

Nueva forma de enseñanza de circuitos eléctricos y electrónicos

J. Guzmán y M. Alvarado

Laboratorio de Acústica, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado postal 70-542, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F., Mexico

e-mail: Justino@graef.ciencias.unam.mx

Recibido el 9 de abril de 1997; aceptado el 4 de diciembre de 1997

El diseño de un sistema de barrido en frecuencia, en el intervalo de audio, permite a los estudiantes de cualquier disciplina en que se necesite emplear circuitos eléctricos, electrónicos o acústicos, visualizar, en la pantalla de un osciloscopio, rápida y fácilmente el comportamiento a frecuencia de dichos circuitos.

Descriptores: Generador de barrido en audiofrecuencia; análisis de circuitos

A signal generator with frequency sweep, in audio range, allow to any student working with acoustic, electric and electronic circuits an easy view, on a oscilloscope screen, of the frequency performance of his circuits.

Keywords: An audiofrequency sweep generator; circuits analysis

PACS: 06.30.Ft; 84.30.Ng

1. Introducción

Un concepto que, en general, no es fácil de comprender en el análisis de circuitos, es el paso del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Normalmente, este análisis se realiza pidiéndole al estudiante que efectúe mediciones de amplitud para una amplia gama de frecuencias, una por una, y después grafique sus resultados, esto además de ser un trabajo bastante monótono y laborioso, hace que la comprensión del comportamiento a frecuencia y fase del circuito se pierda. En el laboratorio de acústica de la facultad se diseñó un sistema que realiza un barrido en frecuencia, en el intervalo de audio (20 Hz. a 20 KHz.), que permite ver, directamente en la pantalla de un osciloscopio, el comportamiento en frecuencia de dichos circuitos.

2. Diseño del sistema

El sistema consiste, esencialmente, de tres grandes bloques que son: un generador de barrido, un generador de funciones y una etapa de salida como se muestra en la Fig. 1.

En el diseño del generador de barrido, se empleó un transistor de monojuntura tipo 2N2646 [1] y una fuente de corriente constante, para poder generar una rampa lineal de cerca de 8 segundos. Esta rampa cumple con varias funciones, la primera de ellas es la de servir como señal de barrido y sincronización para el eje horizontal o X del osciloscopio; mediante transistores y otros elementos se modifican los niveles de voltaje, tanto en su valor máximo como en su nivel de referencia, para colocarlos en los niveles necesarios para poder realizar su segunda función que es la de controlar a la siguiente etapa que es el generador de funciones.

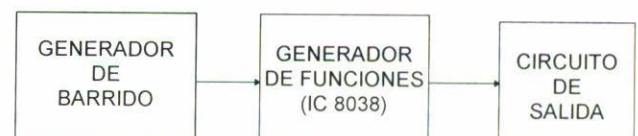
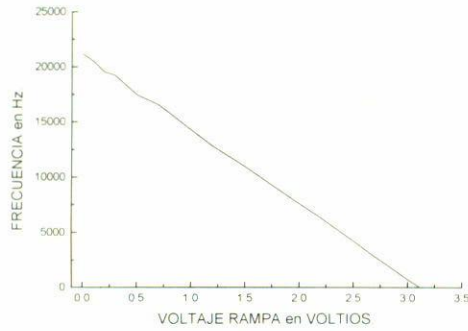


FIGURA 1. Diagrama esquemático del funcionamiento del sistema.

El generador de funciones lo forma un circuito integrado (IC 8038) [2] el cual proporciona salidas para formas de onda triangular, cuadrada y senoidal, las cuales pueden variar su frecuencia entre límites preestablecidos, dependiendo del voltaje aplicado en una de sus terminales. Al acoplar la salida del generador de barrido a esta terminal se permite que la forma de onda deseada cambie su frecuencia de forma continua, iniciando el barrido con la baja frecuencia y finalizando con la alta, dentro del intervalo establecido (audio). Las evaluaciones del comportamiento del generador se muestran en la Fig. 2.

