtención de filtros pasa bajos, pasa altos, pasa banda y rechaza banda necesarios para la implementación de un filtro activo de pendiente casi infinita que supera a los filtros activos tradicionales que poseen una pendiente limitada para filtrar una señal senoidal única.

2. Sistema de filtrado.

El sistema propuesto tiene una estructura como la indicada por el diagrama de bloques de la figura N° 1.

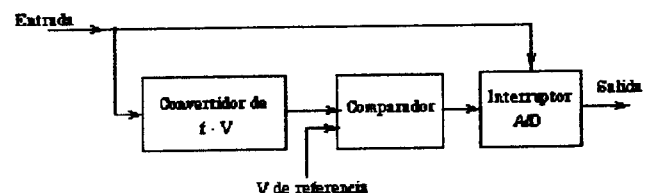


Fig. N° 1 Diagrama de bloques.

Correspondencia enviarla a:

Karel Espinoza T. Fono: 02-506-437, e-mail: Kareltql@hotmail.com o, Ing. Tarquino Sánchez A. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Escuela Politécnica Nacional Apdo. 17-01-2759 Quito Ecuador Fono: 02-507-144

Dentro de este esquema el convertidor de frecuencia a voltaje y el interruptor serán comunes para los cuatro tipos de filtros, siendo los circuitos comparadores los

que determinan las características de pasa bajos, pasa altos, pasa banda o rechaza banda del correspondiente filtro implementado.

Por lo tanto:

$$V_o = K_1 \times f_{IN} \quad (5)$$

3. Convertidor de frecuencia a voltaje.

Se utiliza el circuito integrado LM2917N cuyas conexiones externas recomendadas por el fabricante y configuración es la siguiente:

Siendo:

$$K_1 = V_{cc} \times C_1 \times R_1 \times K \quad (6)$$

Obteniéndose de la ecuación 5 la relación directa, entre la frecuencia de entrada y el voltaje de salida.

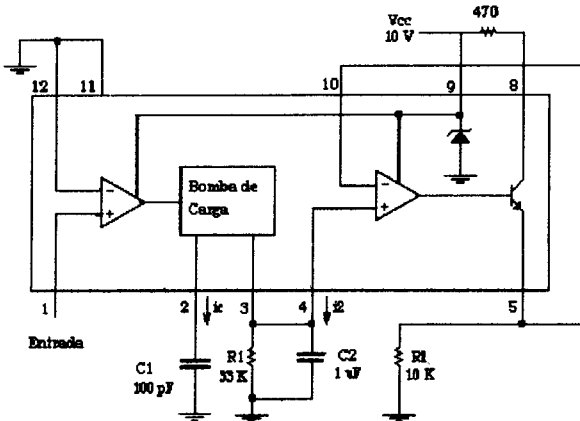


Fig. N° 2 *Convertor de frecuencia a voltaje*

La entrada se lo hace a través del amplificador operacional conectado en lazo abierto para tener alta impedancia de entrada lo que permite tomar una muestra de la señal a ser filtrada sin cargar a la fuente de la señal.

El capacitor C2 se lo utiliza para disminuir la cantidad de rizado que se obtiene en el voltaje de salida cuyo valor está dado por:

$$V_r(pp) = \frac{V_{cc}}{2} \times \frac{C_1}{C_2} \times (1 - V_{cc} \times f_{IN} \times \frac{C_1}{i_2}) \quad (7)$$

La frecuencia máxima de entrada está dada por:

$$f_{max} = \frac{i_2}{V_{cc} \times C_1} \quad (8)$$

La cantidad promedio de corriente de salida a través del capacitor C1 viene dada por:

Se debe considerar que un mayor valor de C2 reduce el rizado, pero aumenta el tiempo de respuesta del circuito. Se recomienda un valor mínimo de 100pF de C1 para una buena precisión en la conversión, un valor menor implica un mayor valor de R1 lo cual puede afectar a la impedancia de salida del pin 3.

$$i_{c(AV)} = C_1 \times \frac{V_{cc}}{2} \times 2 \times f_{IN} \quad (1)$$

De donde:

Para la polarización del diodo zener interno el fabricante recomienda un valor de resistencia de 470 Ω, alimentando al circuito con valores entre 9 y 16 voltios.

$$i_{c(AV)} = V_{cc} \times f_{IN} \times C_1 \quad (2)$$

El voltaje de salida será:

Utilizando los valores de la figura N° 2 con $i_2=0.1$ mA tenemos una frecuencia máxima de 100 KHz. El rizado en el voltaje de salida será mayor para frecuencias bajas (0.5 mVpp a 1 Hz), hasta un valor de 0 para la frecuencia máxima de 100 KHz.

