



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL TUCUMÁN**

Ingeniería Electrónica – Medidas Electrónicas II

**"Frecuencímetro Digital
de Alta Frecuencia"**

**Ing. J.C. Colombo
Prof. Medidas Electrónicas II
13/09/12**

Introducción

Para dar continuidad al tema frecuencímetro digital, en esta segunda parte se trata sobre los frecuencímetros de frecuencia elevada, del orden de los GHZ. A partir del putnom7) de Frecuencímetro Digital se continúa con la numeración creciente.

8.- Mediciones en alta frecuencia

Un contador de frecuencia, que es un instrumento digital, se limita en su frecuencia al rango de la velocidad de sus circuitos lógicos. Hoy en día el estado del arte en la lógica de alta velocidad permite la construcción de los contadores con un rango de frecuencia de alrededor de 500 MHz. Los constantes avances en la tecnología IC permite extenderse más allá de este rango, al orden de GHZ.

A los fines de ampliar el rango de medición de frecuencia por arriba de 500 MHz. Cuatro son las técnicas disponibles para proporcionar la conversión de frecuencia:

1. Prescaling, con un rango de 1,5 GHZ;
2. Heterodyne Converter – Convertidor Heterodino, que permite mediciones de hasta 20 GHZ;
3. Transfer Oscillator - Oscilador de transferencia, utilizados en los contadores con rangos de hasta 23 GHZ;
4. Harmonic Heterodyne Converter – Convertidor Heterodino de Armónicas, puede proporcionar mediciones a 40 GHZ.

Las distintas técnicas de conteo vistas anteriormente son válidas en frecuencias de hasta 500 MHz, para frecuencias superiores existen tres métodos principales para medirlas, ellos son: Convertidores de frecuencia; Divisores de frecuencia (Prescalers) y Osciladores tipo transfer (TO).

En general se necesita de unidades convertidoras de frecuencia que transforman la frecuencia de la señal de entrada en otra proporcional o más baja capaz de ser medida por un contador convencional.

8a) Prescaling – Divisores de frecuencia (Prescalers)

Los divisores de frecuencia con elementos sencillos ya que su funcionamiento consiste en dividir la frecuencia por un factor conocido y luego multiplicar la lectura por el mismo factor. Otras veces se divide la frecuencia del oscilador de referencia por un factor idéntico, antes de aplicarlo a los divisores de la base de tiempo, con lo que la relación de frecuencias permanece constante.

De manera que Prescaling implica una simple división de la frecuencia de entrada resultando en señales de baja frecuencia que pueden ser contadas en los circuitos digitales. La medición de frecuencia por la sección contadora relaciona la entrada simple con un número entero N . Una exhibición de la frecuencia correcta se lleva a cabo multiplicando el contenido del contador por N o incrementando el tiempo de apertura de la compuerta del contador por un factor de N . Por lo general, el rango de N varía entre 2 a 16.

La Figura 19) muestra el diagrama de bloques de un contador de alta frecuencia utilizando prescaling como técnica de conversión. La señal de entrada es acondicionado para interactuar correctamente con el circuito de prescaling, y entonces recién se divide por un factor entero N

antes de entrar a la puerta principal. Más allá de este punto, el diagrama de bloques se parece a un contador convencional, con la puerta principal que se abre y se cierra (por la acción de un flip-flop) en el tiempo preciso determinado por el cristal de la base de tiempo del instrumento. La década contadora (DCA) ahora acumula las mediciones de frecuencia por debajo de 500 MHz, la cual se multiplica por N y se transmite al display para su presentación.

Contadores de frecuencia modernos, utilizando esta técnica son capaces de medir por encima de 1,0 GHz. Los desarrollos recientes en tecnología de estado sólido permite ampliar este rango al rango de las microondas bajas.

