



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES "ARAGON"**

**" METODOLOGIA DE DISEÑO DE UN
FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE "**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A

NARCISO ACEVEDO HERNANDEZ

MEXICO, D. F. MAYO DE 1989

FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

P R O L O G O

El manejo adecuado de las señales de comunicación ya sean estas analógicas (continuas en el tiempo) ó digitales (discretas en el tiempo), es un factor que debe tomarse muy en cuenta en un sistema de comunicación tanto en su etapa transmisora como receptora, ya que de este trato que se les de va a depender la calidad de la información que deseamos transmitir en nuestro punto transmisor y recibir en nuestro extremo receptor.

El propósito del presente trabajo es el de mostrar la técnica del diseño de un filtro digital, en el cuál se puede en un momento dado fijar la frecuencia de corte a la que se pretende que opere nuestro dispositivo. La manera por medio de la cuál se logra lo anterior es programando los valores de la frecuencia a partir de los cuales nuestro filtro va a permitir o a atenuar el paso de la información contenida en ese intervalo de frecuencias o ancho de banda.

El texto comienza con una pequeña introducción al tema a desarrollar. En el capítulo primero se presentan las generalidades referentes al tema, se dan las definiciones de los términos con los que más frecuentemente nos vamos a encontrar en capítulos subsiguientes, por lo que es necesario establecer de una manera clara.

En el capítulo dos se estudia el papel tan importante que los filtros juegan en la ingeniería eléctrica, y en particular en áreas como la electrónica, control y las comunicaciones. Se analiza en forma general la función que tienen los filtros al ser empleados en el procesamiento de señales.

El capítulo tres nos habla de los tipos de filtros existentes y su clasificación de acuerdo a la manera de

comportarse ante una cierta señal que se le aplica. Se definen los filtros pasa bajas, pasa altas, pasa banda y supresor de banda, sin importar si se trata de filtros pasivos o activos o si son analógicos o digitales. Se listan además algunas de las muchas aplicaciones que estos dispositivos tienen en todas las áreas de la ciencia y de la ingeniería.

El capítulo cuatro trata de el estudio de los filtros digitales, sistemas que pueden ser implementados por medio de software (programas de computadora) o hardware. Se analizan los filtros digitales por codificación y los filtros digitales de ventana, describiendo brevemente a cada uno de ellos.

En el capítulo cinco se hace un previo análisis del sistema prototipo a desarrollar, describiendo algunas consideraciones que no debemos pasar por alto ya que nos van a ser de gran ayuda para llevar a cabo nuestro diseño final.

La parte central sobre la cuál gira nuestro estudio, y que es el diseño del filtro se encuentra en el capítulo seis. En él se da una explicación general del funcionamiento del filtro y se hace una descripción lo más detallado posible, tanto del diseño como del funcionamiento de todas y cada una de las etapas o módulos de los que consta y que van a conformar nuestro diseño final.

En el capítulo siete se describen la forma en la que se debe llevar a cabo el ensamble de componentes y una serie de pruebas experimentales, a las que se somete el filtro después de haber concluido el diseño como pueden ser su calibración y puesta a punto, y comprobar así su adecuado funcionamiento a la hora de inyectarle una señal.

Finalmente en el capítulo ocho se presenta la parte más importante después del diseño del filtro, que es la evaluación de los resultados obtenidos en el capítulo previo y algunos de los

problemas con los que nos podemos encontrar, si no consideramos adecuadamente aspectos tales como el acoplo de impedancias entre una etapa y otra, como puede ser la distorsión de nuestra señal analizada.

C O N T E N I D O

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I. CONCEPTOS GENERALES	5
1.1 Generalidades	5
1.2 Definiciones teóricas	6
CAPITULO II. IMPORTANCIA DE LOS FILTROS EN LA INGENIERIA ELECTRICA (ELECTRONICA, COMUNICACIONES, CONTROL)	9
2.1 Procesamiento digital de señales	9
CAPITULO III. CLASIFICACION DE FILTROS Y SUS APLICACIONES	16
3.1 Filtros pasivos	23
3.2 Filtros activos	24
3.3 Aplicaciones	24
3.3.1 Análisis de señales	24
CAPITULO IV. FILTROS DIGITALES	29
4.1 Filtro por codificación	37
4.2 Filtro de ventana	38
CAPITULO V. ANALISIS DEL SISTEMA PROPUESTO	41
5.1 Consideraciones de diseño	41

CAPITULO VI.	DISENO DEL FILTRO	46
6.1	Introducción	46
6.2	Explicación general de funcionamiento	46
6.3	El programador	49
6.4	Panel de controles	55
6.5	El frecuencímetro	61
6.6	Los comparadores	67
6.7	El controlador	70
6.8	Acoplador de entrada	75
6.9	Fuente de alimentación	79
6.10	Acoplador de salida	83
6.11	Diseño de impresos	86
CAPITULO VII.	PRUEBAS EXPERIMENTALES	102
7.1	Metodología de pruebas	102
7.2	Ensamble de componentes	102
7.3	Aplicación de una señal al filtro	104
CAPITULO VIII.	RESULTADOS	107
8.1	Rechazo y pendiente del filtro	107
8.2	Determinación de la pendiente por el método analítico	108
8.3	Evaluación de resultados	112
8.4	Distorsión y otros problemas	112
CONCLUSIONES		114
BIBLIOGRAFIA		116

I N T R O D U C C I O N

La necesidad de filtrar una señal dada aparece en prácticamente cualquier campo de aplicación de la ingeniería eléctrica (electrónica, comunicaciones, control) y puede obedecer, entre otras cosas, a una o a varias de las siguientes razones:

- 1.-Limitar el ancho de banda de la señal en estudio para mejorar la relación señal a ruido.
- 2.-Eliminar información irrelevante para un propósito dado.
- 3.-Detectar eventos recurrentes en una señal.
- 4.-Estudiar una parte de la información en función a un ancho de banda previamente establecido.

Un filtro es una sección o un sistema fundamental para el procesamiento de señales tanto por técnicas digitales, como por técnicas analógicas. La función de un filtro es transformar una señal llamada entrada en otra señal llamada salida de acuerdo con algunas especificaciones deseadas. Debido al creciente avance que se ha tenido en el campo de la microelectrónica, particularmente al desarrollo acelerado en microprocesadores y microcomputadoras, las técnicas digitales se emplean cada vez más en el procesamiento de señales. Por consiguiente, el uso de filtros digitales es cada vez más amplio y diverso. Además, los filtros digitales poseen varias ventajas las cuales no se alcanzan con los filtros analógicos, tales como la simplicidad del diseño, la precisión, la flexibilidad y la confiabilidad.

A lo largo del tiempo, los filtros de frecuencia han sido perfeccionados poco a poco; sin embargo, estos no han logrado la calidad y eficiencia que otras etapas donde interviene la

frecuencia o señales alternas.

Recientemente, con la aparición de los amplificadores operacionales, fue posible una nueva concepción de filtros, los llamados filtros activos; Cuyas características de respuesta superaban en la mayoría de los casos a sus antecesores, los filtros pasivos.

Hoy en día, los avances en las técnicas de integración, y en general la tecnología desarrollada en el campo de la electrónica nos permite intentar el diseño y la comercialización de una nueva familia de filtros...Los filtros DIGITALES.

Con lo anterior lo que se pretende, es no solo mejorar las características del filtro, sino también disminuir los costos de producción, facilitar la fabricación de los mismos y disminuir sus dimensiones para así lograr incorporarlos a los equipos modernos donde su peso, tamaño y bajo consumo los hacen más eficientes y día con día sus aplicaciones se vuelven más numerosas.

Cuando escuchamos la palabra "DIGITAL" suelen llegar a nuestra mente, complejos sistemas de computación o tal vez un solo circuito integrado. En realidad el filtro desarrollado a lo largo de esta tesis tiene mucho que ver con ambas cosas. Su estructura y funcionamiento es similar al de un computador y su construcción puede realizarse sin problemas en un solo integrado con la tecnología actual.

Resulta evidente, que el diseño y la fabricación de un nuevo integrado, requiere de cálculos y estudios en ocasiones muy sofisticados, sin embargo, en base a investigaciones realizadas y con la ayuda del creciente avance tecnológico en la microelectrónica, se ha podido estudiar la factibilidad de integración del filtro digital programable.

Los elementos que configuran la mayoría de los filtros concebidos hasta la fecha, básicamente son capacitores y bobinas; elementos cuyas características físicas impiden su reducción de tamaño; además, su costo en ocasiones es excesivo, siendo hoy en día más económico un circuito integrado que aloja en su interior decenas de transistores, resistencias y semiconductores, que un simple capacitor electrolítico de fabricación nacional y careciente de tecnología propia para la integración. Es por esto que resulta de gran utilidad para el desarrollo de nuevos sistemas electrónicos, un filtro con capacidad de integración de todas sus partes, así como también, una gran flexibilidad en sus aplicaciones. Ello es posible únicamente, utilizando las grandes ventajas que presentan los semiconductores aplicados en sistemas digitales.

En el desarrollo de este trabajo, se presenta un tipo de filtro digital cuya sencillez y amplio rango de programación le permite ser un prototipo con gran proyección para su comercialización, cubriendo aplicaciones diversas en las comunicaciones, codificación de señales, convertidores A/D, codificadores de tonos en controles, alarmas de disparo por frecuencia, filtrado de señales, etc. Todas las anteriores y muchas otras aplicaciones son descritas a lo largo del último capítulo, así como los resultados experimentales obtenidos.

CAPITULO I

CONCEPTOS GENERALES

I. CONCEPTOS GENERALES

En el presente capítulo se tratan algunos de los términos teóricos utilizados en el desarrollo de este trabajo, tanto en el diseño del filtro como en la explicación de su funcionamiento. Además se asume que el lector, posee conocimientos básicos de electrónica y experiencia en el manejo de circuitos digitales que constituyen la base de estos diseños.

1.1 Generalidades.

En general, existen dos clases de señales que pueden ser identificadas, a saber: Señales continuas en el tiempo ó señales analógicas y señales discretas en el tiempo ó señales digitales.

El filtrado de una señal es un proceso por el cual el espectro de frecuencia de la señal puede ser modificado, darle nueva forma, ó manipulado de acuerdo a alguna especificación deseada. Esto se puede lograr amplificando o atenuando un rango de componentes de frecuencia, rechazando o aislando una componente específica de frecuencia, etc. Los usos del filtrado son múltiples, es decir; para eliminar señales contaminantes tales como ruido, para separar dos o más señales distintas las cuales fueron mezcladas a la hora de transmitirlas y así maximizar la utilización del canal de transmisión, para reducir señales en sus componentes en frecuencia, para demodular señales, para convertir señales discretas en el tiempo en señales continuas en el tiempo y para limitar la banda de las señales.

La teoría de filtros debe su origen a Wagner y Campbell, quienes en el año de 1915 dieron a conocer el concepto de filtros pasivos de onda eléctrica. A partir de entonces, la teoría y práctica del diseño de filtros ha tenido avances considerablemente.

1.2 Definiciones teóricas.

Un filtro es más o menos definido como una red requerida para tener una respuesta preestablecida para una excitación dada. La respuesta requerida puede ser dada ya sea en términos de tiempo o frecuencia.

Entendamos por filtro digital, un dispositivo electrónico compuesto por elementos digitales (lógica binaria) cuya respuesta al paso de la señal puede ser una respuesta lógica de un uno o un cero para indicar el paso o no paso de la señal respectivamente.

Un filtro digital acepta una secuencia de números como sus entradas y opera sobre ellos para producir otra secuencia de números como su salida.

Señales discretas en el tiempo o señales digitales, son aquellas señales que solo pueden tener dos valores o niveles; estos valores son: uno para indicar la presencia de la señal, y cero para indicar la ausencia de dicha señal.

Las señales analógicas pueden tener cualquier voltaje dentro de un rango determinado, es decir; su variación puede ser continua y existe un número infinito de voltajes en un intervalo de tiempo por pequeño que este sea.

La parte digital del filtro analizado en este trabajo, estará constituida por elementos de respuesta discreta conocidos como compuertas lógicas, ya sea como compuertas básicas o elementos compuestos de ellas (flip-flops, contadores, comparadores, etc.).

En cuanto a la parte analógica del filtro, es aquella que sirve como interface entre una señal continua y una señal discreta, y actúa sobre ellas.

Capacidad de programación es aquella que nos permite variar los rangos o límites de respuesta del sistema, sin modificar la acción básica de control sobre la señal. La programación digital implica la variación de los límites en forma discreta, es decir en valores exactos o intervalos iguales seleccionados.

Rango de respuesta son los límites máximo y mínimo dentro de los cuales opera el sistema y es capaz de ser programado. En los sistemas analógicos el rango de respuesta es establecido mediante un estándar que determina si existe atenuación o ganancia de la señal en 3 dbs. a 1Khz. por ejemplo. En el caso del sistema digital, definiremos su rango como aquel en el cual puede el sistema conmutar la señal respondiendo a un parámetro de comparación (denominado programa o referencia) en un determinado intervalo de tiempo (llamado reloj o base de tiempo).

La simbología utilizada en los diagramas es la simbología tradicional, y los bloques o cajas negras serán detallados en los apéndices. Las compuertas lógicas que forman estos bloques no serán desglosadas en los circuitos básicos que las componen, pues estos dependen de la tecnología utilizada en su integración.

C A P I T U L O I I

IMPORTANCIA DE LOS FILTROS EN LA INGENIERIA ELECTRICA (ELECTRONICA, COMUNICACIONES, CONTROL)

II. IMPORTANCIA DE LOS FILTROS EN LA INGENIERIA ELECTRICA (ELECTRONICA, COMUNICACIONES, CONTROL)

2.1 Procesamiento digital de señales.

En el diseño de sistemas de comunicaciones, control y telemetría, necesitamos frecuentemente incluir filtros para modificar las diferentes señales internas en alguna forma. En comunicaciones, por ejemplo, hacemos uso extenso de filtros paso bajas, paso altas, paso banda, supresor de banda y otros modelos espectrales. En sistemas de control frecuentemente se requieren filtros de compensación para lograr una respuesta deseada de un sistema.

La necesidad de filtrar una señal dada aparece en prácticamente, cualquier campo de aplicación de la ingeniería eléctrica y puede obedecer, entre otras cosas, a una o a varias de las siguientes razones:

- 1.-Limitar el ancho de banda de la señal para mejorar la relación señal a ruido.
- 2.-Eliminar información irrelevante para un propósito dado.
- 3.-Detectar eventos recurrentes en una señal.
- 4.-Estudiar una parte de la información en función a un ancho de banda previamente establecido.