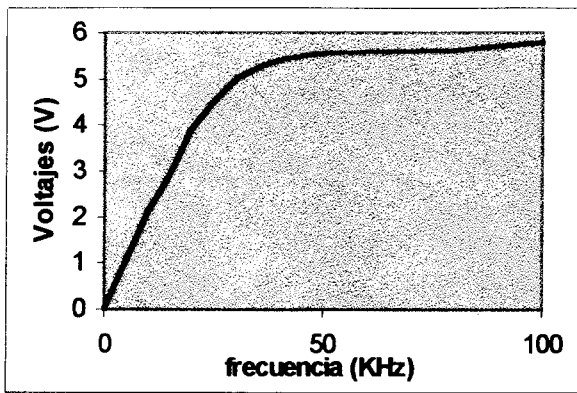
$$V_o = i_c \times R_1 \quad (3)$$

La ecuación de conversión de frecuencia a voltaje estará dada por:

El gráfico N° 1 representa el voltaje de salida respecto a la frecuencia de entrada para los valores especificados del circuito de la figura N° 2, en el cual se observa que la constante K_1 de la relación 6, tiene una variación menor para aproximadamente frecuencias mayores a los 30 KHz, lo cual da una menor pendiente del voltaje de salida respecto a la frecuencia de entrada para frecuencias altas.

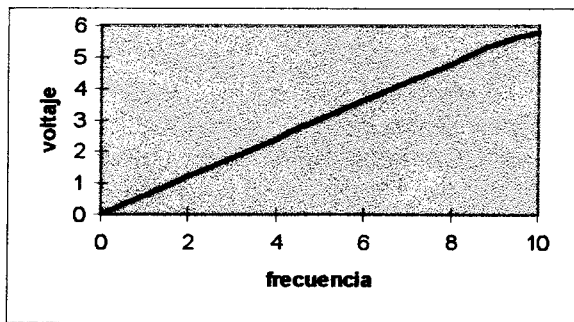
$$V_o = V_{cc} \times f_{IN} \times C_1 \times R_1 \times K \quad (4)$$

Siendo K una constante con un valor típico de uno, que se introduce debido a las tolerancias.



Graf. N° 1 De 0 a 100 KHz

Para un valor de $C_1=1$ nF, la frecuencia máxima de entrada al convertidor de frecuencia a voltaje será de 10 KHz, obteniendo como respuesta del circuito la curva mostrada en el gráfico N° 2, donde se observa una mayor linealidad de la constante K_1 .



Graf. N° 2 De 0 a 10 KHz

4. Circuitos comparadores.

La salida del conversor ingresa a una entrada de un circuito comparador y en la otra se tendrá como referencia el valor correspondiente a la frecuencia de corte programada para el filtro, que se puede obtener de los anteriores gráficos.

El voltaje diferencial del amplificador operacional usado como comparador determinará en gran parte la mayor o menor pendiente del filtro, mientras menor es el valor del voltaje diferencial menor es el cambio en frecuencia necesario para producir el cambio del nivel de salida del comparador obteniéndose una mayor pendiente del filtro.

5. Circuito interruptor.

Su función es la de permitir el paso o la interrupción de la señal a ser filtrada comandado por la salida del circuito comparador. Se utiliza el interruptor análogo digital 4066 que opera con niveles CMOS en sus terminales de control., es decir tiene un nivel alto para valores mayores de $V_{cc}/2$ y nivel bajo para valores menores que $V_{cc}/2$. Se polariza desde 3 (V) a 15 (V) en $+V_{cc}$ y desde 0 (V) a -6 (V) en $-V_{cc}$ lo que permite controlar una señal de hasta de 10Vpp.