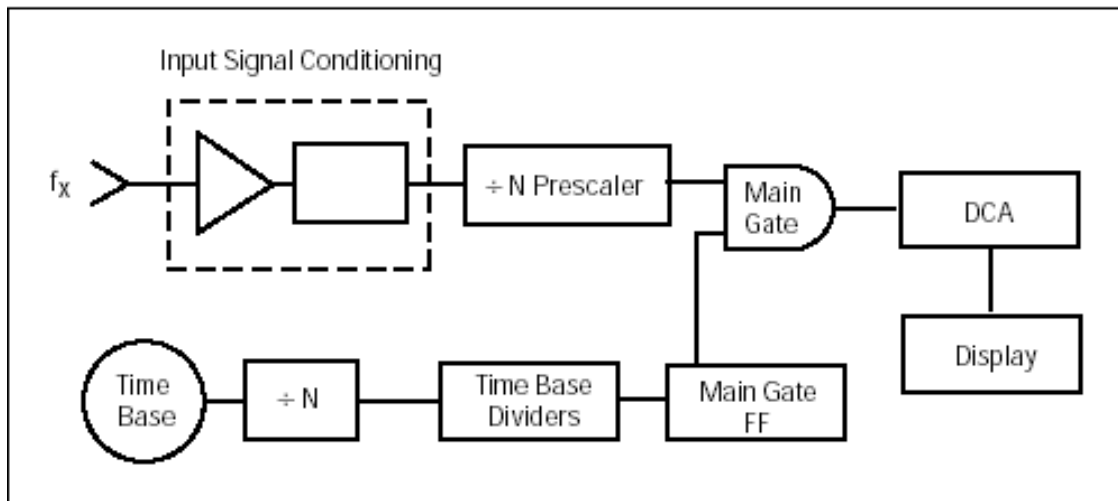


Figura 19.- Diagrama en Bloque de un contador de alta frecuencia utilizando prescaler para conversión de frecuencia

8b) Conversión de frecuencia por heterodinación

Basados en el principio de heterodinación, es el método más sencillo para medir frecuencias ya que se basa en principios similares a la sintonía de un receptor de radio, como lo indica la Figura 20) siguiente:

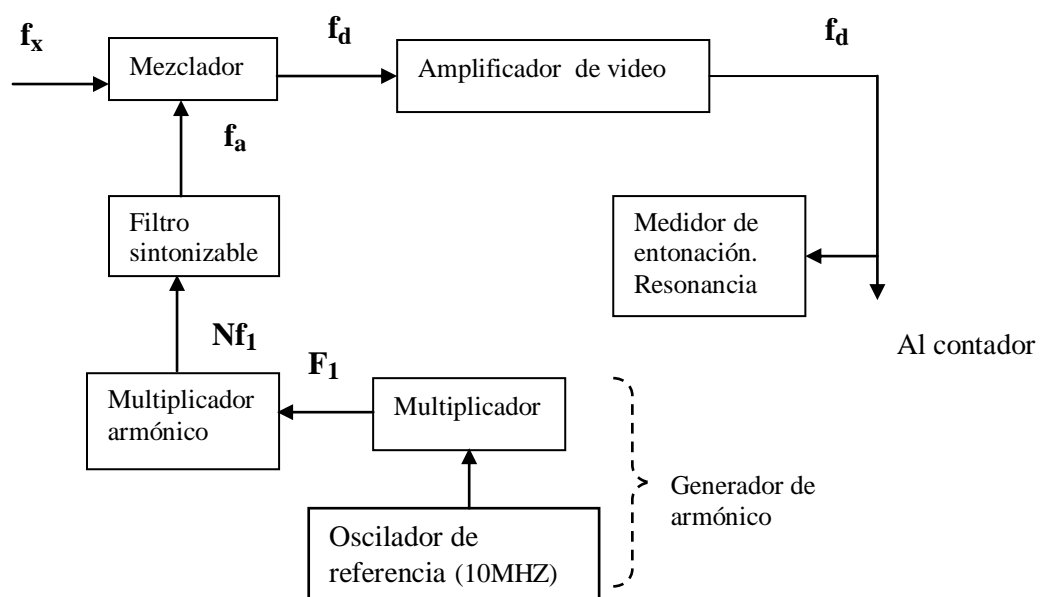


Figura 20.- Convertidor heterodino

El oscilador de referencia del contador se utiliza para que mediante un proceso de generación de armónicos y sintonía de la frecuencia seleccionada, se obtenga una frecuencia f_a que mezclada con la señal de entrada desconocida f_x se convierta o traslade a una frecuencia intermedia f_d dentro de rango de medición del contador. La frecuencia intermedia también se conoce como frecuencia diferencia. La frecuencia f_a se selecciona multiplicando la frecuencia de la base de tiempo a una frecuencia conveniente f_1 , generalmente la máxima frecuencia que el contador puede manejar directamente, por ejemplo 10 o 20 MHz, y luego se pasa esta señal por un generador armónico. La armónica $Nf_1 = f_a$, con N entero, se selecciona por una cavidad resonante que actúa como un filtro sintonizable y luego se pasa al mezclador. La señal resultante de la diferencia de frecuencias $f_d = f_x - f_a$ se pasa por un amplificador de FI y se mide con el contador. La frecuencia f_a se selecciona en la operación del equipo y está relacionada con f_x . El medidor de entonación indica que la frecuencia elegida se ha obtenido.