No podríamos asegurar cual es la parte más importante de un circuito electrónico, pues sin cualquiera de ellas por secundaria que pareciera dejaría de ser lo que es; y de funcionar como funciona. Estamos concientes de que ciertas partes del circuito pueden ser críticas para su operación, como para el ser humano lo

es el cerebro. Así pues, cualquier equipo no funcionaría sin una fuente de alimentación, pero no sería indispensable un foco que nos indique el encendido de dicho aparato. Existen en la actualidad gran cantidad de equipos donde los filtros desempeñan papeles muy importantes.

En general, cualquier equipo de audio o video, sintonizador, receptor o emisor; tiene algún tipo de filtro. Estos aparatos funcionan dentro de un rango de frecuencias determinadas en su mayor parte por los filtros, salvo en ocasiones donde dependen de otros factores como la velocidad de respuesta de sus componentes, o tal vez del operador.

La aplicación más común de los filtros en general (llamense pasivos, activos, analógicos o digitales), es la de discriminadores o supresores de frecuencia.

Un filtro pasivo tiene algunas desventajas además de su no muy calidad en comparación con los filtros activos. Este tipo de buena calidad en comparación con los filtros activos. Este tipo de filtros están concebidos para una frecuencia de corte única, y en aquellos casos en los que ésta puede variar como en sintonizadores, dicha variación se encuentra muy limitada. El hecho de utilizar un filtro de una mejor calidad y además con la capacidad de variar o ajustar su frecuencia de corte con gran precisión, implica entre otras muchas ventajas, el aprovechamiento del ancho de banda del canal de comunicación considerado; de tal forma que se podrían transmitir en ese mismo canal varios canales extras.

Analicémoslo de otra forma. Si se tubiera una unidad retransmisora cuya respuesta estuviera entre los 100 MHz y los 150 MHz y se enviaran paquetes de información de un ancho de banda de 10 MHz, esto implicaría:

$$\frac{\text{Ancho de banda retransmitido} \quad 150 \text{ MHz} - 100 \text{ MHz}}{\text{Ancho de la señal} \quad 10 \text{ MHz}} = 5$$

Esto quiere decir que nuestra estación retransmisora podrá manejar 5 paquetes de información distintos sin que éstos se traslapen. El uso de un filtro digital en esta caso, permitiría el máximo aprovechamiento de los equipos.

En la figura 2.1, se analiza gráficamente el funcionamiento del sistema de comunicaciones antes mencionado con dos tipos de filtros de diferente calidad.

Lógicamente la operación de los filtros en altas frecuencias se ve sumamente alterada por factores de ruido y capacitancias parásitas. Con los filtros digitales estos fenómenos adversos se reducen considerablemente.

También la electrónica se ha enfocado al control industrial y a la automatización. La eficiencia de los equipos de control depende de su respuesta en el tiempo o en la frecuencia y en gran parte este control se hace en base a la frecuencia misma. Los controladores han sufrido grandes cambios con el paso del tiempo: En un principio fueron mecánicos, después hidráulicos, más tarde neumáticos y hoy en día han sido reemplazados por eléctricos, y estos últimos a su vez por digitales.

Existen en el mercado numerosos dispositivos que se encargan de realizar la analogía o conversión entre sistemas electrónicos. Mediante el uso de convertidores de corriente a voltaje de voltaje a frecuencia y de frecuencia a corriente, los filtros pueden adaptarse prácticamente a cualquier equipo de control.

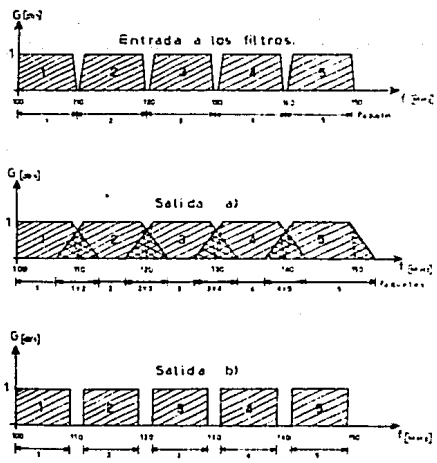


Fig. 2.1: Transmisión de una señal mediante dos filtros distintos.

Se puede considerar que un filtro digital es en sí mismo un equipo de control, pues es capaz de ejercer una acción de paso o corte sobre la señal programada (frecuencia a filtrar), con la sencilla conmutación de la línea de entrada.

A lo largo del capítulo IV se analizan estos factores más a fondo, y se proponen algunas soluciones a los problemas antes mencionados con el fin de optimizar el diseño del filtro que se pretende en este trabajo.

Depende de la aplicación específica de cada filtro, la calidad necesaria en el mismo. En un filtro de audio cuya función es desviar la frecuencia hacia los altavoces tal vez no sea muy crítica su calidad, sin embargo; si se considera un canal de comunicaciones en donde se requiere de gran calidad para evitar que una señal interfiera con otra, se debe tener especial cuidado en utilizar un filtro con mejores características de respuesta.

Para evaluar de una forma más precisa la calidad de un filtro, se relaciona la unidad de ganancia (Decibel) con una unidad de frecuencia (Octava). De esta forma se podrá juzgar si un filtro es de mejor calidad que otro cuantos más db's/oct (decibeles/octavas) tenga de atenuación.

Partiendo de estos conceptos, el primer objetivo de este trabajo es el de diseñar un filtro cuyas características se aproximen lo más posible al caso ideal, es decir; procurar tener una pendiente lo más aproximada a 90 grados para cuasar así una atenuación muy grande a las frecuencias que se desea que el filtro corte.

Un filtro con estas características tendría un sin número de aplicaciones en equipos de medición y control, y su precisión lo convertiría en un excelente equipo patrón.

No es necesario extenderse en la aplicación de los filtros digitales, pues las aplicaciones de cualquier dispositivo son todas aquellas para las cuales el diseñador sea capaz de adaptar el sistema y sus características. Sería limitativo el hecho de tratar de enumerar únicamente algunas de ellas.

La relevancia de un filtro digital, estriba tanto en su capacidad de integración como en su factibilidad de programación. Ya que con esto se logra un sistema flexible capaz de responder a múltiples necesidades, sobre todo en sistemas cuya limitante sea el acoplamiento de señales discretas a señales continuas.

El problema de comunicación entre sistemas, a resultado ser no los sistemas en sí; sino los canales de comunicación por el número de éstos o por las pérdidas y distorsiones sufridas en las señales entre su transmisión y su recepción. Todo esto se ha tratado de evitar sustituyendo líneas de alambre por fibras ópticas o radiofrecuencias por microondas en tales sistemas de comunicación; pero básicamente la densidad de líneas o canales a seguido siendo el problema, y aunque se ha visto resuelto en gran parte por los sistemas de conmutación y multiplexaje, los resultados no son los esperados.

En este campo el filtro digital representa un avance más. Su selectividad permite ser conectado a una red de multiplexaje con un ancho de banda muy preciso, al cual se le programa y autoconmuta a la línea. Al decir "autoconmuta a la línea" nos referimos a que se ejerce una acción autónoma, sin necesidad de control externo.

C A P I T U L O I I I

CLASIFICACION DE LOS FILTROS Y SUS APLICACIONES

III. CLASIFICACION DE LOS FILTROS Y SUS APLICACIONES

Antes de iniciar este capítulo, es importante aclarar que las aplicaciones de los filtros pueden ser las mismas sin importar si estos son pasivos, activos, analógicos o digitales, a pesar de que la calidad del filtrado sea muy distinta en cada caso.

Por mucho tiempo, el manejo de datos analógicos en el dominio de la frecuencia ha sido la responsabilidad de las teorías del diseño de filtros tanto pasivos como activos. Los filtros son generalmente clasificados en términos del ancho de banda que dejan o no pasar, es decir, de la respuesta en frecuencia que tienen.

Se hace referencia en el transcurso de este capítulo, a algunas aplicaciones de los filtros en sistemas de control, en equipos de calibración, etc. sin que por ello se limite su uso.

Además de la clasificación tradicional de los filtros en pasivos y activos, existen ya otras familias como son los de cristal y los digitales. En nuestro caso, con el fin de realizar una clasificación lo más completa que sea posible, los dividiremos en cuatro grupos principales:

- 1.- Filtros Pasivos
- 2.- Filtros Activos
- 3.- Filtros de Cristal
- 4.- Filtros Digitales

Obviamente cada una de estas familias de filtros implica mayores avances tecnológicos. Aún así, su funcionamiento a pesar de ser completamente diferente, se explica de una manera muy breve en el presente capítulo.

Independientemente del tipo de familia, de acuerdo a la

banda de frecuencias a la cual responde el filtro, este puede ser:

- a) Pasa Bajas
- b) Pasa Altas
- c) Pasa Banda
- d) Supresor de Banda

En términos gráficos, estos filtros aparecen en la figura 3.1. Se puede ver que los filtros son especificados en términos de:

- 1) Banda de paso
- 2) Banda de transición
- 3) Banda suprimida

A continuación se da una breve definición de los diferentes tipos de filtros mencionados anteriormente:

Filtro pasa bajas.

Se dice que un filtro es pasa bajas, cuando éste elimina las frecuencias que se encuentran arriba de la establecida como frecuencia de corte (f_0), y deja pasar sólo aquellas que están antes de esa f_0 .

Filtro pasa altas.

Se habla de este tipo de filtro, cuando se eliminan las frecuencias abajo de las frecuencias de corte y se permite el paso de frecuencias más altas.

Filtro pasa banda.

Este tipo de filtro es la combinación de los dos anteriores, ya que permite el paso de las frecuencias existentes entre la frecuencia de corte baja (f_{01}) y la frecuencia de corte alta (f_{02}) a las cuales responde el filtro. Determinando el ancho de banda del filtro.

Filtro supresor de banda.

Un filtro se dice que es supresor de banda, cuando suprime la banda de frecuencias que se encuentra entre la frecuencia de corte baja y la frecuencia de corte alta para las que se diseño, permitiendo el paso a todas las demás frecuencias.

Todos los concéptos anteriores se hacen más claros mediante la representación gráfica de la figura 3.2.

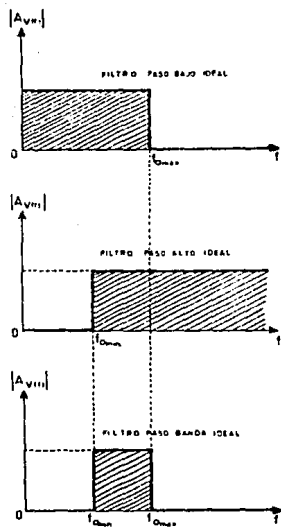


Fig. 3.1: Funciones principales de los filtros discriminadores.

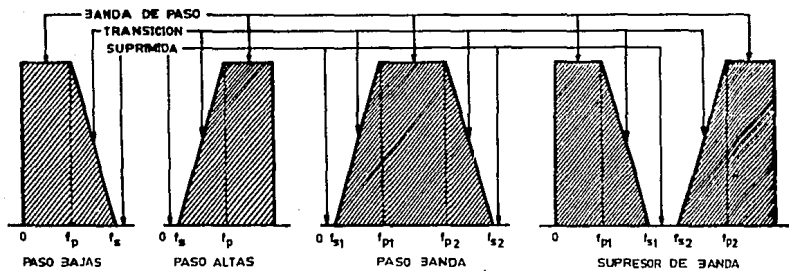


Fig. 3.2: Definiciones de la magnitud espectral para filtros
 pasa bajas, pasa altas, pasa banda
 y supresor de banda.

Ahora bien, analicemos un filtro pasa bajas y veamos que es lo que sucedería con una señal de 700 Hz y con una de 5000 Hz, si su frecuencia de corte (f_0) es de 1000 Hz, (figura 3.3).

Observando la figura 3.3 nos damos cuenta que el filtro no se interpone a la señal 1 (de 700 Hz) pues esta es de una frecuencia inferior a la frecuencia de corte, por lo cual puede pasar sin sufrir alteración alguna en su ganancia. Sin embargo la señal 2 (de 5000 Hz) se ve completamente atenuada o "cortada" por el filtro ya que ésta tiene una frecuencia mayor a la frecuencia de corte.

Existe diferencia entre el comportamiento ideal y el comportamiento real de un filtro. Esta diferencia se debe a que siempre existirá a la salida del filtro una pequeña señal, aunque muy atenuada. Esto nos permite hallar la "calidad" de un filtro utilizando un método gráfico que determina la pendiente de corte del filtro, tabulando la ganancia de salida contra la frecuencia de entrada. Para obtener las respuestas de los filtros ideales en las figuras 3.2 y 3.3 se tendría una pendiente de 90 grados, lo que implicaría una atenuación infinita o ganancia cero a las frecuencias arriba de la frecuencia de corte y una ganancia muy grande o atenuación cero a las frecuencias inferiores a la frecuencia de corte.

Características del filtro:

FRECUENCIA DE CORTE	1000 Hz
TIPO DE PASEO	PASEO BAJAS
CALIDAD	IDEAL

Señales de entrada:

1	SEÑAL	100 Hz	10Vpp
2	SEÑAL	1000 Hz	10Vpp

Configuración



Respuesta:

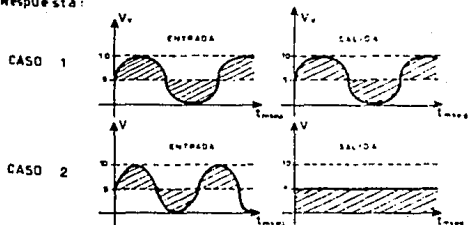


Fig. 3.3: Respuesta de un filtro pasa bajas.

3.1 Filtros pasivos.

Comencemos con la descripción de los filtros pasivos tradicionales, gracias a los cuales fueron posibles los primeros transmisores y equipos de audio. Este tipo de filtros se componen de tres elementos básicos de tipo pasivo (de ahí su nombre) que son: resistencias, bobinas y capacitores. Cualquier circuito RLC (Resistencia-Bobina-Capacitor) es un filtro, y dependiendo del acomodo o combinación de esos elementos, éste fungirá como pasa bajas, pasa altas, pasa banda o supresor de banda.

Aunque la resistencia implica una parte importante en cualquier circuito por ser quien proporciona la carga, la impedancia (Z) en los filtros tiene la función más importante, ésta se ajusta con el capacitor y la bobina, elementos que afectan en mayor o menor grado las propiedades del circuito. La figura 3.4 muestra la configuración básica de los filtros pasivos.

