Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes

En la vida cotidiana es difícil tener una señal eléctrica pura o aislada, por lo regular las señales se entremezclan o distorsionan, por ello es necesario contar con algún tipo de dispositivo que nos permita separar las señales unas de otras o simplemente eliminar el ruido presente en ellas. Los filtros eléctricos son aquellos dispositivos de los cuales nos servimos para dichos fines. Estos sistemas se entienden como redes de dos puertos, uno de entrada y uno de salida, que se diseñan en el dominio de la frecuencia. Su funcionamiento se centra en la discriminación de señales con relación a su contenido espectral, es decir, son sistemas que están diseñados para transmitir o bloquear señales eléctricas dentro de un cierto rango o intervalo de frecuencias, destacando que trabajarán sobre señales de entrada produciendo una señal de salida, cuyo contenido espectral será función no sólo de la señal de entrada sino también del tipo de filtro.[3] Así, al rango de frecuencias dentro del cual las señales pasan inalteradas se conoce como *banda de paso,* y al intervalo de frecuencias donde las señales son bloqueadas se le llama *banda de rechazo.* Existen dos tipos de filtros analógicos, los pasivos y los activos.

Las aplicaciones de los filtros electrónicos son numerosas y muy variadas, como pueden ser: sistemas de telecomunicaciones, instrumentos de medición, sistemas de audio y video, transmisión de datos, sistemas de control electrónico, osciloscopios, analizadores espectrales, procesamiento de señales, fuentes de poder, transformadores, etc. Un ejemplo práctico es el sintonizador de estación de una radio o el selector de canal de un televisor, los cuales operan dejando pasar sólo la frecuencia de la señal deseada y rechazando las demás estaciones, de modo tal que si no se aplicara el filtrado, lo que se obtendría a la salida seria una combinación de todas las estaciones o canales [3], lo cual bien podría ser interpretado como estática o ausencia total de una señal útil.

Los filtros electrónicos fueron introducidos simultáneamente en 1915 en los Estados Unidos de América por Campbell y en Alemania por Wagner. [1] Los filtros eran realizados con resistencias, capacitores e inductores, de esta manera los cálculos se volvían muy laboriosos. En contrapartida la ventaja de los filtros que utilizaban este tipo de componentes, era que tenían una muy baja sensitividad; esto quiere decir que cuando el valor real de cada elemento es diferente al valor ideal, lo cual sucede muy frecuentemente, el cambio entre la respuesta esperada del filtro y su respuesta real es muy similar, es decir lo aproxima mucho a la respuesta esperada para el filtro.

En 1955 los investigadores R. P. Sallen y E. L. Key descubrieron una forma más sencilla de diseñar los filtros usando resistencias, capacitores y amplificadores operacionales. Al sustituir el elemento inductivo por el amplificador operacional los cálculos matemáticos para implementar dichos filtros se tornaron mucho más sencillos, aunque una desventaja que presentan es que el valor de la sensitividad es mucho mayor. Estos filtros son conocidos como Sallen-Key, en honor a sus inventores. [2]

La ciencia y la tecnología mientras más han ido avanzando han sido capaces de mejorar los filtros con inventos como los transistores, el diseño de filtros con más etapas o con el invento del amplificador operacional que funciona en modo de corriente (OTA). Ahora los cálculos ya son mucho más sencillos y accesibles, ya que ahora los circuitos son diseñados con la ayuda de software [1] como Matlab, Maple, ORCAD y HSpice entre otros.

Se pueden identificar cuatro tipos de filtros, clasificados de acuerdo a las frecuencias que discriminan, es decir ya sea dejando pasar o rechazando ciertas frecuencias, los tipos de filtros son: pasa-bajas, pasa-altas, pasa-banda y rechaza-banda.

El diseño de filtros se basa en modelos ideales los cuales como su nombre lo dice son casos perfectos, esto es no pueden ser realizados en la vida real; lo que sí se puede hacer, es en base a ciertos criterios o niveles de tolerancia, obtener un diseño aproximado al ideal. Durante muchos años muchos matemáticos e ingenieros han desarrollado modelos o aproximaciones, un ejemplo de éstas son las aproximaciones Butterworth, Chebyshev, Chebyshev Inverso y Elíptica.