Presenta una resistencia de aproximadamente 150 ohmios en conducción (terminal de control 1L) y prácticamente de infinito en circuito abierto (terminal de control 0L)

6. Filtro pasa Bajos.

La configuración del circuito será la mostrada a continuación por la figura 3:

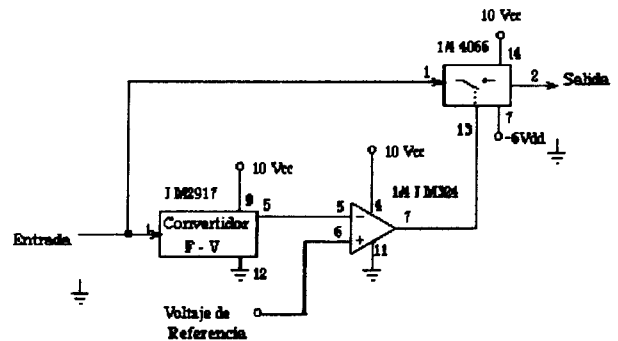


Fig. N° 3 Filtro pasa bajos

En el circuito comparador LM324, la entrada será por el terminal negativo y la referencia estará en el terminal positivo, de tal forma que al sobrepasar la frecuencia de corte el convertidor de frecuencia a voltaje entrega un voltaje mayor que la referencia por lo cual el comparador cambia al estado bajo, interrumpiéndose la señal a través del interruptor análogo digital.

7. Filtro pasa altos.

La configuración del circuito será la mostrada a continuación por la figura 4:

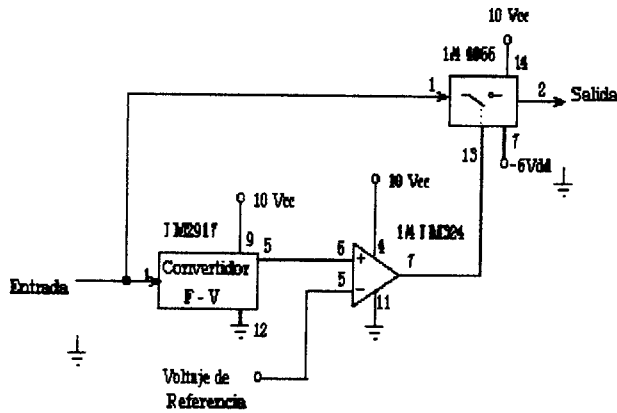
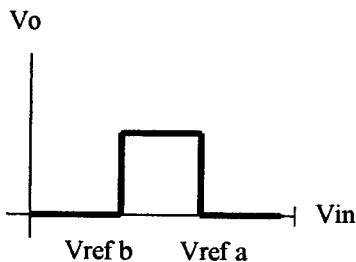


Fig. N° 4 Filtro pasa altos

La entrada al comparador LM324 será por el terminal positivo y la referencia estará en el terminal negativo por lo cual su salida se mantendrá en el estado bajo hasta que no se supere la frecuencia de corte, actuando sobre el interruptor el cual permitirá el paso de la señal.

8. Filtro pasa banda.

Para la configuración del filtro pasa banda se utiliza el integrado LM239J, comparador de colector abierto, que permite la configuración de un comparador de ventana, cuya función de transferencia será la mostrada por el gráfico 3.



Graf. N° 3 Función de transferencia de un comparador de ventana.

La referencia b en la entrada negativa será la correspondiente a la frecuencia de corte inferior y la referencia a en la entrada positiva será la correspondiente a la frecuencia de corte superior. Al superar la frecuencia baja la salida pasará al estado alto, permitiendo el paso de la señal a través del interruptor hasta que se sobrepase la frecuencia superior, donde la salida volverá al estado bajo interrumpiendo nuevamente el paso de la señal.

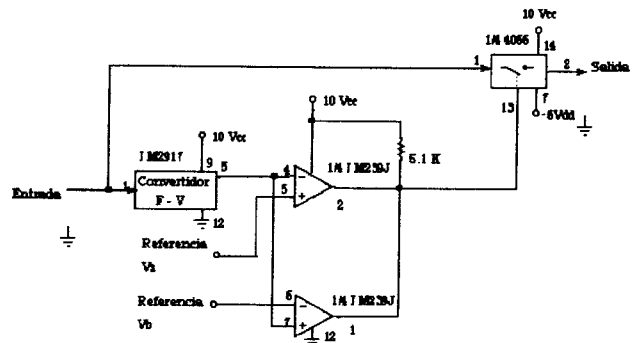


Fig. N° 5 Filtro pasa banda

9. Filtro rechaza banda.

Su configuración es similar a la que posee el filtro pasa banda, en cuyo circuito la salida del comparador de ventana implementado con el C.I. LM239J, se conecta un inversor del LM324, para obtener el efecto contrario de la configuración anterior. Esta etapa se hace necesaria debido a que en la configuración del comparador de ventana, la referencia a de la entrada positiva debe ser mayor que la referencia b de la entrada negativa para operar correctamente.