En el caso del filtro pasa bajas, el capacitor durante el tiempo de descarga (semiciclo negativo de la señal) compensa en parte el voltaje de entrada al circuito, mientras que en el semiciclo positivo se carga. Si el valor del capacitor es muy elevado esto implica que el tiempo de descarga será muy largo, por lo cual en la salida se obtendrá un valor casi de corriente directa. Como podemos observar el capacitor no desvía las señales, sino que se encarga de cubrir esos huecos existentes entre el ciclo positivo y el ciclo negativo de la señal, presentando así una impedancia muy alta a ciertas frecuencias y muy baja a otras.

La bobina en ambos casos trabaja en conjunto con el capacitor, por ella circula una corriente que ayuda en gran parte a la desviación o compensación de las señales.

3.2 Filtros activos.

Los filtros activos carecen generalmente de bobinas, su principal elemento semiconductor es el amplificador operativo o amplificador operacional con que cuentan. Sus elementos pasivos consisten en resistencias y capacitores. Los filtros activos tienen rangos de operación mucho más altos que los pasivos, además su calidad es mayor. La única desventaja que poseen es que la corriente que puede circular por el amplificador operacional es de pocos miliamperes, y su voltaje pocas veces excede de los 15 volts.

Las propiedades analíticas de un filtro activo pueden ser establecidas en términos de su función de transferencia, la cual se define como $H(S)=Z(S)/P(S)$, en donde $Z(S)$ y $P(S)$ son los ceros y polos del filtro respectivamente. El análisis de un filtro activo se concentra en el estudio de su modelo de polos y ceros. En la figura 3.5 se muestra una configuración básica de un filtro pasa bajas de tipo activo.

3.3 Aplicaciones.

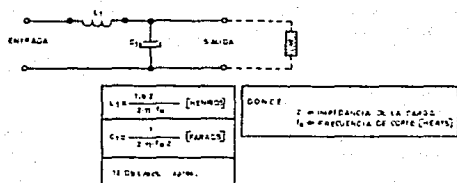
La aplicación más común de un filtro eléctrico como ya se ha comentado, es la de "discriminador o supresor" de alguna frecuencia, y en general esta discriminación se efectúa de la misma forma sin importar el tipo de familia a la que pertenezca el filtro.

3.3.1 Análisis de señales.

El análisis espectral es un método muy comunmente usado para análisis de señales. El principio general es analizar la distribución de la energía de una señal con respecto a la frecuencia. La transformada rápida de fourier es ahora ampliamente

Usada para efectos de análisis espectral donde se requiere buena resolución de frecuencias finas. Frecuentemente, sin embargo, no siempre se requiere éste tipo de resolución; por lo que es muy conveniente aquí el uso de filtros digitales para hacer un mejor análisis que el que nos ofrece la transformada rápida de fourier.

FILTRO BASICO PASO BAJAS



FILTRO BASICO PASO ALTAS

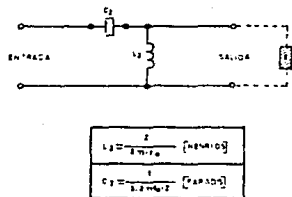
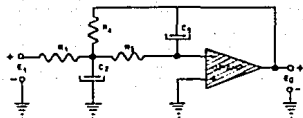


Fig. 3.4: Filtros pasivos.

A2 CONFIGURACION 1

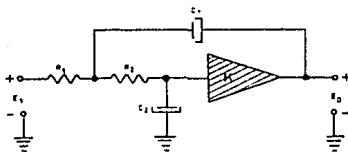


FILTRO PASO BAJOS DE PENTAPOLMENTACION MULTIPLE

FUNCION DE TRANSFERENCIA

$$\frac{E_D(s)}{E_1(s)} = \frac{1/R_1 R_2 C_2 C_3}{s^2 + (R_2 C_2)(1/R_1 + 1/R_2) + 1/R_1 R_2 C_2 C_3}$$

B3 CONFIGURACION 2



RED DE PASO BAJO DE PUNTE DE VOLTAJE CONTROLADA Y VOLTAJE.

FUNCION DE TRANSFERENCIA

$$\frac{E_D(s)}{E_1(s)} = \frac{1/R_1 R_2 C_1 C_2}{s^2 + s[1/R_1 C_1 + 1/R_2 C_1 + (1 + R_2/R_1)C_2] + 1/R_1 R_2 C_1 C_2}$$

Fig. 3.5: Filtros activos.

CAPITULO IV

FILTROS DIGITALES

IV. FILTROS DIGITALES

Este capítulo tiene como finalidad hacer una pequeña introducción a los capítulos V y VI, "Análisis del sistema propuesto" y "Diseño del filtro" respectivamente, de forma tal que el lector esté familiarizado con el principio de funcionamiento de esta clase de filtros.

No está por demás aclarar que el filtro posee muy pocos elementos analógicos que es un poco difícil de reemplazar por elementos digitales, pues son precisamente los encargados de manipular la señal de tipo analógica.

Durante la introducción se aclaró que la idea básica al diseñar el filtro digital era la de procurar su integración en un solo "chip". Aunque aquí no se desarrollarán los planos para tal integración, si se hace un pequeño croquis del circuito final, el cual se puede observar en las figuras 4.1 y 4.2.

Al comenzar la explicación de lo que es un filtro digital, lógicamente nos referiremos al filtro aquí tratado. Más adelante, los diseños futuros tal vez podrán tener otras variantes y posibilidades.

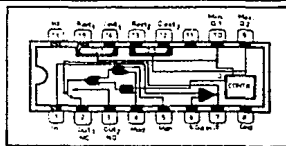
El filtro digital se basa en el principio de funcionamiento de cualquier circuito lógico. El resultado a la salida del filtro equivale a uno lógico si la señal debe de pasar y un cero si esta debe de ser cortada, con lo cual se logra una muy buena calidad en el filtrado. El filtro además tiene otra característica muy importante, es un filtro programable; es decir que su frecuencia de corte puede ser cambiada por el operador con tal precisión que el filtro conserva su calidad en todo el rango de operación.

La velocidad de respuesta y rango de operación de un filtro

digital están determinados por las características físico-químicas de sus componentes. Un filtro digital realizado con tecnología TTL (Lógica Transistor Transistor) será más rápido y por lo tanto más exacto que uno realizado con tecnología MOS (Semiconductor de Oxido de Metal). En el capítulo VI "Diseño del filtro" se comenta sobre la tecnología utilizada en el desarrollo de nuestro prototipo y las ventajas que esto representa.

El filtro además tiene la posibilidad de desplegar en una carátula digital la frecuencia de corte a la que se encuentra programado. Esta carátula podría considerarse como algo extra dentro del sistema, sin embargo dada la precisión del programador de más-menos un microsegundo se vuelve necesaria. La base de tiempo del sistema determina tanto la precisión como el rango de de operación en un 90%. Por cuestiones económicas y de obtención de los componentes en el mercado nacional, el prototipo responde a frecuencias programadas en microsegundos a cinco dígitos.

Vcc	ALIMENTACION DEL CIRCUITO +5V MIN.-15V MAX.
Resto/Cext.	RESISTENCIA EXTERNA NO CONECTOR EXTERNO LIM INFERIOR
Resto/Lsz12	RESISTENCIA EXTERNA VCC CONECTOR EXTERNO LIM SUPERIOR
Min D1	VALOR DE DESFADE DEL LIMITE INFERIOR
Max D2	VALOR DE DESFADE DEL LIMITE SUPERIOR
IN	ENTRADA ANALOGICA TEMP.
NO QJ11	SEÑAL DE PULSO NORMALMENTE CERRADA
NO QJ12	SEÑAL DE PULSO NORMALMENTE ABIERTA
MOD	SELECCION DE MUESTRO MANUAL/AUTOMATICO O MANUAL
MAN	SELECCION MANUAL DE MUESTRO
GAN	SEÑAL DE GANANCIA O HISTERESIS DE SEÑAL DE PULSO
GND	CONEXION A TIERRA DEL CIRCUITO



Duración del impulso parametro:
 $t_{w(OUT)} = 0.7 C_{ext} R_{ext}$

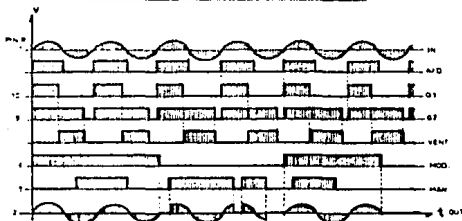
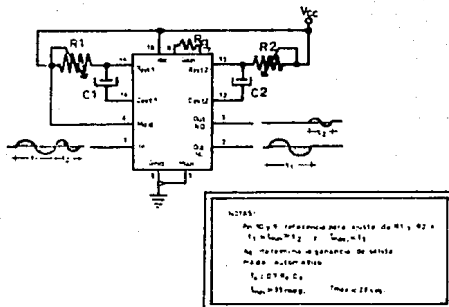


Fig. 4.1: Integración del filtro digital de ventana.



EJEMPLO DE MODULACION SOBRE LA SEÑAL FILTRADA

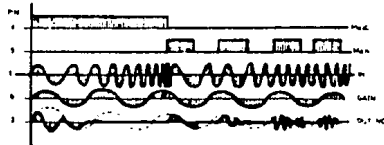


Fig. 4.2: Aplicaciones típicas de los filtros digitales.

Debido a que el controlador del filtro es accionado por un sistema comparador que determina si la frecuencia de entrada esta dentro del rango, este sistema de comparación al igual que otras partes del circuito, se compone de cinco etapas idénticas en paralelo. Lo que implica cinco veces más de componentes que si el sistema procesara la información en serie, pero también es cinco veces más rápido. En el diseño de los filtros digitales hay que sacrificar la velocidad o el número de componentes. A pesar de lo anterior el costo no varía en forma significativa ya que solo se requieren unas cuantas compuertas de más o de menos.

Los integrados construidos hoy en día para una CPU (Unidad Central de Proceso) con técnicas LSI (Larga escala de integración) contienen en su interior cientos de compuertas, y su costo depende básicamente del número de integrados fabricados. Gracias a la flexibilidad del filtro digital y al gran número de aplicaciones que éste puede tener, su fabricación podría hacerse en escalas que permitan un costo aproximadamente igual al de un reloj digital o algún integrado similar.

Para fines prácticos, el filtro puede construirse sin el sistema de despliegue de la frecuencia de corte en la carátula digital, logrando de esta manera una versión más económica del filtro con la misma exactitud.

El funcionamiento general del filtro se basa en el principio de operación del generador de ventana (o "ventana de frecuencia"), figura 4.3.

Esta ventana a través de un comparador, establece el corte de la señal en los límites superior e inferior simultáneamente para el caso de la versión económica, y a través de la comparación dígito a dígito de la señal de entrada ya codificada en uno de sus límites, para la versión completa.

A pesar de que los dos filtros son digitales y su funcionamiento lo determinan sus dos únicos estados posibles abierto o cerrado, no se programan de la misma forma. En uno, el filtro incluye un medidor de periodo que alimenta un canal de los comparadores; el otro canal, es el que proviene del programador y la comparación es entonces de un código binario. Este código equivale a la duración del semiciclo positivo de la señal de entrada. El filtro digital de ventana tiene un comparador con compuertas lógicas, en el que los estados de uno o cero de las condiciones de entrada (digitalizada por un detector de cruce por cero) y la frecuencia de ventana que consiste en una segunda señal producida por un monoestable (que determina el límite inferior y otro el límite superior), son comparados simultáneamente. La figura 4.4 muestra gráficamente la formación de la ventana y los disparos de cada monoestable.

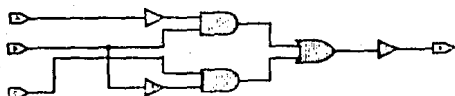


Tabla de verdad				
A	B	C	F	CONTROL
0	0	0	0	NO
0	0	1	0	DATA
0	1	0	0	DATA
0	1	1	0	DATA
1	0	0	1	NO
1	0	1	1	DATA
1	1	0	1	NO
1	1	1	1	NO

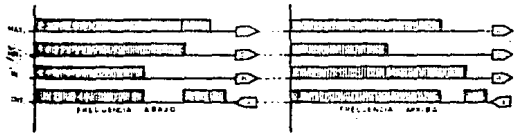
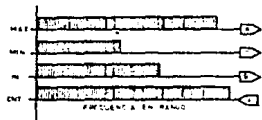


Fig. 4.3: Generador de ventana.

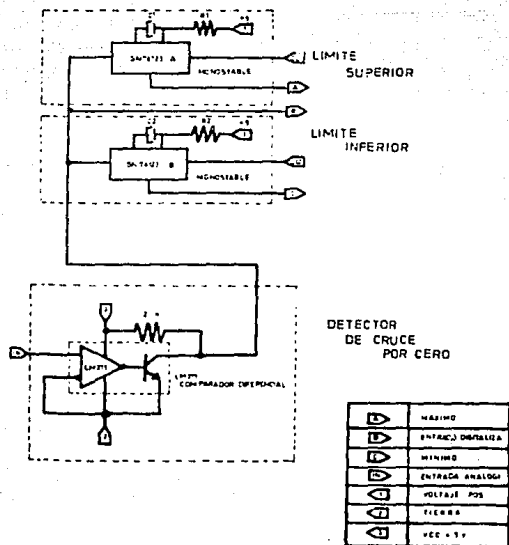


Fig. 4.4: Disparo de circuitos monoestables.

Para diferenciar mejor ambos prototipos, hablaremos del filtro "por codificación" o el filtro "de ventana" según sea el caso.

4.1 Filtro por codificación.

Si se desea que el filtro "por codificación" trabaje como pasa bajas, es necesario únicamente definir en el programador que la frecuencia almacenada es el límite superior a cortar; si se quiere utilizar como filtro pasa altas, el programa especificará la frecuencia mínima a pasar. Lo más importante es que la precisión del filtro permite una nueva opción de funcionamiento denominada "PASO UNICO", es decir; que la frecuencia de interés pasará por el conmutador si y solo si ésta es igual a la frecuencia programada.

La opción anterior nos permite hacer un reacondo en las aplicaciones de los filtros digitales:

TIPO DE FILTRO:	SALIDA:
Pasa bajas	Cualquier frec. menor a la de corte (f_0).
Pasa altas	Cualquier frecuencia mayor a la f_0 .
Pasa banda	Cualquier frec. entre $f_{0 \text{ mín}}$ y $f_{0 \text{ máx}}$.
Paso Único	Solamente la frec. programada (f_0).
Supresor de banda	Cualquier frec. que este fuera del rango de la $f_{0 \text{ mín}}$ y la $f_{0 \text{ máx}}$.

A continuación hacemos una breve descripción de un filtro digital básico, su comportamiento ante una señal y las características de su configuración.