Este método realizado con sintonía manual del filtro tiene grandes desventajas, en lo que respecta a la precisión en la medición como en la calibración del filtro sintonizable. Razón por la que Philips introduce el método de sintonía por filtro YIG (Yttrium - Iron - Garnet) que soluciona esta ambigüedad. El sistema Philips utiliza también el oscilador de referencia del contador, pero introduce un nuevo oscilador de 50 MHz sincronizado en fase con el anterior, como se observa en la Figura 21.

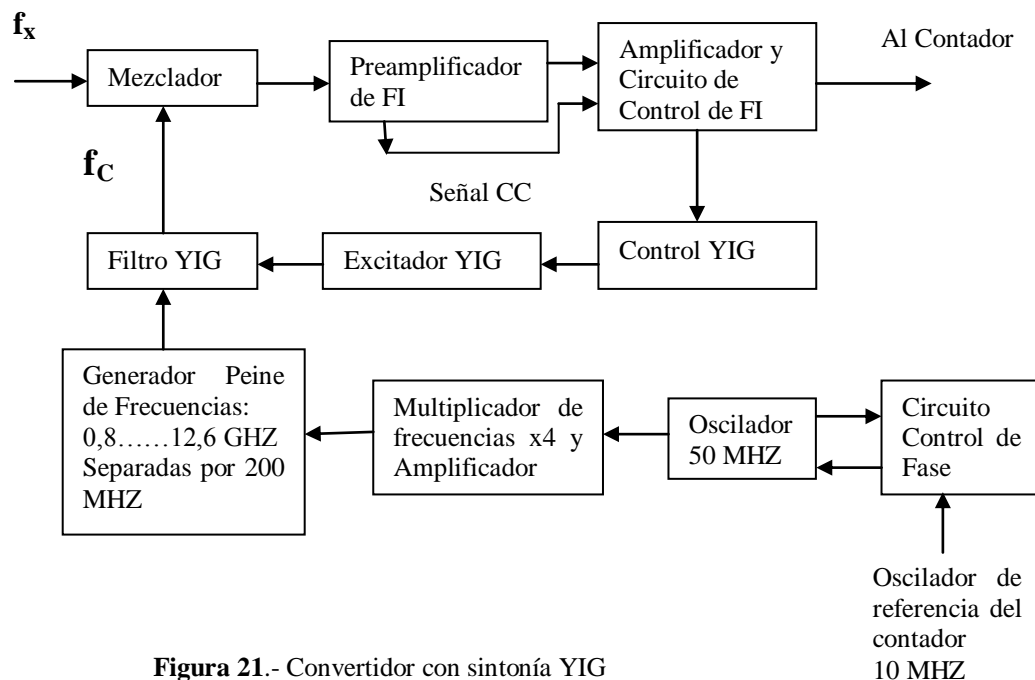


Figura 21.- Convertidor con sintonía YIG

Este esquema garantiza que la medición se realizará con la misma precisión y estabilidad que el contador convencional. La señal de 50 MHz se pasa a un multiplicador de frecuencia de la que se obtiene la frecuencia de 200 MHz. El generador peine de frecuencia produce una serie de armónicos de 0.8 a 12.6 GHz separados entre sí por intervalos discretos de 200 MHz.

Este conjunto de señales se aplican al filtro YIG, el cual sintoniza una de ellas y le pasa al mezclador mediante el método siguiente:

El circuito mezclador produce dos señales: una señal de C.C. cuyo nivel es proporcional a la potencia de la señal RF de entrada. Y una señal de FI cuya frecuencia es la diferencia de frecuencias entre la señal de RF y la señal dada por el Filtro YIG

La señal de CC aplicada al circuito de control del Filtro YIG, a través del control de FI, proporciona una señal escalera que sintoniza el filtro YIG a frecuencias discretas separadas a intervalos de 200 MHz. Cuando la salida del mezclador es una señal comprendida entre 10 MHz y 220 MHz, dentro de la banda pasante de los amplificadores de FI, se produce un enclavamiento de la señal de excitación del filtro YIG de modo que éste quede sintonizado a la frecuencia correcta.