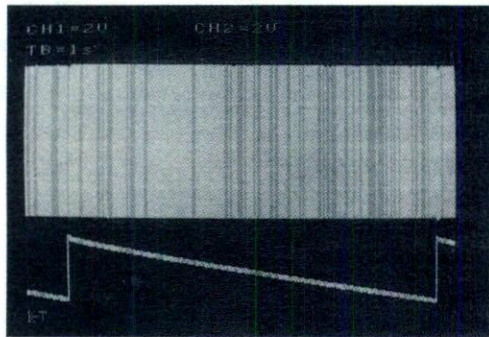
Finalmente, dado que la amplitud, en voltaje, de salida de las señales que proporciona el integrado es constante y de alta impedancia, se necesitó diseñar una etapa de salida empleando amplificadores operacionales, tipo 741 [3], que permitiera variar la amplitud de la señal y reducir la impedancia de salida del sistema. Esta salida es la que se puede aplicar directamente a una de las entradas Y del osciloscopio, si se cuenta con un osciloscopio de dos canales, y al circuito que se desea analizar. La ventaja que representa el emplear un osciloscopio con dos canales de barrido vertical o Y es el poder ver, simultáneamente, en un canal la señal que sale del sistema y en el otro canal tener la señal que sale del circuito que se está analizando y de esta forma poder comparar visualmente la señal que entra al circuito y las modificaciones que el circuito hace en dicha señal.



(a)



(b)



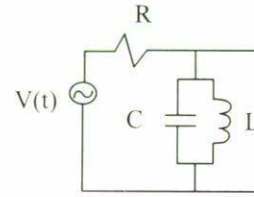
(c)

FIGURA 2. Gráficas de la variación de (a) la frecuencia con el voltaje de la rampa, y (b) de la frecuencia contra el tiempo de barrido, así como (c) una fotografía que muestra la rampa y la señal de salida generadas. Se puede apreciar que la generación de frecuencias es bastante lineal tanto en voltaje como en tiempo.

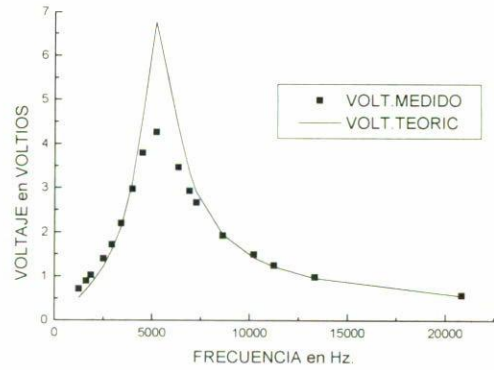
Una explicación más detallada del funcionamiento y diseño del sistema se presentó y publicó, en extenso, en las memorias del congreso realizado por la Sociedad Mexicana de Instrumentación en 1996 [4].

El sistema permite una visualización rápida y completa del comportamiento a frecuencia de casi cualquier circuito eléctrico o electrónico que funcione en el intervalo de audio como podrían ser: amplificadores de audio, bocinas, filtros, ecualizadores, etc. Como un ejemplo de la utilidad del sistema se comparará la presentación teórica y práctica de filtros pasa bajos, pasa altos y resonantes [5–8], como se realiza en el salón de clase, con la obtenida con el generador de barrido.

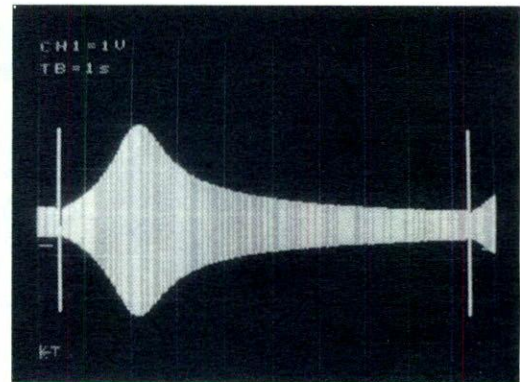
El primer ejemplo es el de un filtro resonante en paralelo cuyo diagrama esquemático se muestra en la Fig. 3a y el vol-



(a)



(b)



(c)

FIGURA 3. (a) Diagrama esquemático de un filtro resonante con R en serie y L y C en paralelo. (b) Curvas de respuesta teórica y experimental y (c) fotografía osciloscópica de la respuesta a frecuencia del filtro.

taje de salida está dado por

$$V_o(t) = \frac{V(t)}{\left[R^2 \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

En este ejemplo los valores de los componentes fueron de $R = 1000 \Omega$, $L = 9 \text{ mH}$ y $C = 100 \text{ nF}$; después de armado el circuito se procedió a tomar valores punto a punto, al igual que el alumno en el salón de clase, del comportamiento a frecuencia del sistema. En las Figs. 3b y 3c, se muestran la gráfica de los datos medidos y su comparación con la curva teórica obtenida mediante la aplicación de la Ec. (1) para los mismos valores, así como la fotografía obtenida de la pantalla del osciloscopio empleando el generador de barrido.