4.2 Filtro de ventana.

El filtro digital de ventana es denominado así por su respuesta comparativa, cuyos límites superior e inferior crean una ventana de ancho variable dejando pasar las señales cuya frecuencia esta dentro de ese rango. Análogamente al filtro digital de ventana, podríamos tener un circuito schmitt-trigger cuya ventana es una diferencia de voltajes en vez de una de frecuencias. Esta ventana de frecuencias máxima y mínima es generada por el disparo de dos circuitos monoestables cuya duración es diferente, el disparo de inicio se realiza en el instante de detectar o registrar la señal de entrada (señal a comparar). A través de compuertas lógicas la combinación de la señal de entrada, la señal del monoestable con disparo mínimo y la señal del monoestable con disparo máximo, responden a una tabla de verdad que determina el paso o corte de la señal a controlar.

Esta es una respuesta lógica que se puede resumir en la siguiente tabla:

Disparo monoestable mín.	= C
Disparo monoestable máx.	= A
Señal de control	= B
Señal a controlar	= X

El primer tipo de filtro digital es más complejo que el anterior, esto se debe a que la ventana de frecuencia no es generada por el disparo de monoestables sino por contadores digitales que detectan el periodo de la señal de entrada, y dicha lectura es comparada contra un valor memorizado digitalmente. Esta comparación no es de duración de pulsos, consiste en una comparación de información numérica de tiempo de duración de las señales. Este filtro compara la cuantificación de los tiempos en forma numérica.

La gran ventaja de este tipo de filtro, es la precisión en un amplio rango de frecuencias y la factibilidad de su programación através de un microprocesador.

Es precisamente del primer tipo de filtro (filtro por codificación) del cual nos ocuparemos en el presente trabajo, ya que es este el tema central de la tesis.

CAPITULO V

ANALISIS DEL SISTEMA PROPUESTO

V. ANALISIS DEL SISTEMA PROPUESTO

5.1 Consideraciones de Diseño.

El diseño propiamente del filtro comienza por establecer no solo los parámetros de funcionamiento, sino también determinando la configuración general del sistema. En este caso la configuración básica parte de las siguientes consideraciones:

- 1.-El filtro debe ser capaz de funcionar conectado a cualquier equipo sin que éste represente carga alguna (Impedancia de entrada muy alta).
- 2.-Todos los componentes del filtro básico (a excepción de la carátula) deben de remplazarse por sustratos de silicio a fin de construir en un solo circuito integrado.
- 3.-En cuanto al tipo de tecnología utilizada esta debe ser de fácil adquisición en el mercado nacional, de precio bajo y alta velocidad de respuesta. Es por esta razón que se eligieron los circuitos digitales tipo TTL con las características de juntura LS (Low Schottky) que disminuye el consumo y aumenta la velocidad de las compuertas. Además la familia de integrados TTL es de fácil manipulación y no corre el riesgo de que se dañen con las descargas eléctricas durante su manejo, como en el caso de los integrados C-MOS. Los circuitos TTL son comúnmente utilizados en equipos diseñados con fines experimentales, por lo cual la corriente que suelen tolerar es suficientemente alta para evitar etapas posteriores de amplificación. La única desventaja que presentan este tipo de circuitos es el voltaje que se les debe de aplicar, el cual es de 5 volts y solo toleran variaciones de medio voltio antes de verse dañados irreparablemente. Por este motivo, la fuente de alimentación del filtro debe ser regulada. Al hablar de

regulación no nos preocupamos por el margen de medio voltio, pues un voltaje regulado no varía en más de 1% y 3%.

4.-Los módulos que no sean inherentes al circuito controlador (fuente de alimentación, carátula, etc.) serán conectados en tarjetas separadas através de conectores múltiples de tipo estandar.

5.-Todos los controles pertenecientes al filtro estarán alojados en la misma tarjeta con el fin de facilitar al operador la programación. Para efecto de pruebas, dichos controles no necesitarán ser muy sofisticados o de una presentación lujosa, pues lo que menos importa por el momento es la apariencia del sistema experimental.

6.-El sistema propuesto responderá a las frecuencias de alta fidelidad para equipos de audio (20 a 20000 Hz). Dentro de este rango podrá ser programado a intervalos de 1 microsegundo, para ello su base de tiempo estará determinada por un cristal de cuarzo dando así mayor estabilidad al circuito.

7.-Una vez establecidos estos parámetros básicos, las características generales del filtro digital deberán sujetarse lo más posible a la siguiente tabla:

Impedancia de entrada	Zin	1 Mhon's
Voltaje de alimentación	Vac	120 Vac
Respuesta a la frecuencia		20-20000 Hz
Para señales periódicas y simétricas mínimo en dos ciclos		
Distorsión total menor al 1%		
Operación como filtro pasa bajas, pasa altas o frec. Única		

La concepción básica del filtro se puede reducir a cuatro bloques: El frecuencímetro, el programador, el comparador que integra la ventana de frecuencia y ejerce el control sobre el

cuarto bloque que consiste en un conmutador de estado sólido, que permite o no el paso de la señal si esta dentro del límite establecido por el programador.

Como es lógico este sistema no puede decidir si la señal se encuentra o no dentro de los límites considerados, hasta que ha pasado por lo menos un semiciclo y se ha determinado su frecuencia.

Debido a que el programa se encuentra almacenado no existe riesgo alguno de perderlo y permanece programado durante la operación, al no ser que el filtro este conectado a un microprocesador (opción que no se contempla en el diseño). La frecuencia leída por el frecuencímetro queda a su vez almacenada en memorias temporales. Durante la comparación es necesario también "memorizar" la señal de entrada hasta decidir si dicha señal pasa de la memoria a la salida o simplemente es olvidada.

El otro método no consiste en almacenar las señales, sino en decidir el corte de la entrada al finalizar el semiciclo; lógicamente suponemos que el siguiente semiciclo de la señal es de un periodo idéntico al contabilizado.

Existen señales aleatorias o generadas sin simetría y no necesariamente repetitivas, con este tipo de señales el filtro no tiene una operación correcta ya que solo actúa en ellas alterancias. Una forma de contrarrestar esto es agregando al circuito una etapa en paralelo que alimente la señal de entrada invertida. Ambas salidas alimentarán a un amplificador operacional y la salida resultante será entonces la diferencia de las señales de entrada.

En la construcción práctica del filtro es necesaria la implementación de otras etapas adicionales, como por ejemplo acopladores de entrada y salida como protección tanto del filtro como del conmutador que controla el paso de la señal, ya que la

corriente que puede tolerar no es muy alta y por consiguiente cualquier corto a la salida podría dañarlo.

El panel de controles es un módulo que nos permite conocer de que forma se comporta el circuito, así como ajustar las frecuencias de corte, el tipo de corte a efectuar, etc.

El filtro digital queda configurado en su versión experimental según lo muestra el diagrama a bloques de la figura A, en el cual se describen de una forma general los bloques que lo constituyen. Cada uno de dichos bloques se encuentra detallado en las figuras A1 a AB, con el fin de analizar mejor las etapas y su diseño.

Tanto las figuras como los diagramas son elaborados considerando el acabado final del filtro prototipo.

Resulta más sencillo en el desarrollo modificar e implementar partes al sistema durante las pruebas y la experimentación que durante la teoría del diseño. En realidad todo el diseño es una concepción teórica o hipotética basada en experiencias y conocimientos que no es suficientemente válida hasta no demostrar su funcionamiento real.

CAPITULO VI

DISEÑO DEL FILTRO

VI. DISEÑO DEL FILTRO

6.1 Introducción.

En este capítulo se describen tanto el funcionamiento como la realización (Diseño) de los prototipos. La base matemática del filtro es el álgebra booleana y la lógica digital, sin embargo existen dos etapas en donde los cálculos están sujetos a estímulos y respuestas analógicas, estas etapas son: La etapa del controlador (o conmutación electrónica de la señal) y las etapas de acoplamiento de entrada y salida.

La realización del filtro se lleva a cabo por etapas, y éstas son las siguientes:

Etapas Digitales:

Programador del filtro	(Figura A1)
Panel de Controles	(Figura A2)
Frecuencímetro	(Figura A3)
Comparadores	(Figura A4)

Etapas Analógicas:

Acoplador de Entrada	(Figura A5)
Acoplador de Salida	(Figura A6)
Fuente de Alimentación	(Figura A7)

Etapas Mixtas:

Controlador	(Figura A8)
-------------	-------------

6.2 Explicación General de Funcionamiento.

La señal de entrada al filtro es aplicada a un acoplador, y es en esta etapa en donde se controla la ganancia o nivel de señal

necesario para mantenerla dentro de un margen tolerable para los circuitos que la digitalizan. De ahí la señal pasa a un detector de cruce por cero, mismo que activa a los monostables del frecuencímetro para cargar el conteo en los latches o borrar los contadores inicializándolos para un nuevo conteo. La señal almacenada en los latches es comparada digitalmente con la señal almacenada como programa en otra serie de contadores, de esta serie de comparadores se obtienen tres líneas resultantes que se pondrán en un lógico dependiendo si la frecuencia almacenada en los contadores (programa) es menor, igual o mayor a la frecuencia retenida en los latches (frecuencia de entrada). Estas tres señales en combinación con el switch de tipo de corte pasan a una serie de compuertas que determinan si se cumplen o no las condiciones programadas. En caso de cumplirse se activará una señal de paso, de lo contrario una de corte. Esta señal de paso es aplicada a un circuito de conmutación electrónica y permitirá o no el paso de la señal a la etapa de acoplamiento de salida.

En la etapa de salida es posible el control de ganancia de esta señal compensando así las pérdidas de las señales cortadas o interrumpidas por el filtro. En el panel de controles es posible la visualización del nivel de entrada de la señal, así como la ganancia de la señal de salida; también se localizan los controles de programación y los indicadores del sistema, además de una carátula digital donde se toma la lectura de la frecuencia de entrada o de la programada, según sea el caso. En la figura que se muestra a continuación (figura A) se observa el esquema a bloques del filtro digital programable, objetivo de este trabajo.

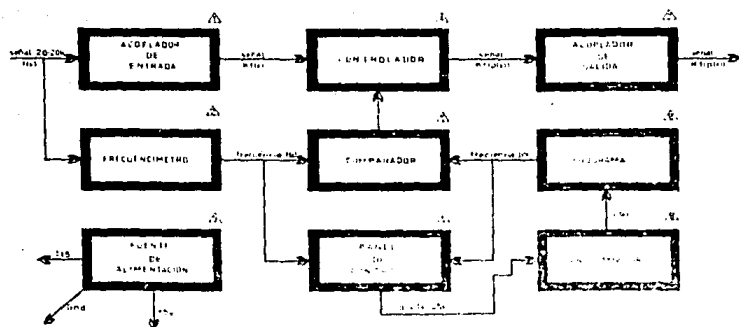


Fig. A: Diagrama a bloques del filtro digital programable.

6.3 Programador.

El programador del filtro es una etapa que tiene por objeto establecer la frecuencia de corte del filtro. Se compone de dos sub-etapas: El programador en sí y el dispositivo de almacenamiento de los dígitos programados o información retenida.

El programador del filtro esta directamente relacionado con el panel de controles, pues es ahí donde se encuentran los elementos interruptores para modificar el contenido de las memorias.

En el programador se elijen dos tipos de funciones diferentes, la frecuencia de corte del filtro y el tipo de corte a efectuarse. La frecuencia de corte como se menciona anteriormente, es guardada en una memoria que en este caso consiste en cinco contadores tipo SN74LS90, estos contadores alteran el estado lógico de sus salidas enviando los cuatro bits en paralelo a los comparadores. Los dígitos programados son cinco, ello implica un total de 20 bits de información que llega al comparador procedente del programa. La forma en que se altera la salida de los contadores para modificar el programa, es através de una serie de compuertas lógicas alimentadas por una parte, con la señal de un decodificador binario a decimal quien a su vez recibe información de un contador. Este contador determina el dígito a programar, funcionando como habilitador del conjunto de compuertas que modifican el estado de los contadores que contienen la información. Por otro lado mediante una señal enviada al oprimir un pulsador, se incrementa el valor de otro contador dando lugar a que la decodificación habilite al siguiente dígito. Con otro pulsador al que también llega una señal de aproximadamente 1 Hz alteramos el contenido del contador de cada dígito, en este caso el del dígito habilitado. Las señales que van hacia el comparador también son alimentadas al panel de control para ser desplegadas en la carátula, además, se envía una señal piloto a un LED (diodo emisor de luz) indicando el dígito que esta

habilitado para programarse. El sistema tiene un conmutador de dos posiciones, posición de programación y posición de ejecución; este conmutador habilita la función de la etapa de programación o la de la etapa de comparación. Así el filtro no trabaja mientras esta siendo programado, o mientras se encuentra en operación; la frecuencia de programa no puede ser alterada accidentalmente al oprimir algún pulsador.

La otra función en el programador (elegir el tipo de corte a efectuarse) se asigna mediante un conmutador de tres posiciones: Menor o función del filtro pasa bajas, igual o función del filtro paso único, mayor o función del filtro pasa altas. La salida de este conmutador alimenta por un lado a los indicadores en la carátula para mostrar la función asignada, y por otro a un grupo de tres compuertas "AND" que forman la parte del controlador.

El esquema a bloques del programador se presenta en la figura A1. En la figura B1 se muestran con mayor detalle los diagramas de dicho programador, y en la figura 6.1 se muestran las tablas de verdad del conjunto de compuertas que habilitan los contadores del programador.

Por otra parte refiriendonos a la figura C1 (Diagramas Generales), puede observarse que si ambos pulsadores del programador se oprimen simultáneamente con el selector en posición programación, esto permitirá el borrado o puesta en cero tanto de las memorias como del habilitador de programa. Esta otra modificación en el diseño trae como consecuencia ahorro en componentes.

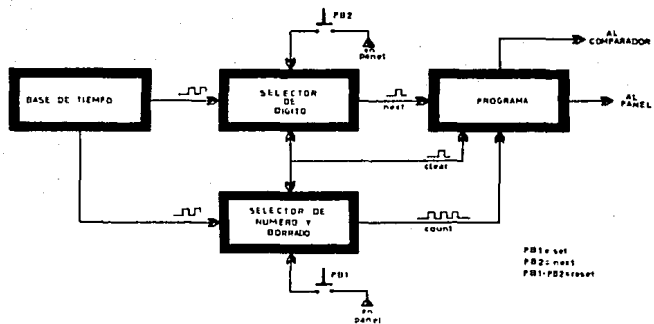


Fig. A1: Diagrama a bloques del programador.