El circuito usado es:

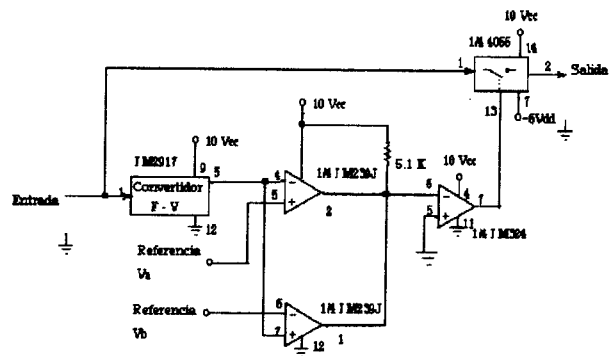
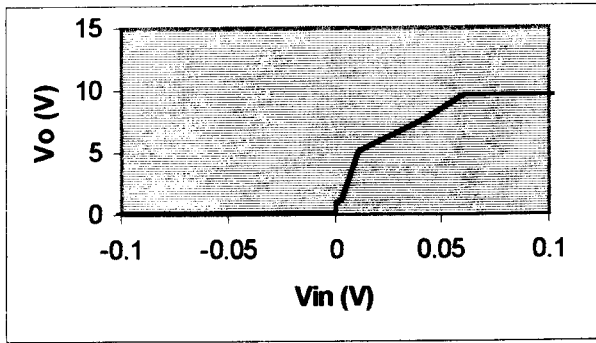


Fig. N° 6 Filtro rechaza banda

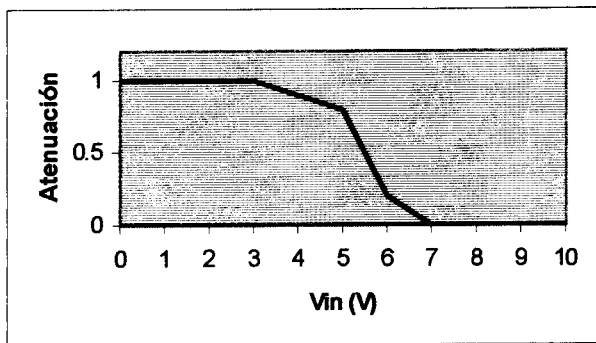
10. Resultados.

La atenuación del filtro es dependiente de la función de transferencia no ideal de los circuitos comparadores, que es más influyente en los del tipo ventana. El gráfico N° 5 muestra la función de transferencia entre el voltaje diferencial (voltaje de entrada menos voltaje de referencia negativa) y del voltaje de salida del comparador de ventana implementado.



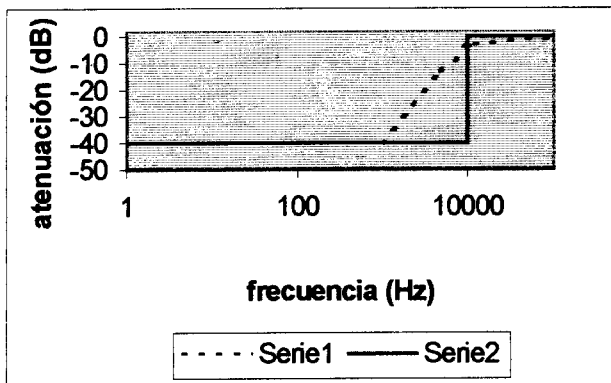
Graf. Nº 5 Función de transferencia del comparador.

La respuesta obtenida hace que el interruptor A/D CI4066 presente una atenuación a la señal de entrada en función del voltaje en el terminal de control, influyendo sobre la pendiente de respuesta del filtro. El gráfico Nº 6 muestra ésta atenuación en función del voltaje en el terminal de control.