La aproximación Buterworth es una de las más usadas y presenta la característica de magnitud máximamente plana (MFM), término que fue utilizado por primera vez por V.D. Landen en 1941 [1]. El criterio de MFM se refiere a que el filtro tenga una respuesta constante en la banda de paso, esto se ilustra en la Fig. 1.1a, mientras en la Fig. 1.1b se muestra la respuesta en magnitud de un filtro Chebyshev, el cual tiene rizos en la banda de paso, y por último en la Fig. 1.1c la respuesta de un filtro obtenido experimentalmente.

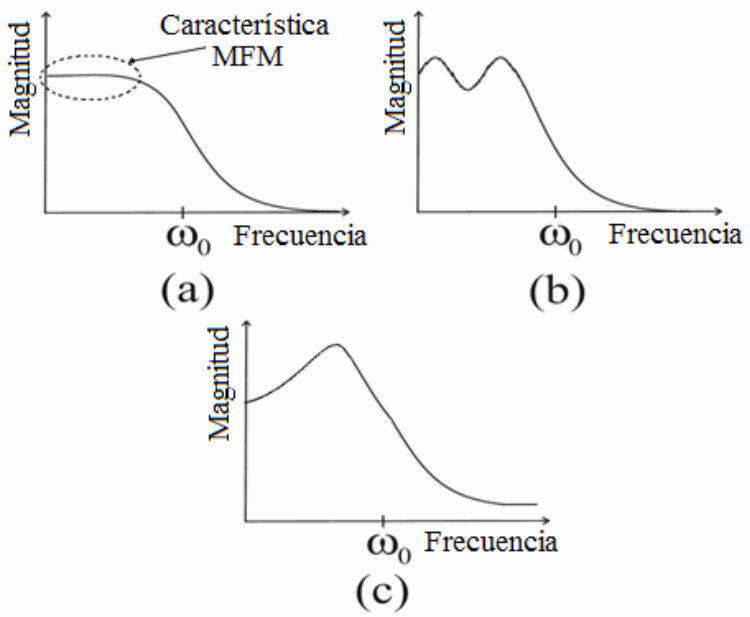

Fig. 1.1 Respuesta en frecuencia de un filtro pasa-bajas. a)Aproximación Butterworth, b)Aproximación Chebyshev, c)Diseño experimental.

1.2 Planteamiento del problema

Al momento de transmitir una señal electrónica a través de algún medio como el aire o cable metálico, ésta se puede debilitar o perder energía, a demás de que está expuesta a ser contaminada por ruido electromagnético, el cual puede ser generado por otras señales creadas por el hombre o la naturaleza. Es decir, en un receptor es muy probable que la señal llegue muy débil y si se amplifica demasiado antes de ser filtrada, también el ruido puede ser amplificado generando problemas de interpretación de datos o pérdida completa de la información. Actualmente los filtros usados en equipos de recepción pueden ser vistos como cajas negras en forma de redes de dos puertos como se muestra en la Fig. 1.2, en esta forma la señal V_{in} pasa a través del bloque y sale filtrada al otro extremo como V_{out}. Una desventaja de este modelo es que la señal de entrada, si de por si es débil, puede ser atenuada o consumida aún más cuando viaja a través del bloque. Cabe mencionar que el filtro se conecta al receptor en serie con la señal de entrada.

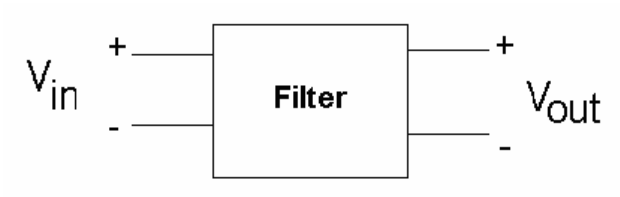

Fig. 1.2 Representación de bloque de un filtro convencional para ser conectado en serie con el receptor.