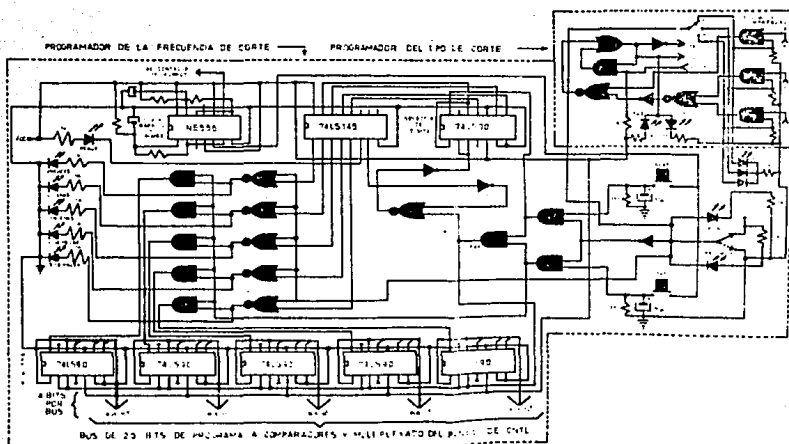


Fig. B1: Diagrama electrónico del programador.

SEÑAL	POSICION	ACCION
SW1	NUM	FUNCION DE FILTRO
	PRG	PROGRAMACION
SW2	0	PASS BAJAS
	1	PASS UNICO
PB1	0	PASS ALTAS
	1	INCREMENTO DE GAIN
FS1	0	NOVA
	1	ADJUSTE GAIN
PB2	0	NOVA
	1	PROGRAMA ELEMENTOS IN
PB3	0	NOVA
	1	NOVA

TABLA DE CONTROLES

SEÑAL	INDICACION
DP1-3	PERIODO DE ENTRADA (T ₁ - T ₂) PERIODO PROGRAMADO (SW PRG)
DP1-3	SEÑAL MARCADA PARA PROGRAMACION
LS	FILTREO
LT	PROGRAMADO
LF	PROGRAMACION LISTA
1F	FILTRO PASS BAJAS
1U	FILTRO PASS UNICO
1H	FILTRO PASS ALTAS
1G	INDICACION DE PASS
1V	NOVA EN ESCENA
1L	INDICADOR DE ENTRENADO
1W1	SEÑAL DE ENTRADA
1W2	SEÑAL DE SALIDA
1W3	SEÑAL DE SEÑAL DE ENTRADA
1W4	SEÑAL DE SEÑAL DE SALIDA

TABLA DE INDICADORES

Fig. 6.1: Tablas de verdad del habilitador del programador.

6.4 Panel de Controles.

En el panel de controles reside la carátula de despliegue, también aloja los interruptores de programación, indicadores de estado del sistema, selectores de funciones del filtro, encendido y apagado, etc.

El panel de control recibe y envía señales a todo el sistema manteniendo así al operador informado de lo que sucede durante el filtrado de la señal. La figura A2 detalla el funcionamiento a bloques de esta etapa.

El distribuidor de información en conjunto con el habilitador de dígitos y la base de tiempo de 2 KHz aproximadamente, forman lo que se conoce como sistema de renovación de la información, lo cual permite manejar los cinco dígitos desplegados en serie enviando la información decodificada simultáneamente a todos, pero habilitando únicamente el dígito en el cual debe aparecer dicha información.

Posiblemente la parte más compleja de esta etapa sea el multiplexor de información, quien recibe a su entrada cuarenta bits (20 del programa y 20 del frecuencímetro) y tan sólo entrega los cuatro correspondientes al dígito a desplegar. Este mismo sistema de multiplexado puede también usarse en la etapa del comparador y la memoria para reducir el número de componentes, sin embargo la velocidad de respuesta se vería reducida a la quinta parte.

La figura B2 muestra la conexión de los multiplexores. El hecho de utilizar la combinación de multiplexores cuádruples de dos entradas y una salida, y dobles de cuatro entradas y una salida, resulta más económico y comercial que utilizar multiplexores de ocho entradas y una salida ocupando sólo cinco de estas entradas, y posteriormente pasar a multiplexar dos a uno para elegir entre despliegue del programa o del frecuencímetro.

Para sincronizar el despliegue con la información multiplexada, el direccionamiento de los multiplexores se realiza en paralelo con la habilitación del dígito en la carátula, a excepción del último multiplexado encargado de seleccionar si la información proviene de la memoria o del frecuencímetro, pues este direccionamiento se hace a través del selector de programación o ejecución.

La velocidad de barrido de la información desplegada no afecta en absoluto al funcionamiento del filtro, pues es totalmente independiente. Si se varía la velocidad de este barrido únicamente se altera la intensidad de luz en los dígitos, aunque una velocidad de despliegue muy lenta puede producir un parpadeo en los mismos.

Una solución a este problema consiste en proveer a cada dígito de una fuente de corriente piloteada con la señal de salida de los decodificadores, a través de la base de un transistor cuyo colector se conecta directamente a Vcc y su emisor a los dígitos. El transistor funcionará al igual que todos los circuitos como interruptor trabajando en corte o en saturación, figura 6.2.

Los medidores de ganancia simplemente muestran el nivel de entrada y salida de la señal, pues las etapas de acoplamiento nos permiten modificar la ganancia para compensar la atenuación producida por aquellas frecuencias que el filtro cortó.

Aunque los acopladores son etapas aparte, los indicadores y potenciómetros están localizados en la misma tarjeta de controles.

Las acciones de control del filtro se muestran mediante un diagrama a bloques en la figura 6.3.

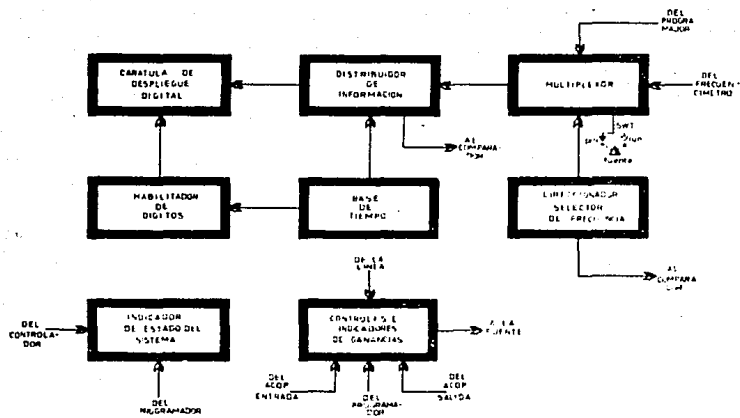
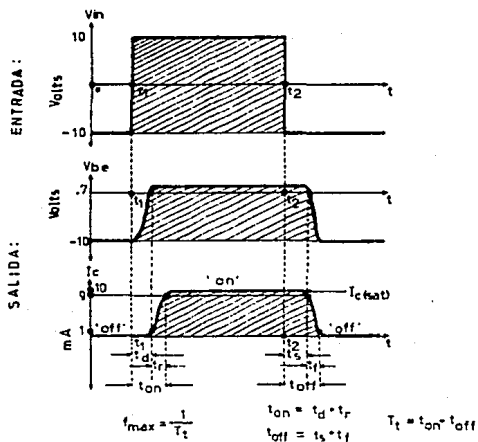


Fig. A2: Diagrama a bloques del panel de controles.



Circuito utilizado:

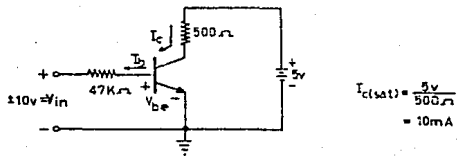


Fig. 6.2: Operación y respuesta del transistor a la conmutación rápida.

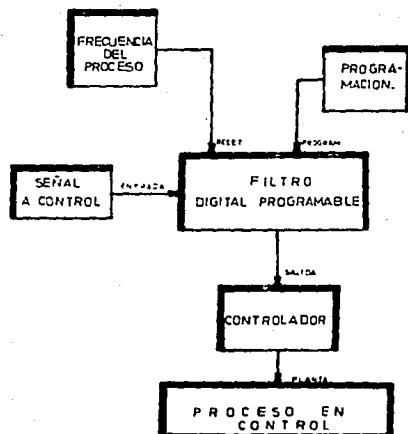


Fig. 6.3: Acción de control del filtro.

6.5 Frecuencímetro.

Esta etapa del filtro determina la frecuencia o el periodo de la señal de entrada, la información de este frecuencímetro es alimentada en forma digital a los comparadores; el funcionamiento de carga, borrado y conteo es el método convencional de muestreo y disparo.

Un detector de cruce por cero genera los pulsos piloto que habrán de disparar los monoestables, de los cuales uno se encarga de pasar la información de los contadores a las memorias temporales y el otro de borrar los contadores para iniciar nuevamente el conteo. La precisión de esta etapa la determina su base de tiempo, que consiste en un oscilador de cristal de cuarzo que divide su frecuencia mediante contadores hasta 100 MHz. Esta frecuencia o tren de pulsos es alimentada a los contadores dando como resultado la lectura del periodo de la señal.

El conteo de la señal para determinar su periodo tiene un inconveniente para la operación del filtro. El controlador no puede actuar sobre el conmutador que permite o no el paso de la señal, hasta haber efectuado la comparación de frecuencias y la frecuencia de entrada no es determinada sino hasta un ciclo después. En el caso de la frecuencia más baja (20 Hz) será hasta después de 0.05 segundos cuando dicha frecuencia haya sido determinada, o para la frecuencia más alta (20 KHz) serán 0.05 milisegundos, lo cual implica una memoria con tiempo de almacenaje variable dependiendo de cada señal, para así no perderla mientras se efectúa la conmutación. Una solución a este problema sería la utilización de un convertidor A/D (analógico-digital) que muestree la señal sin esperar un ciclo completo.

Con este convertidor el filtro no tiene la necesidad de diferenciar las señales, por lo cual el primer cambio de signo de la pendiente de la señal mandará un uno lógico (equivalente al del

detector de cruce por cero). Este convertidor A/D denominado "detector de máximo y mínimo" resuelve el problema de manejar señales prácticamente de cualquier tipo (senoidales, dientes de sierra, cuadradas, etc.), por otra parte dichas señales pueden cruzar o no cruzar por el eje de cero volts, pueden ser irregulares, y no es necesario un conmutador externo para seleccionar el tipo de señal de entrada. El problema consiste en la necesidad de esperar un máximo y un mínimo para determinar la frecuencia, una solución a este problema es el diseño de un circuito de retardo proporcional a la frecuencia de la señal. Para no romper con las especificaciones propuestas en el diseño del filtro, almacena frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 KHz sin distorcionarlas en más de 1%.

El frecuencímetro esta formado por cinco etapas en cascada (una por dígito), cada una de las cuales consiste de un contador binario y un 'latch' o dispositivo de almacenamiento. La entrada de 'enable' o activador de todas las memorias se encuentra conectada en paralelo y va a uno de los monoestables. De la misma forma, todas las entradas de borrado de los contadores van al otro monoestable.

La figura A3 nos permite analizar el funcionamiento a bloques del frecuencímetro. Su diagrama electrónico se muestra de una manera detallada en la figura B3.

El circuito que aparece en la figura 6.4 es la base de conteo y almacenamiento del frecuencímetro (idéntico para cada dígito).

Como se ha mencionado anteriormente, el diseño del filtro se hace con la idea en mente de obtener un sistema de alta precisión y con una flexibilidad superior al filtro digital convencional, y el empleo del frecuencímetro nos permite no sólo una exactitud en el corte mayor a la del filtro "de ventana", sino que además nos entrega la información de la señal de entrada también de una forma

digital, permitiendo así su despliegue en la carátula y además facilitando su comunicación con un microprocesador para efectos de control.

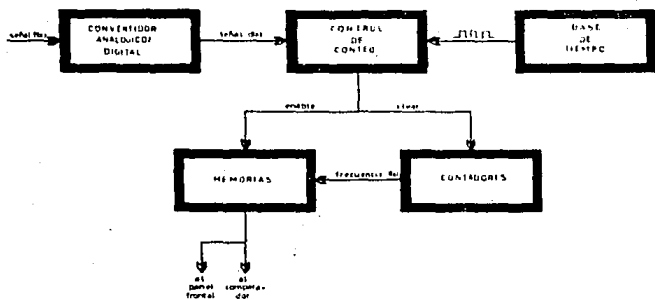


Fig. A3: Diagrama a bloques del frecuencímetro.

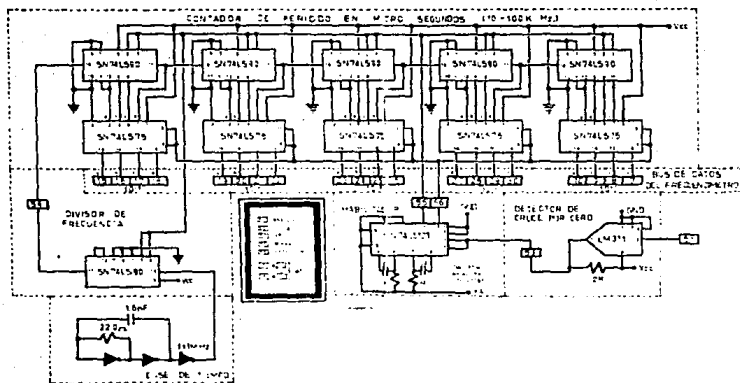


Fig. B3: Diagramas electrónicos generales del frecuencímetro.

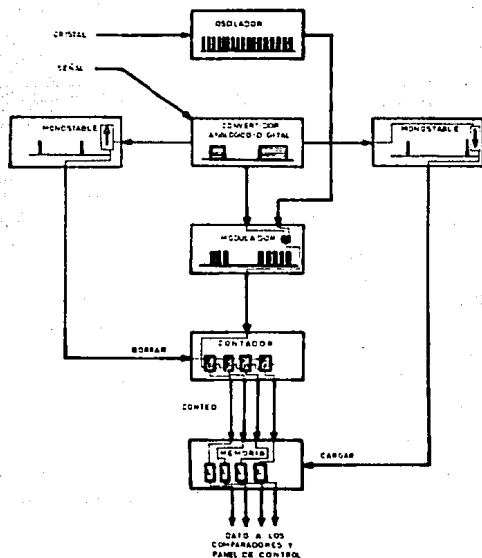


Fig. 6.4: Bloque básico del frecuencímetro.

6.6 Comparadores.

Esta es una de las etapas de mayor importancia del filtro, es en ella donde se decide la acción de control sobre el conmutador de salida. Estos comparadores están armados en cascada de forma tal que permiten el máximo aprovechamiento de los integrados, haciendo la comparación de los veinte bits de programa contra los veinte bits del frecuencímetro; en cualquiera de sus tres opciones (mayor, menor o igual).