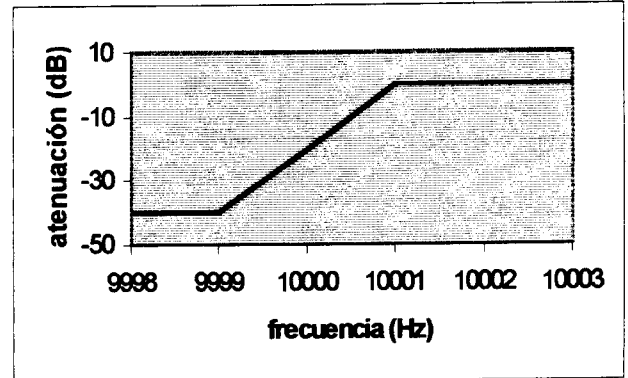


Graf. Nº 6 Atenuación del interruptor A/D en función del voltaje del terminal de control.

El gráfico Nº 7 muestra la respuesta para un filtro pasa altos con frecuencia de corte baja de 10 KHz, mediante el sistema propuesto (serie 2), comparada con la respuesta de un filtro activo con una atenuación de 40 dB/dec, implementado con un amplificador operacional LM741 (serie 1).



Se puede observar que la pendiente obtenida tiende a un valor grande, por lo cual el gráfico Nº 8 presenta la respuesta del filtro propuesto en escala lineal para una mejor apreciación de la pendiente.



Graf. Nº 8 Respuesta para el filtro pasa altos en escala lineal

11. Conclusiones.

La respuesta del filtro es muy superior a la obtenida por filtros tradicionales con una zona de transición que tiende a cero, y esto debido a que está limitada principalmente por la función de transferencia de los circuitos comparadores, a lo cual se debe que el paso o interrupción de la señal por parte del interruptor A/D no sea ideal.

El filtro es adecuado para señales senoidales debido a que el convertidor de frecuencia a voltaje detecta los cruces por cero de la señal de entrada, sin interferir en su forma, ni discriminar sus armónicos. Esto limita las aplicaciones del filtro a señales que tengan cruces por cero periódicos.

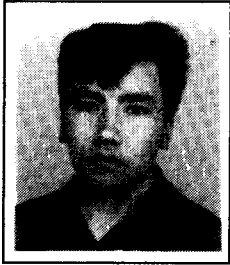
El sistema tiene la posibilidad de poder trabajar en frecuencias mayores utilizando un convertidor de frecuencia a voltaje adecuado. Se puede mejorar su pendiente implementando comparadores con una zona de transición menor, con lo cual se obtendría una mejor pendiente. La frecuencia de corte es modificada únicamente por el voltaje de referencia, sin la necesidad de rediseñar el circuito.

Se recomienda dar una frecuencia máxima al convertidor de frecuencia a voltaje, de acuerdo al rango de frecuencias de trabajo del filtro, que se obtiene modificando el valor de C_1 .

12. Referencias.

1. National Semiconductors, *Linear Databook*, California, 1982.
2. Boylestad Robert, *Electrónica Teoría de Circuitos*, México, Prentice Hall, 1985.
3. Coughlin Robert, Driscoll Frederick, *Circuitos Integrados Lineales y Amplificadores Operacionales*, México, Prentice Hall, II ed. 1993.

13. Biografías



KAREL ESPINOZA TORRES.

Nació en Quito, el 10 de diciembre de 1972. Obtuvo el título de bachiller técnico industrial, especialización electrónica en el Instituto Superior Central Técnico en el año de 1991. Actualmente cursa

el sexto semestre de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, en la especialidad de Control en la Escuela Politécnica Nacional.



Ing. TARQUINO F. SANCHEZ ALMEIDA

Nació en Atuntaqui, el 18 de marzo de 1966. Obtuvo el título de bachiller en humanidades modernas en el Colegio Particular Sánchez y Cifuentes de Ibarra. Sus estudios superiores los realizó en la

Escuela Politécnica Nacional y obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en Electrónica y Telecomunicaciones en 1991.

Su área de interés es la electrónica análogo digital. Actualmente realiza estudios de Postgrado en Gerencia Empresarial en la Escuela Politécnica Nacional.