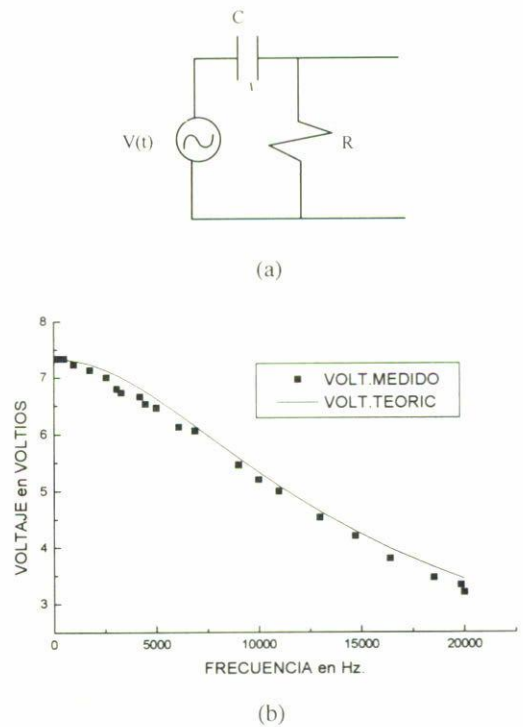
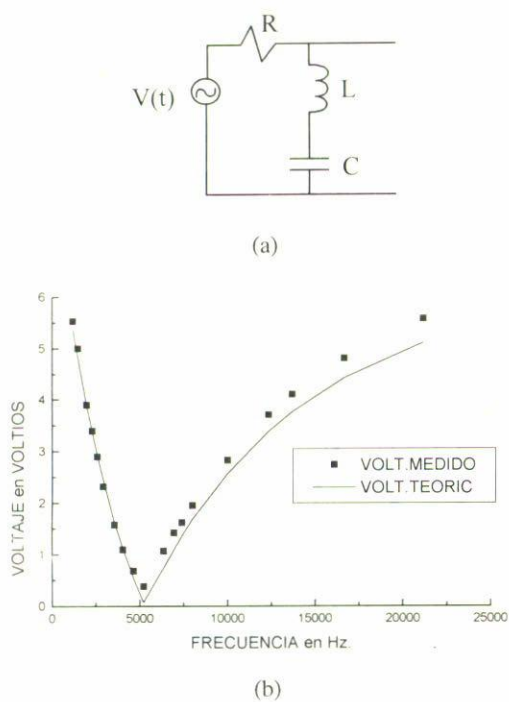


FIGURA 4. (a) Diagrama esquemático de un circuito resonante con R , L y C en serie. (b) Gráfica de resultados teóricos y experimentales del filtro resonante en serie, y (c) fotografía osciloscópica del mismo filtro empleando el sistema aquí presentado.

FIGURA 5. Diagrama de un filtro pasa bajos y los resultados obtenidos.

La diferencia entre los valores teóricos y los experimentales es más notoria en la resonancia y es debida a que en la teoría se consideran elementos ideales, por ejemplo una inductancia es puramente inductiva y no tiene efectos resistivos ni capacitivos cosa que en la realidad no sucede, etc., y además no se toma en cuenta la pérdida por inserción. En el caso del uso del generador de barrido se debe hacer hincapié en que su uso es solo cualitativo no cuantitativo; sin embargo, se puede observar que el ajuste de los datos es bastante satisfactorio y, a nivel docente, se tienen varias ventajas, pues los alumnos pueden observar inmediatamente el efecto que produce en la frecuencia de resonancia, el cambiar algunos de los componentes ó en la Q (factor de calidad) del circuito sin tener que repetir todo el proceso, de medir punto a punto, cada vez que se hace algún cambio lo que les permite “jugar”

con los circuitos y entender de una forma más fácil y cómoda el funcionamiento de los mismos.

De igual forma se emplearon las mismas componentes pero ahora en serie, el circuito y los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 4 y el voltaje de salida es

$$V_o(t) = \frac{V(t)}{\left[\left(\frac{R}{\omega L - \frac{1}{\omega C}} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

Empleando el mismo método, también se trabajaron: un filtro pasa bajos con valores de $R = 1000 \Omega$ y $C = 15 \text{ nF}$, cuyo circuito y resultados obtenidos se muestran en la Fig. 5

y el voltaje de salida está dado por

$$V_o(t) = \frac{V(t)}{\left[\left(\frac{1}{\omega CR} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

Y finalmente un filtro pasa altos con $R = 1000 \Omega$, y $C = 33 \text{ nF}$ (Fig. 6) con voltaje de salida dado por