El funcionamiento a bloques de esta etapa se muestra en la figura A4. Tanto el activador como el sistema de control de alarma son los elementos que permiten la variación de tiempo en la conmutación, dependiendo de la frecuencia de la señal; manteniendo la condición anterior del conmutador (abierto o cerrado) hasta que la frecuencia comparada rompa las condiciones del programa.

Los comparadores digitales consisten de una serie de compuertas AND y OR combinadas con OR-EXCLUSIVAS. Estas compuertas efectúan la comparación bit a bit de toda la información, y se encuentran comercialmente en el integrado SN74LS85 dispuestas en forma de comparadores de 4 bits, con la posibilidad de conexión en cascada mediante las entradas mayor, menor e igual dotadas para este fin. En la figura 6.5 se muestra la configuración básica de un comparador de 4 bits.

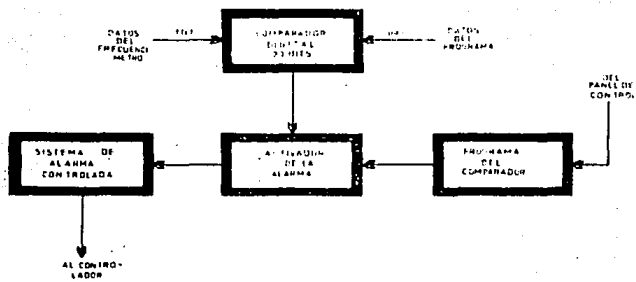


Fig. A4: Diagrama a bloques del comparador.

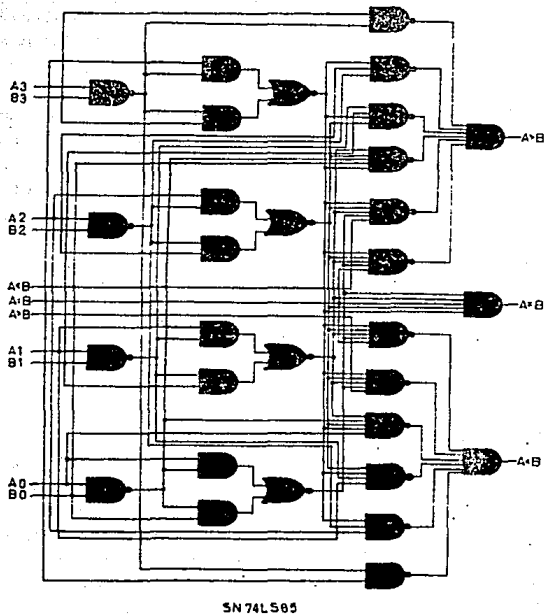


Fig. 6.5: Configuración básica de un comparador de 4 bits.

6.7 Controlador.

La etapa del controlador está integrada por un conmutador de tipo eléctrico, piloteado por un pulso digital que establece la condición de "uno"= cerrado y "cero"= abierto. Es importante la velocidad de respuesta de este circuito de conmutación, así como el aislamiento logrado entre la entrada y la salida en el momento de corte o resistencia del conmutador abierto (Roff).

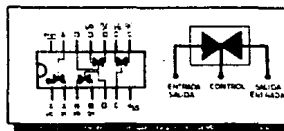
Existen comercialmente muchos tipos de conmutadores de tipo electrónico, los más comunes son los realizados con tecnologías bit-FET. Estos conmutadores entre otras características, tienen una gran impedancia de entrada; su resistencia de conmutador cerrado es menor a 300 ohms y la del conmutador abierto es de varios Megohms. Es posible bloquear señales de más de 10 volts de pico, y su tiempo de respuesta es del orden de unos cuantos nanosegundos, lo que permite sin ningún problema su aplicación en el filtro digital.

El conmutador utilizado en el desarrollo de este trabajo es el MC14016B OCD 4066BCN cuyas características aparecen en la figura 6.6.

No importando que tipo de conmutador electrónico se utilice, las características de corte y conducción del circuito se ven sumamente mejoradas al disminuir el ruido de conmutación y la capacitancia con la configuración propuesta en la figura 6.7. De esta forma, en el momento en que el conmutador "a" (maestro) se abre, el conmutador "b" (esclavo) se cierra, mandando el pequeño residuo de señal a tierra a través de él. Si el conmutador maestro permite la conducción, el conmutador esclavo se abre quedando así una resistencia de varios Megohms a tierra.

En la figura A5 se muestra el funcionamiento a bloques del sistema de conmutación, y en la figura B5 se detallan las conexiones del circuito.

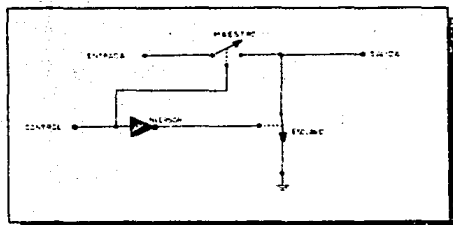
ESQUEMA DEL ENCAPSULADO :



CARACTERÍSTICAS :

CUALQUIER INTERRUPTOR BIESTABLE
POSIBLES DE TRANSMISIÓN O MULTIPLEXADO
SEÑALES ANALÓGICAS O DIGITALES
VELOCIDAD DE CONmutACION MAYOR A 100 000 CPS
REQUERIDA A SE ADELANTADO MAYOR A 10 MEGA HERTZ
ATENUACIÓN TÍPICA DE 10 DB A 100 MHZ
TRANSPARENCIA DE FRECUENCIAS HASTA DE 4 MEGA HZ
TECNOLOGÍA MOS
ALIMENTACIÓN SIMÉTRICA O REFERIDA A TIERRA

Fig. 6.6: Características del conmutador.



CIRCUITO EQUIVALENTE :

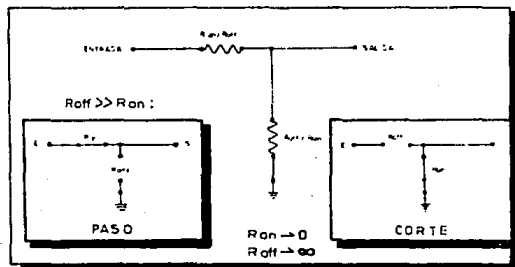


Fig. 6.7: Conexión del switch "maestro-esclavo".

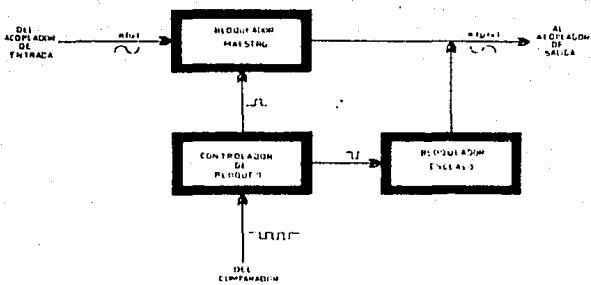


Fig. A5: Diagrama a bloques del controlador digital.

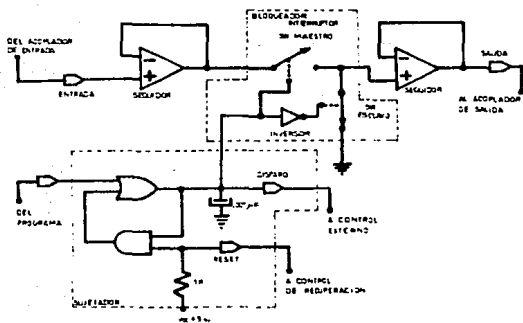


Fig. B5: Diagrama electrónico del controlador.

6.8 Acoplador de entrada.

Parte importante del sistema es el acoplador de entrada, cuya función básica es la de aumentar la impedancia de entrada del filtro para evitar de esta manera, que el circuito represente carga a etapas anteriores, distorsionando ó causando pérdidas en la señal.

En el diseño de ésta etapa se ha obtenido por el uso de amplificadores operacionales que reúnen las características más aproximadas al amplificador ideal, como son: bajo consumo, gran rango de respuesta, impedancia de entrada muy alta, impedancia de salida muy baja (inclusive con protección a corto por tiempo indefinido), ganancia ajustable desde uno hasta mil ó más, etc.

El sistema de acoplamiento propuesto se muestra en bloques en la figura A6 y su circuito electrónico se detalla en la figura B6.

La señal aplicada al filtro, llega a un amplificador operacional de uso general en la configuración básica de seguidor de voltaje acoplada através de un capacitor de tantalio para evitar al máximo fugas de corriente, este amplificador con retroalimentación negativa proporciona la impedancia de entrada alta y suministra suficiente corriente a la señal para las etapas posteriores que forman el circuito de control de ganancia con un segundo amplificador, pero en cuyo caso la retroalimentación es limitada por un potenciómetro el cual se localiza en el panel de control. Es posible controlar la ganancia de este segundo amplificador desde uno hasta diez, lo cual es un margen aceptable para la mayoría de las señales que se le suministran al filtro en la etapa experimental.

Para conocer el nivel de las señales suministradas al filtro, en la etapa de entrada se ha incluido un detector de nivel formado por comparadores de voltaje que ejercen un switcheo sobre una serie

de leds indicadores; con ello podremos evitar la saturación de los componentes del filtro por señales con nivel de voltaje demasiado elevado.

En esta etapa deben de considerarse los valores máximos y mínimos de la señal a filtrarse, pues de lo contrario señales muy tenues no podrán ser detectadas por el filtro, y por otro lado aquellas que sobrepasen ciertos límites ocasionarán lecturas erróneas e inclusive daños irreparables al circuito.

Una vez acoplado el filtro a esta señal de entrada, hay que tener en cuenta que la señal puede tener ciertas variaciones continuas en el tiempo como sucede en las señales analógicas, por lo cual debemos convertirla a señal discreta ó digitalizarla para evitar errores en el frecuencímetro. El convertidor analógico-digital forma parte del frecuencímetro pero es una etapa de acoplamiento de entrada constituida por un comparador operacional cuya referencia es cero.

Se puede perfeccionar ésta etapa con un circuito compresor. Evitando así que señales de mucha ganancia perjudiquen el funcionamiento del sistema. Este circuito de control automático de ganancia se deja a criterio de la aplicación que se requiera del filtro.

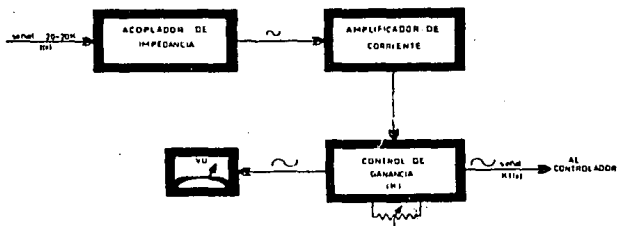
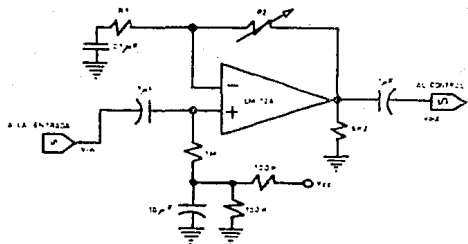


Fig. A6: Diagrama a bloques del acoplador de entrada.



$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Fig. B6: Diagrama electrónico del acoplador de entrada.

6.9 Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación es una fuente sencilla regulada, la regulación de voltaje de alimentación se efectúa mediante un circuito integrado del tipo LM78XX capaz de proporcionar una corriente total de más de un amperio. A pesar de que el consumo total del circuito no excede esta corriente, se diseña el prototipo utilizando dos reguladores, evitando de esta forma calentamiento excesivo del dispositivo. Para las etapas de acoplamiento se provee a los circuitos de una fuente simétrica de más-menos 12 volts, con el fin de alimentar los amplificadores operacionales. El objeto de manejar este voltaje, es el de permitir amplificación tanto de señales positivas como de señales negativas, además de que los circuitos mejoran notablemente sus características a mayor voltaje de alimentación sin exceder los límites asignados por el fabricante.

El voltaje de línea es reducido por un transformador y pasa a través de un puente de diodos, permitiendo así la rectificación de ciclos completos, no obstante es necesario la colocación de un capacitor electrolítico de un valor elevado (mínimo 1000 microfaradios) para eliminar el rizado, así como dos pequeños capacitores de cerámica que sirven como filtro de altas frecuencias parásitas en la línea.

La fuente de alimentación resulta sumamente simplificada con el uso de reguladores integrados, sin embargo puede utilizarse una fuente más sofisticada, por ejemplo una fuente de switcheo, ideal para el manejo de circuitos de conmutación. Se considera que esta alternativa no es necesaria debido a que el diseño se concentra en el filtro y su funcionamiento, dando por hecho que la alimentación de los circuitos integrados reúne todas las características necesarias para su óptima operación.

El esquema a bloques de la figura A7 muestra las fuentes

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

reguladas a más 5 volts para los circuitos integrados TTL y simétrica a más-menos 12 volts para los amplificadores operacionales. El circuito electrónico se muestra en la figura B7.

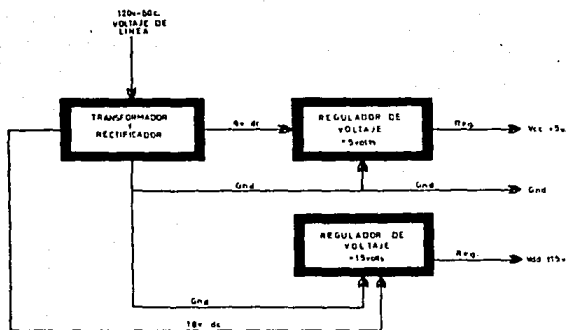


Fig. A7: Diagrama a bloques de la fuente de alimentación.

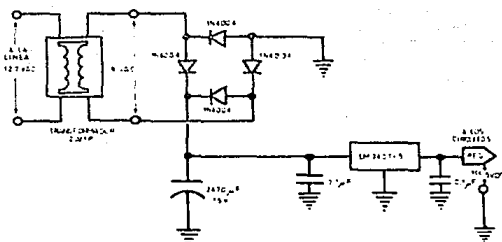


Fig. B7: Diagrama electrónico de la fuente de alimentación.

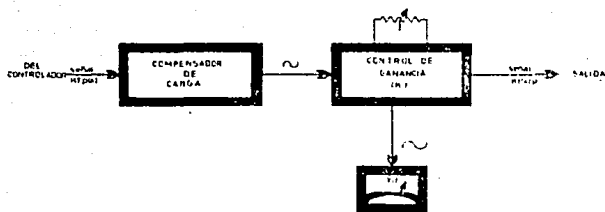


Fig. A8: Diagrama a bloques del acoplador de salida.