Como la sintonía se ha realizado mediante una tensión escalón de CC resulta muy fácil añadir un convertidor A/D que nos de una lectura digital de la frecuencia de sintonía del filtro, sumando este valor con el valor de cuenta del frecuencímetro, no es más que la suma de dígitos codificados BCD, obtendremos una lectura directa del valor de la frecuencia.

En general, los convertidores de frecuencia por heterodinación **cubren el margen de 50 MHz a 21 GHz con sensibilidades de 50 mVrms a 100 mVrms.**

8c) Oscilador de transferencia – Oscilador tipo transfer (TO)

En contraste con el convertidor heterodino, el oscilador de transferencia mide la frecuencia f_x con una armónica de una oscilador local de frecuencia conocida. La información de frecuencia es “transferida al oscilador local”. Los convertidores tipo transfer utilizan un principio parecido al sistema de conversión heterodina, o sea el sistema de mezcla de la señal de entrada f_x con una señal generada internamente f_{LO} . La principal diferencia está en el hecho que, en el sistema heterodino, la señal medida es la resultante de la mezcla de señales ($f_{entrada} - f_{interna} = FI$), mientras que en los osciladores transfer se mide directamente **la señal interna** equivalente a la señal de entrada f_x .

El diagrama en bloques del oscilador de transferencia se indica en la Figura 22) siguiente:

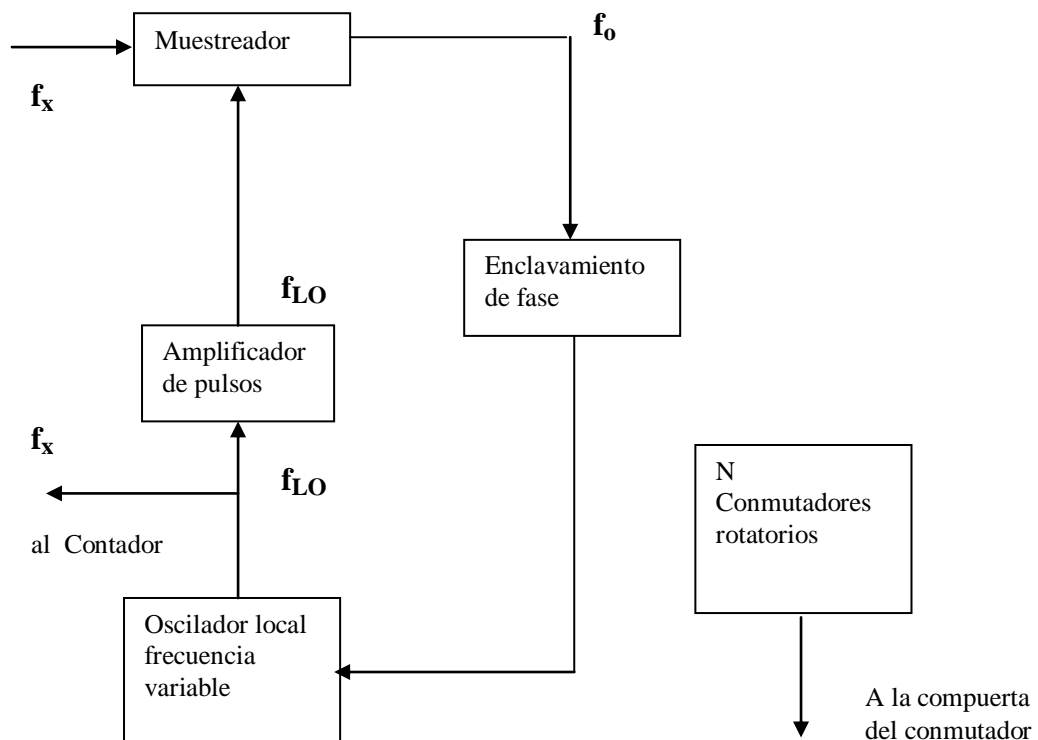


Figura 22. Operación básica de un oscilador de transferencia

El usuario para operarlo sintoniza el oscilador local para tener cero batido, por ejemplo $f_x = N \cdot f_{LO}$ y entonces cierra el bucle de enclavamiento de fase, luego se mide por medio del contador la frecuencia del oscilador local, pudiéndose obtener la lectura directa de f_x ampliando la compuerta del contador en un factor N .