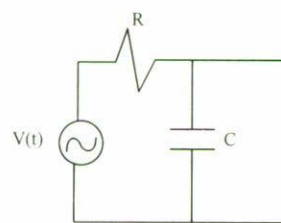
$$V_o(t) = \frac{V(t)}{\left[(\omega CR)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

3. Conclusiones

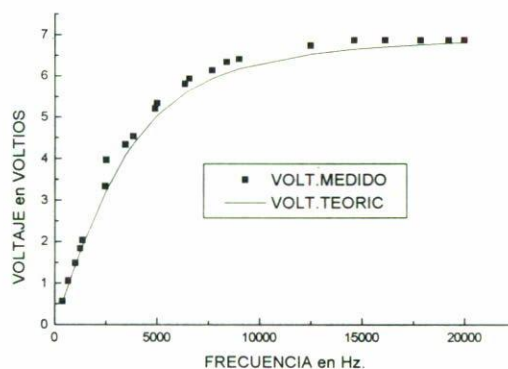
Una muy buena experiencia se tuvo al emplear el sistema en los cursos de electrónica I, impartidos en la facultad de ciencias los semestres II de 1996, I y II de 97, en donde los estudiantes lo aplicaron para analizar el comportamiento de filtros pasa bajos, pasa altos y resonantes, en ambos cursos los estudiantes manifestaron que les había quedado más claro el funcionamiento a frecuencia de los circuitos que estaban trabajando, además del ahorro de tiempo lo que les permitió "jugar" haciendo cambios en los valores de las componentes y observando el efecto que tenía dicho cambio en la respuesta del circuito.

Aunque el sistema cumple ampliamente con lo que se esperaba de él, solo es posible tener una visión cualitativa del comportamiento a frecuencia de los sistemas analizados, es decir que no se pueden medir exactamente las frecuencias de corte, de resonancia y/o anchos de banda [5, 8], esto todavía debe de hacerse a mano; sin embargo, el trabajo por realizar es bastante menor si ya se tiene una idea de por donde andan las frecuencias a medir. Se está pensando en diseñar un sistema que, además de dar la visión completa, permita realizar dichas mediciones.

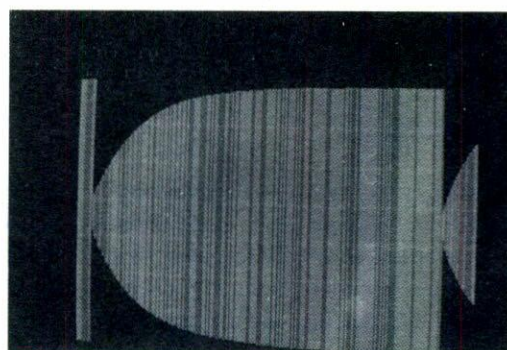
En el mercado existen varias marcas (Wavetek, Hewlett Packard, etc.) de generadores de barrido como el que aquí se presenta, de mayor precisión pero también de mayor costo (5 mil a 35 mil dólares), por lo que se recomienda la repro-



(a)



(b)



(c)

FIGURA 6. Diagrama y resultados obtenidos con un filtro pasa altos.

ducción de este generador dado su bajo costo (alrededor de 1500 pesos por unidad), su fácil armado y, al hecho de que cumple satisfactoriamente con los requerimientos necesarios para el nivel al cual se plantea su uso.

1. *Semiconductor Data Library*, vol.1, series A, Motorola Semiconductor Products Inc.(1974) 2-323.
2. Short Form Catalog, EXAR (1996) 115.
3. *Analog/Interface ICs. Device data*, vol.1, Motorola Inc. (1996) 2-99.
4. J. Guzmán y M. Alvarado, "Sistema Analizador de Circuitos por Barrido en Frecuencia de Señales de Estímulo," Memorias SOMI XI Sociedad Mexicana de Instrumentación (1996), p. 573.
5. Skilling Hugh Hildreth, *Electrical Engineering Circuits*, sixth printing (John Wiley & Sons, Inc., 1961).
6. L.W. Anderson and W.W. Beeman, *Electric Circuits and Modern Electronics*, (Holt, Rinehart & Winston Inc., 1973).
7. Hubert Charles I, *Circuitos Eléctricos CA/CC Enfoque Integrado*, (Mc Graw Hill Latinoamericana, 1985).
8. U. Tietze and Ch. Schenk, *Electronic Circuits, Design and applications*, (Springer Verlag, 1991).