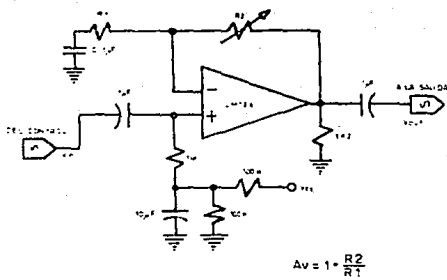


Fig. 88: Diagramas electrónicos del acoplador de salida.

6.11 Diseño de los circuitos impresos.

El prototipo de filtro digital programable "por codificación", tema de este trabajo; posee un gran número de circuitos integrados con compuertas lógicas básicas, por lo que se hace necesaria su división en tres tarjetas impresas que alojan todos los componentes y un panel de controles con carátula al exterior.

Los circuitos impresos se diseñan de doble cara y con perforaciones puente llamado normalmente impreso "true hold" reduciéndose así el tamaño de las tarjetas y anulándose los puentes, debido a que el gran número de líneas principalmente en el comparador, hace imposible la realización de éste circuito impreso a una sola cara.

A continuación se muestran los circuitos impresos a tamaño real (escala 1:1), en ellos se pueden observar en color negro las pistas sobre la cara que se examina. Además se detalla el ensamble de componentes sobre dichos circuitos impresos (montaje mecánico), y se anexa una lista de componentes.

Circuito impreso FDP-A.

En esta tarjeta están contenidos los bloques del frecuencímetro y los contadores que almacenan el programa, los comparadores, además de una parte del multiplexado de la información, la cual mediante conectores es enlazada a las tarjetas FDP-B y FDP-D transmitiendo canales con datos y señales de control.

Circuito impreso FDP-B.

En esta tarjeta se localizan los circuitos multiplexores que despliegan la información seleccionada en los displays de la

carátula, el sistema de renovación de la carátula, el programador, el controlador maestro de corte y paso, y los reguladores de 5 Volts.

Circuito impreso FDP-C.

Este circuito impreso ha sido diseñado para contener todos los elementos de control del filtro, como son; interruptores, potenciómetros, y todos los de despliegue como pueden ser indicadores, displays, etc.. Esta tarjeta se sitúa al frente del equipo y se le superpone una carátula, formando así el panel principal de controles y estado del sistema. Esta tarjeta es interconectada con las tarjetas FDP-B através de conectores planos. El detalle de conexión de todas estas líneas se muestra a continuación, además de la lista de componentes necesarios.

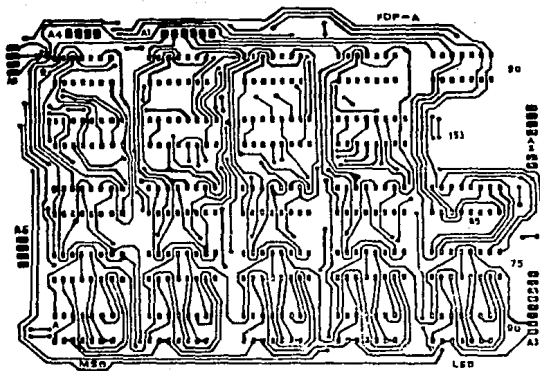


Fig. 6.8: Circuito impresso FDP-A cara superior.

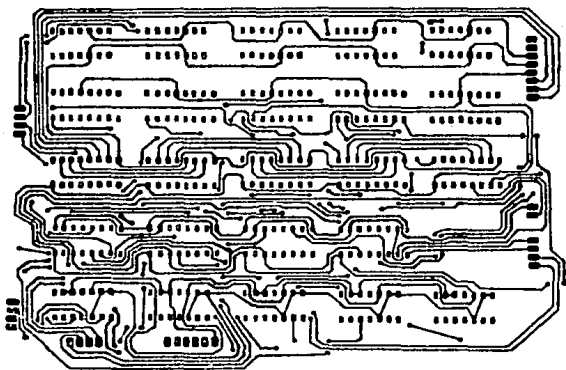


Fig. 6.9: Circuito impreso FDP-A cara inferior.

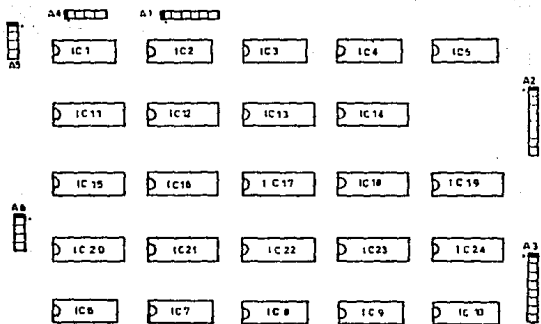


Fig. 6.10: Ensamble de componentes tarjeta FDP-A.

Lista de componentes de la tarjeta FDP-A:

Circuitos integrados:

IC1-IC10	SN74LS90
IC11-IC14	SN74LS153
IC15-IC19	SN74LS85
IC20-IC24	SN74LS75

Conectores:

A1	6 conexiones
A2-A3	8 conexiones
A4-A6	4 conexiones

Circuito impreso:

Tarjeta FDP-A

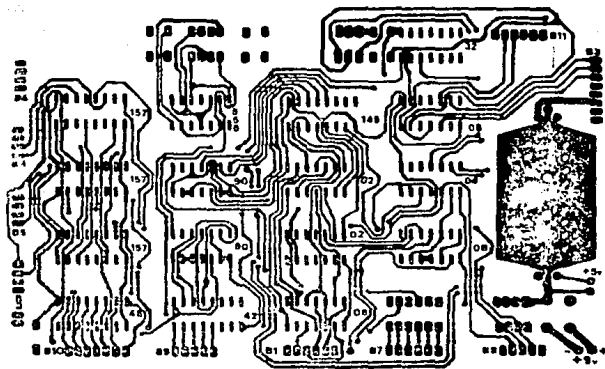


Fig. 6.11: Circuito impresso FDP-B cara superior.

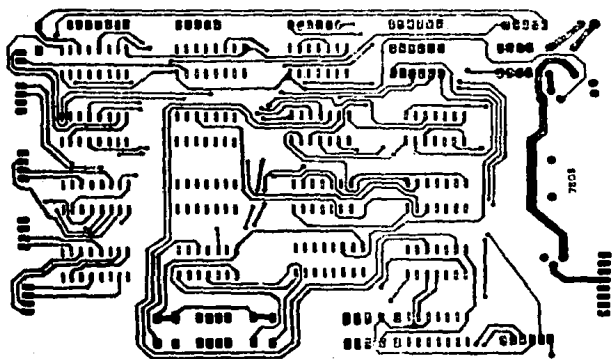


Fig. 6.12: Circuito impreso FDP-B cara inferior.

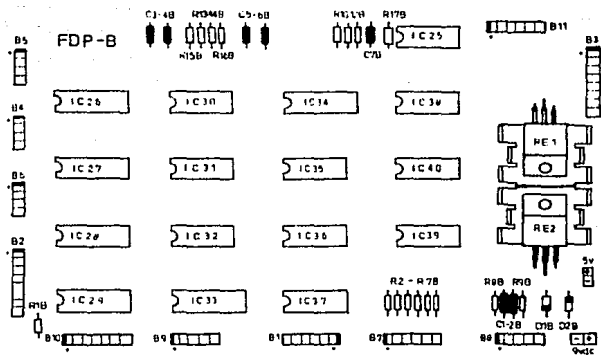


Fig. 6.13: Ensamble de componentes tarjeta FDP-B.

Lista de componentes de la tarjeta FDP-B:

Circuitos integrados:

IC25	SN74LS32
IC26-IC28	SN74LS157
IC29	SN7448
IC30	LM556
IC31-IC32	SN74LS90
IC33	SN7442
IC34	SN74145
IC35-IC36	SN74LS02
IC37-IC39	SN74LS08
IC40	SN74LS04

Semiconductores:

RE1-RE2	MS7805
D1B-D2B	BY4001

Resistencias:

R1B	1 Kohms
R2B-R7B	330 ohms
R8B-R9B	270 ohms
R10B-R12B	330 ohms
R13B-R14B	47 Kohms
R15B	27 Kohms
R16B	22 Kohms
R17B	1 Kohms

Capacitores:

C1B-C2B	10 microfaradios a 10 Volts
C3B, C6B	0.01 microfaradios
C4B	10 microfaradios a 10 Volts
C5B	0.01 microfaradios
C7B	6.8 picofaradios

Conectores:

B1, B7, B11	6 conexiones
B2-B3	8 conexiones
B4-B6	4 conexiones
B8-B9	5 conexiones
B10	7 conexiones

Circuito impreso:

Tarjeta FDP-B

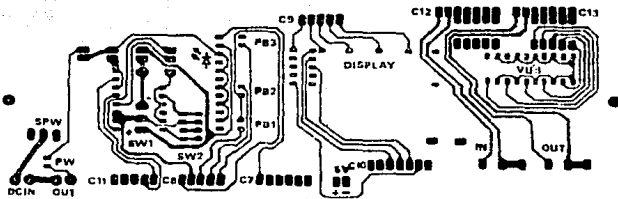


Fig. 6.14: Circuito impreso FDP-C cara superior.

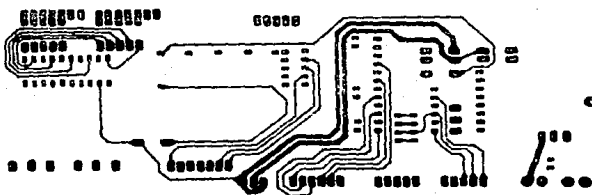


Fig. 6.15: circuito impresso FDP-C cara inferior.

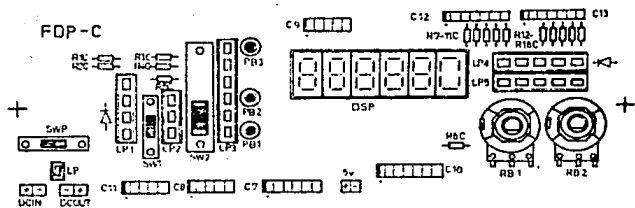


Fig. 6.16: Ensemble de composants tarjeta FDP-C.

Lista de componentes de la tarjeta FDP-C:

Resistencias:

R1C, R5C	1 Kohms
R2C-R4C	330 ohms
R6C	220 ohms
R7C-R16C	330 ohms
RB1-RB2	100 Kohms (potenciómetros lineales)

LED's:

LP	1 rojo	LP3	6 en barra
LP1	4 en barra	LP4-LP5	5 en barra
LP2	3 en barra		

Conectores:

C7	6 conexiones
C8-C9, C11	5 conexiones
C10, C12-C13	7 conexiones

Switches:

P1-P3	Push-botom NA.
SWP-SW1	3P2T
SW2	4P3T

Displays:

DSP	5 FND70326 ceg. comunes
	1 cero constante

Circuito impreso: Tarjeta FDP-C

CAPITULO VII

PRUEBAS EXPERIMENTALES

VII. PRUEBAS EXPERIMENTALES

7.1 Metodología de pruebas.

En el presente capítulo se hace un reporte lo más detallado posible del comportamiento de los filtros experimentales (sus resultados se tratarán en el capítulo VIII), la forma de calibrar estos filtros, ajustar disparos de circuitos monoestables, niveles de señal, etc. Permitiendo de esta manera comprobar el funcionamiento del filtro prototipo tratado en este trabajo, así como su calibración y puesta a punto.

El equipo a utilizar es el siguiente:

1) Para el ensamble del filtro:

Tarjetas de los circuitos impresos y componentes electrónicos, taladro, cautín, pinzas de punta, pinzas de corte, soldadura, cable, conectores, gabinete, fuente de alimentación de +15 y -15 volts de CD a 1 amper, diagramas de montaje mecánico y diagramas de conexiones.

2) Para las pruebas y ajustes:

Frecuencímetro digital, generador de funciones, osciloscopio, analizador de espectros, multímetro digital y el prototipo del filtro digital.

7.2 Ensamble de componentes.

En el ensamble de los componentes electrónicos sobre los circuitos impresos se seguirá el procedimiento que se marca a continuación: Lo primero que se hará es soldar todos los elementos pasivos de una tarjeta (resistencias, condensadores, etc.), posteriormente se soldarán los circuitos integrados y por último

los cables o alambres de conexión. Este orden se seguirá para todas las tarjetas.

Se debe asegurar la correcta polarización de los semiconductores y los capacitores electrolíticos. Todos los conectores deben estar perfectamente identificados y los potenciómetros al centro de su escala. Los reguladores deben hacer un contacto perfecto con los disipadores y evitar que éstos tengan contacto con alguna terminal o pista.

Como último paso se ensamblan todos los componentes del panel de controles, no olvidando dejar el switch de encendido en la posición de apagado. Como siguiente paso se conecta la fuente de alimentación de CD al circuito y se enciende. El consumo total de corriente no debe exceder de 1 amper, si no ocurre esto, se desconecta inmediatamente la fuente de alimentación del circuito y se verifica algún posible desperfecto en las soldaduras.

Con el multímetro en escala de 20 volts de CD se prueba el voltaje en las terminales #3 de los reguladores 7805 de la tarjeta FDP-B, el instrumento deberá indicar 5 volts, de lo contrario se verifica que el switch de encendido este en la posición correcta y que los diodos D1B y D2B estén correctamente polarizados.

Colocar el switch de programación en la posición programa y oprimir simultáneamente los opturadores PB1 y PB2, en el display deberá aparecer la lectura "000000", de lo contrario colocar la punta del osciloscopio en las terminales #2 de los circuitos integrados IC1 a IC5; en todas ellas deberá existir un nivel lógico alto al oprimir estos dos pulsadores, y un nivel lógico bajo al desactivarlo.

Oprimir el obturador PB2 (next) hasta seleccionar el dígito que se desea alterar, un diodo emisor de luz (LED) indicará el número de dígito habilitado para su programación. A la salida de

este pulsador deberá existir un pulso de aproximadamente 1 Hz, cuya frecuencia podrá modificarse alterando el valor de la resistencia R13B en la tarjeta FDP-B que establece el tiempo de descarga del capacitor en el oscilador contenido en medio del circuito IC30.

Posteriormente se oprime el pulsador PB1 (set) hasta obtener el dígito deseado. Repetir estos dos últimos pasos hasta terminar toda la programación. Se debe tener en cuenta que se programa el período de la señal en microsegundos. Al finalizar la programación se debe un cerciorar de que el LED indicador de "ready" este encendido.