Si f_x es completamente desconocido, también N lo es. Esta se puede determinar sintonizando el oscilador local al siguiente batido nulo, entonces

$$N f_{LO1} = (N - 1) f_{LO2}$$

En donde

$$f_{LO2} > f_{LO1}$$

por lo cual

$$N = \frac{f_{LO2}}{f_{LO2} - f_{LO1}}$$

Abriendo el bucle de enclavamiento de fase el oscilador de transferencia puede medir desviación en FM.

La técnica puede obtener cero batido de un oscilador local con la señal de entrada. El batido nulo se detecta en un osciloscopio.

En la tabla siguiente se dan características generales por convertidor heterodino y por oscilador de transferencia.

| Convertidor heterodino | Oscilador de transferencia |
|----------------------------|--|
| Exactitud, gran resolución | Ancho de banda grande |
| Buena tolerancia a FM | Alta sensibilidad |
| Puede medir pulsos de RF | Puede medir pulsos de RF. Desviación de frecuencia en FM y señales de AM |

Diagramas en bloques que amplían la ilustración de la Figura 22, se muestran en la Figuras 23 y 24) siguientes:

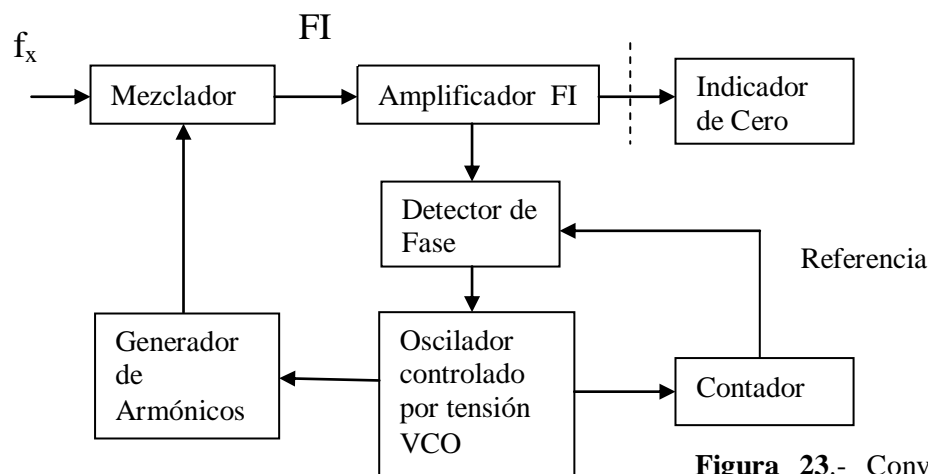


Figura 23.- Convertidor tipo transfer con sintonía manual

La Figura 23) muestra un sistema de oscilador tipo transfer con bucle de control de fase y generador de armónicos. La señal de entrada se mezcla con la señal producida por el generador de armónicos, dando lugar a una señal de FI. Cuando ambas señales f_x y la generada internamente son de la misma frecuencia el amplificador de FI tendrá una salida nula y en consecuencia si medimos la frecuencia del VCO y la multiplicamos por el número de armónicas seleccionado tendremos el valor de la señal de entrada.

El problema de este método está en el hecho de que aún en los mejores osciladores VCO resulta difícil alcanzar estabilidades del orden de 10^{-5} lo cual da una idea de la baja precisión de medida de este método.

Para mejorar este factor se introduce un detector de fase que compara la frecuencia FI con una referencia interna, obtenida del oscilador de referencia del contador. Si existe diferencia entre ambas frecuencias, se producirá una tensión de error en el detector que controlará el VCO. Para evitar que la FI corresponda con frecuencia 0HZ y en consecuencia se obligue al detector de fase a comparar una tensión continua con una señal de RF, se suele hacer que tanto la FI como la frecuencia de referencia sean de una misma frecuencia (por ejemplo de 1 MHz) y, en este caso, la frecuencia generada por el VCO, y medida por el contador, estará desplazada un valor fijo de la frecuencia real.

La sintonía manual del VCO requiere de mucha habilidad y práctica en el manejo del convertidor. Por esa razón existe una versión de sintonía automática en la que en ausencia de señal de entrada, un generador diente de sierra produce un barrido del VCO y, en consecuencia, un barrido de frecuencia sobre el mezclador como se indica en la Figura 24) siguiente.