La respuesta en magnitud de un filtro puede ser caracterizada por la Ec. 1.1 en donde *H* es la ganancia y a_i y b_i sus coeficientes, dependiendo de los valores de estos coeficientes, se tendrá un filtro pasa-bajas, pasa-altas, pasa-banda o rechaza-banda, además de que alterarán la forma de la respuesta en la banda de paso, de rechazo y de transición. Si se logra obtener una función cuya característica en magnitud sea máximamente plana, aseguraremos una mejor recuperación de la señal de entrada. [19]

$$\left|N(j\omega)\right|^2 = H^2 \frac{1 + b_1\omega^2 + b_2\omega^4 + b_3\omega^6 + ...}{1 + a_1\omega^2 + a_2\omega^4 + a_3\omega^6 + ...} \tag{1.1}$$

Actualmente existen varias topologías para construir filtros, pero algunas de éstas tienen desventajas dependiendo de las necesidades del usuario, estas desventajas pueden ser el número de componentes del circuito, tamaño y valores de los mismos, características de magnitud, entre otras.

1.3 Objetivos de la tesis

Una vez planteado el problema de las topologías usadas comúnmente para filtrado de señales, así como los posibles problemas que pueden tener ciertas aproximaciones para modelar la respuesta de los mismos. Se plantea una alternativa de diseño y se proponen diferentes topologías para el mismo.

A continuación se muestran los puntos que se esperan cubrir con este trabajo:

1. Se propone un método de diseño para filtros pasa-bajas y pasa-banda con característica de magnitud máximamente plana, basada en una aproximación Butterworth.

2. Se considera más importante el análisis matemático, debido a ésta postura, la experimentación sólo se hará con ayuda de simuladores, es decir no se implementaran físicamente.

3. El diseño estará basado en un modelo de filtro tipo escalera y su funcionamiento se regirá por la definición de impedancia.

4. Se describirán los rangos de frecuencias de operación de los filtros resultantes.

5. Se espera dar dos opciones de construcción del dispositivo, esto será con componentes pasivos, así como con componentes activos para su implementación en circuitos integrados.

6. Se busca que el filtro sea conectado en paralelo como se muestra en la Fig. 1.3 y no en serie como comúnmente se acostumbra, esto es con el fin de disminuir la atenuación de la señal de entrada.

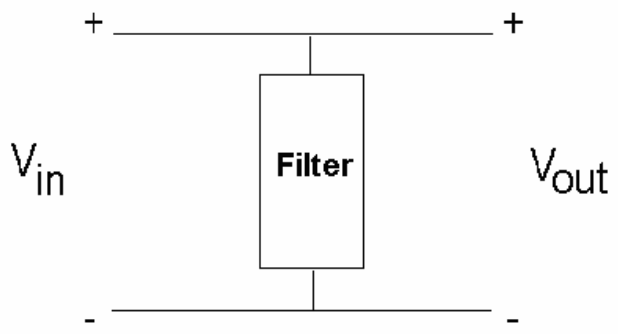

Fig. 1.3 Representación de bloque del filtro propuesto para ser conectado en paralelo con el receptor.

1.4 Organización de la tesis

En el Capítulo 1 se presenta una introducción sobre el tema central de esta investigación. Así como una breve descripción de la organización del trabajo conjunto.

En el Capítulo 2 se da una breve introducción al tema de filtros, mencionando su clasificación y funcionamiento.

En el Capítulo 3 se explicarán conceptos básicos de amplificadores operacionales de transconductancia (OTAs), así como su uso en circuitos equivalentes para componentes pasivos.

En el Capítulo 4 se abordan los pasos seguidos para ir desarrollando la investigación y se muestran las topologías y método de diseño propuestos.

En el Capítulo 5 se analizarán los resultados obtenidos, dando un pequeño resumen que ilustrará el método de diseño propuesto para obtener un filtro acorde a las necesidades del diseñador.

El apéndice A contiene las instrucciones usadas en Maple para obtener las ecuaciones de diseño.

En apéndice B se presentan rutinas de Matlab para ser usadas en el método de diseño, así como algunos modelos en ORCAD usados para hacer pruebas.

El apéndice C contiene información sobre un OTA real (construido con tecnología CMOS).

El apéndice D muestra el código usado para simulación en HSpice así como el modelo de la tecnología CMOS empleado para esta investigación.