Colocar el switch de tipo de corte en la posición deseada para indicar el filtrado, "<" para pasa altas, "=" para paso único ó ">" para pasa bajas; un LED debe indicar la posición seleccionada. Regresar el selector a la posición "run".

7.3 Aplicación de una señal al filtro.

Se selecciona en el generador de funciones una señal cuadrada de 1000 Hz con un voltaje de pico de 1 Volt y se aplica en la entrada denominada "frecuencia in", se programa el filtro con un período de 1000 microsegundos. Situar el selector en la posición "=" y seleccionar "run". El indicador de paso estará activado y la salida de control "out" estará en un nivel uno lógico. Variar la frecuencia en el generador de funciones y se obtendrá una lectura de "cut" al salir la frecuencia de 1000 Hz por 10 microsegundos arriba o abajo; el estado de "control out" será ahora de un nivel cero lógico.

En caso de que se presente algún error verificar la salida del detector de cruce por cero (terminal 7 del circuito LM311) y el disparo del monostable. El período de la señal obtenida en este punto deberá ser idéntico al proporcionado por el generador de

funciones a la entrada del filtro, pero con un voltaje de pico entre 2 y 5 Volts y la señal cuadrada que se inyectora.

Con un frecuencímetro digital externo, verificar a la salida del generador de funciones que la señal que nos entrega éste, tiene la frecuencia exacta que nosotros elegimos. Con un voltmetro ajustar la salida hasta obtener la lectura de cero db. a esta señal de 1000 Hz y tomar la lectura de frecuencia y voltaje nuevamente en el momento de corte, para verificar el funcionamiento en ambos casos.

En el capítulo siguiente se detallarán las pruebas paso a paso que deberán efectuarse al filtro para determinar su calidad, rechazo, distorsión, etc. y de esta manera evaluar resultados.

CAPITULO VIII

RESULTADOS

VIII. RESULTADOS

Después del diseño del filtro, la parte más importante es la evaluación de los resultados obtenidos, y en el presente capítulo nos ocuparemos de todos estos aspectos.

De manera muy especial resaltaremos que la evaluación de resultados en este filtro, no puede realizarse de la misma forma que en los filtros convencionales debido a sus características tan peculiares, por ello, se tratará de seguir un método comparativo con pruebas a las que se someten otros filtros como los filtros pasivos y los filtros activos, sin que esto signifique que los comportamientos ante una señal sean comparativos en todos aspectos. Esto implica la adopción de nuevos criterios de evaluación. La determinación de estos criterios son resultado de una investigación y deben considerarse meramente hipotéticos, ya que este tipo de filtros aún se encuentran en su fase experimental.

B.1 Rechazo y pendiente del filtro.

El criterio para determinar la pendiente de corte del filtro será muy similar al comúnmente utilizado, esto es, se considerará una frecuencia por debajo del rango programado muy aproximada a la frecuencia de corte del filtro; esa frecuencia se considerará como cero decibeles, se variará la frecuencia suministrada al filtro hasta que se produzca el corte, en ese punto se hará la lectura tanto en decibeles de atenuación como de la frecuencia. Para obtener una gráfica de estos resultados, se hará en papel semi-logarítmico (logarítmico en el eje vertical y lineal en el eje horizontal), barriendo una señal senoidal pura desde la frecuencia menor a la que responda el filtro hasta la más alta y tomando lecturas de ganancia para cada frecuencia. La sucesión de estos puntos dará una respuesta de corte en la cual se puede calcular de

forma gráfica la pendiente del filtro.

Por otro lado el criterio analítico a seguir será el siguiente:

- 1.-Se considerará que el filtro tiene dos estados únicos: conducción (paso) y rechazo (corte). La atenuación de la señal se efectúa en el elemento de swicheo, cuyo estado de conducción (switch-on) determina los cero dbs. y el de corte (switch-off) determina la máxima atenuación dada por:

$$20 \text{ Log } \frac{V_{out}}{V_{in}} = \text{GANANCIA (decibeles)}$$

- 2.-La resistencia del elemento de swicheo se considerará en ambos estados analizada por separado. "Ron" para conducción y "Roff" para corte dentro de todo el rango de operación del filtro.
- 3.-El análisis de la configuración del controlador determinará los voltajes de la señal en ambos estados, y éstos voltajes serán sustituidos en la ecuación del punto número uno.

B.2 Determinación de la pendiente por el método analítico.

En base a lo establecido anteriormente, procederemos a calcular la pendiente del filtro calculando su atenuación a las frecuencias cortadas:

- 1.-Resistencia del switch en estado de conducción = 300 Ohms.
Resistencia del switch en estado de corte = 10 Megahms.
Voltaje pico a pico de la señal de entrada = 10 Volts.
Rango de respuesta de 10 a 30000 Hertz.
Tipo de señal senoidal pura.

$$\text{Ganancia} = 20 \text{ Log } \frac{V_{out}}{10 \text{ Volts}}$$

2.-Consideración de resistencias en ambos estados:

$$V_{out} = \frac{V_{in} \times R_{sw1}}{R_{sw2} + R_{sw1}}$$

Donde:

En estado de corte:

$$R_{sw1} = 300 \text{ Ohms}$$

$$R_{sw2} = 10 \text{ Megohms}$$

En estado de conducción:

$$R_{sw1} = 10 \text{ Megohms}$$

$$R_{sw2} = 300 \text{ Ohms}$$

3.-Cálculo de voltajes a la salida del filtro en base a su configuración:

Para corte:

$$V_{out} = \frac{V_{in} \times R_{sw1}}{R_{sw2} + R_{sw1}}$$

$$= \frac{10 \text{ Volts} \times 300 \text{ Ohms}}{10 \text{ Mohms} + 300 \text{ Ohms}} = \frac{3}{10000} \text{ Volts}$$

Para conducción:

$$V_{out} = \frac{10 \text{ Volts} \times 10 \text{ Mohms}}{300 \text{ Ohms} + 10 \text{ Mohms}} = \frac{100,000,000}{10,000,000} = 10 \text{ Volts}$$

Nivel de atenuación:

$$\begin{aligned} \text{Ganancia en corte} &= 20 \text{ Log} \frac{V_{out}}{V_{in}} = 20 \text{ Log} \frac{(3)/(10,000)}{10} \\ &= -90.45 \text{ Dbs.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ganancia en paso} &= 20 \text{ Log} \frac{V_{out}}{V_{in}} = 20 \text{ Log} \frac{10}{10} \\ &= 20 \text{ Log } 1 = 0 \text{ Dbs.} \end{aligned}$$

El criterio para determinar la calidad (Q) del filtro será el siguiente:

- 1.-Se determina una frecuencia central o frecuencia de corte a la que es programado el filtro en paso único.
- 2.-Se toman las frecuencias superior e inferior a la de corte en las cuales la atenuación del switch alcanza por lo menos 90 dbs.
- 3.-Se determina la calidad del filtro al mínimo de su respuesta:

$$\text{Calidad} = \frac{\text{frec. Única}}{\text{frec. sup.} - \text{frec. inf.}} \quad \text{a 90 dbs. de atenuación.}$$

4.-Se vuelve a determinar la calidad (Q) del filtro al máximo de su respuesta.

5.-Se obtiene la media aritmética de ambas mediciones, obteniendo así una calidad (Q) promedio en el rango de respuesta programable.

Un segundo método alternativo sería el de obtener la calidad (Q) del filtro en la frecuencia central de su rango de respuesta, si se considera que los intervalos de programación del filtro son cantidades a intervalos iguales (programación discreta), y estos intervalos comparativamente con la frecuencia programada son muy pequeños, podemos entonces considerarlos como diferenciales de la frecuencia de corte calculando la calidad (Q) del filtro como:

$$\begin{aligned} \text{Calidad (Q)} &= \frac{\text{frec. Única}}{f.Única + d(f.Única) - [f.Única - d(f.Única)]} \\ &= \frac{\text{frec. Única}}{2 d(\text{frec. Única})} \end{aligned}$$

de lo que se concluye que:

$$2Q = \frac{\text{frecuencia}}{d(\text{frecuencia})}$$

esto quiere decir que la calidad (Q) del filtro digital es igual a un medio de la diferencial de frecuencia.

B.3 Evaluación de resultados.

De una forma conservadora, se pueden evaluar los resultados obtenidos en las mediciones como muy superiores a los resultados obtenidos en el comportamiento de los filtros desarrollados hasta la fecha. Sin embargo interviene una aclaración muy importante dentro de estas evaluaciones.

Las pruebas a las que se sometió el filtro fueron seleccionadas conociendo las características del mismo. En forma general, hay que analizar el caso específico de cada aplicación del filtro, pues no con todas las señales se comporta de la misma manera, ni su respuesta es igual. Esto quiere decir que el circuito desarrollado en este trabajo puede considerarse como filtro únicamente ante señales con ciertas características.

El circuito desarrollado es ideal para el manejo de señales digitales, donde serán suprimidos los semiciclos positivos ó unos (1's) lógicos cuyo intervalo sea menor al programado en el filtro. Esto da una amplia aplicación del filtro digital a las comunicaciones digitales (transmisión de datos), a la detección de errores y a la conmutación por frecuencias de enganche.

B.4 Distorsión y otros problemas.

Es muy importante aclarar que la distorsión de la señal alimentada al filtro puede ser de dos tipos: Distorsión en la conmutación de la señal ó distorsión en la amplitud y fase. Los elementos del filtro capaces de generar estas distorsiones son los acopladores de entrada y salida, cuya respuesta a la frecuencia puede alterar considerablemente a la señal. Para evitar esto, el diseño de las etapas de acoplamiento se ha basado en la utilización de circuitos amplificadores operacionales cuya relación señal a ruido y distorsión es muy baja.

Es necesario considerar que los acoplamientos de impedancia entre una etapa y otra es el punto más delicado de la parte analógica, para evitar al máximo distorsiones por capacitancias o bajas impedancias que producirán alteraciones a la señal, se han acoplado los circuitos através de seguidores de voltaje que presentan impedancias de entrada muy elevada y ganancia en voltaje unitaria.

La distorsión más importante en el filtro, se produce en el momento de la conmutación, esta distorsión es generada por la transición del switch de un estado a otro. Cuando esta transición se efectúa a altas frecuencias, el sobredisparo del switch produce una alteración en la señal conmutada, pero aún más delicado es cuando la señal supera la frecuencia programada y el filtro actúa interrumpiendola en su trayectoria de oscilación, generando un armónico de la frecuencia a la que el filtro ha sido programado. Este es uno de los principales problemas que aún quedan por resolver en el diseño de los filtros digitales, cuando carecen de un elemento de retardo al almacenamiento de la señal y deben de actuar paralelamente a la señal suministrada.

CONCLUSIONES

El diseño fue realizado partiendo de compuertas básicas en circuitos integrados comerciales, lo que dificultó la optimización y puesta a punto del prototipo de filtro desarrollado; no obstante, un diseño con circuitos lógicos por sencillo que parezca debe probarse ya sea por etapas o en su totalidad, pues no siempre se obtienen los resultados teóricos de la tabla de verdad, a causa de factores que alteran el funcionamiento de las compuertas. Estos factores ajenos a la lógica de funcionamiento generalmente se producen por un mal diseño del ensamble de componentes, excesivas cargas a los circuitos o fuentes de alimentación deficientes.

Los resultados obtenidos en el diseño del filtro deben ser analizados separadamente de los obtenidos en su aplicación como tal, aunque en ocasiones el diseño determine o limite sus aplicaciones.

Es muy riesgoso asegurar que un circuito experimental dará buenos resultados en una aplicación determinada. La correcta operación de un circuito digital en tableta experimental de laboratorio proto-board, no garantiza su correcto funcionamiento en un montaje sobre circuito impreso, si no se diseña con mucho cuidado éste, ni se toman en cuenta sus características.

La buena calidad de un circuito impreso ahorrará muchas horas de trabajo en la puesta a punto de un prototipo, donde las fallas no se pueden deber únicamente a un falso contacto sino también a un mal diseño.

El circuito impreso requiere de muchas horas de dedicación pero es indispensable si se pretende realizar un trabajo completo y con factibilidad de producción. En la realización de circuitos con gran densidad de componentes y líneas de interconexión, es muy

recomendable la utilización de circuitos impresos de doble cara de tipo "thru-hole".

La calidad de un filtro pasa a ser un parámetro modificable desde el momento en que su ancho de banda y ventana es programable, por lo cual es necesario determinar la calidad a una frecuencia única.

Es necesario proveer al convertidor analógico-digital de un control automático de ganancia para evitar la saturación del amplificador de entrada antes del detector de cruce por cero.

Considerando la definición del filtro como: Un dispositivo selectivo que transmite una parte del espectro de frecuencia atenuando el resto. Existen los elementos suficientes para considerar este circuito como filtro ante ciertas señales, aunque su comportamiento no se represente matemáticamente igual al de un filtro tradicional ni en el dominio del tiempo ni de la frecuencia.

El circuito de conversión analógico-digital limita en gran medida no solo el tipo de señales a las que responde el filtro, sino también la distorsión sobre las mismas.

Para la digitalización completa de la señal, es necesario su almacenamiento temporal en algún dispositivo de memoria, para posteriormente procesarla.

Por otro lado, para que el filtro responda al comportamiento matemático establecido por una serie de Fourier, es necesario el seguimiento de la señal de entrada, su integración y la composición artificial de la señal de salida del filtro.

Es necesario el establecimiento de un estándar para la evaluación de los filtros digitales, así como una definición precisa de su función para considerarlos o no como digitales.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Modern Filter Theory and Design
Gabor C. Temes, Sanjit K. Mitra
Editorial Wiley Interscience.
- 2.- Digital Filter Design Handbook
Fred J. Taylor
Editorial Marcel Dekker, Inc.
- 3.- Digital Filters: Analysis and Design
Andreas Antoniou
Editorial Mc. Graw Hill
- 4.- Digital Filters and The Fast Fourier Transform
Lin Bede
Editorial Dowden, Hutchinson and Ross, Inc.
- 5.- Fundamentals of electronic devices
Ronald J. Tocci - Monroe Community College
Editorial Mrrill.
- 6.- Circuitos electrónicos de conmutación
S. M. Bozic, R. M. H. Cheng, J. D. Parsons
Editorial Gustavo Gili S. A.
- 7.- Diseño de lógica digital
B. Holdsworth - Chelsea College
Editorial Gustavo Gili S. A.
- 8.- Filtros Digitales Programables
Lin
Editorial T. URM.

- 9.- The TTL data book for design engineers
Texas Instruments Incorporated.
- 10.-The optoelectronics data book for design engineers
Texas Instruments Incorporated.
- 11.-The linear control circuits data book for design engineers
Texas Instruments Incorporated.