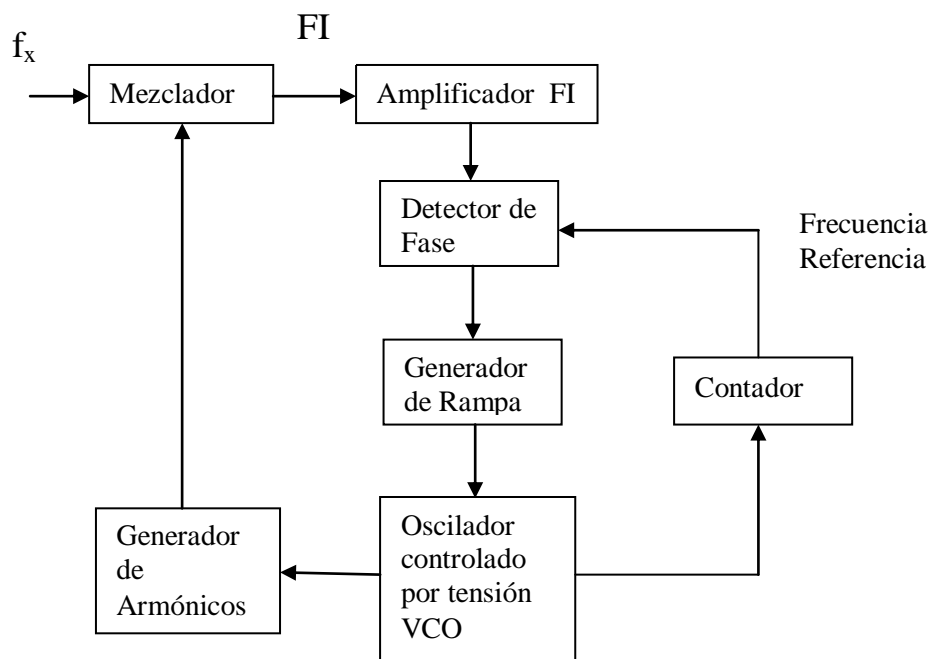


Figura 24.- Convertidor tipo transfer con sintonía automática

Si ahora se inyecta en la entrada una señal de RF, alguno de los armónicos generados se batirá con ella originando una señal de FI. Ello hace, a su vez, que el detector de fase enclave el generador diente de sierra en un valor de tensión fijo, el cual obliga al oscilador VCO a trabajar en una sola frecuencia y, al generador de armónicos a generar el múltiplo correspondiente.

8d) Harmonic Heterodyne Converter – Convertidor Heterodino de Armónicas

El convertidor heterodino de armónica, como su nombre lo indica, es un híbrido de los últimos dos técnicas. Un contador usando este diagrama de bloques, Figura 24, adquirirá la frecuencia de microondas de entrada en la manera del oscilador de transferencia, pero después se harán mediciones de frecuencia como un convertidor heterodino.

La Figura 4 muestra la f_x de entrada que se dirige a un sampler, con la resultante inferior de la conversión de señal de vídeo $f_{if} = f_x - N \cdot f_s$ amplifica y envía al contador. La frecuencia de muestreo f_s es creado por un sintetizador controlado.

La rutina de adquisición para la conversión consiste en sintonizar el sintetizador a la frecuencia f_s hasta que el detector de señales encuentra una señal de vídeo f_{if} de rango de frecuencia adecuada (definida por la banda de filtro de pasa banda). A continuación, el número de armónica N se debe determinar, en el oscilador de transferencia. Una manera de encontrar N es utilizando un segundo lazo de toma de muestras, como el oscilador de transferencia (Figura 3), o una técnica similar.

Un segundo método consiste en variar el sintetizador ida y vuelta entre dos frecuencias estrechamente espaciadas y observar las diferencias en las lecturas del contador, es entonces una tarea sencilla para el procesador para calcular N .

Una medición de frecuencia se lleva a cabo por el proceso de multiplicar la frecuencia conocida del sintetizador f_s por N , sumando el resultado a la frecuencia de video f_{if} medida en el DCA, y mostrar la respuesta: $f_x = N \cdot f_s + f_{if}$. En este proceso el convertidor heterodino de armónicas se parece al convertidor heterodino, ya que la toma de muestras es, efectivamente, mezclar la enésima armónica de una fuente muy estable con la entrada, produciendo una diferencia de frecuencia de vídeo

El convertidor heterodino de armónico tiene el potencial de ser construidos a un costo menor que las últimos dos técnicas, ya que puede ser diseñado con un solo componente de microondas (el sampler) y el control, decisiones y los cálculos pueden ser realizados por un de microprocesador de bajo costo.

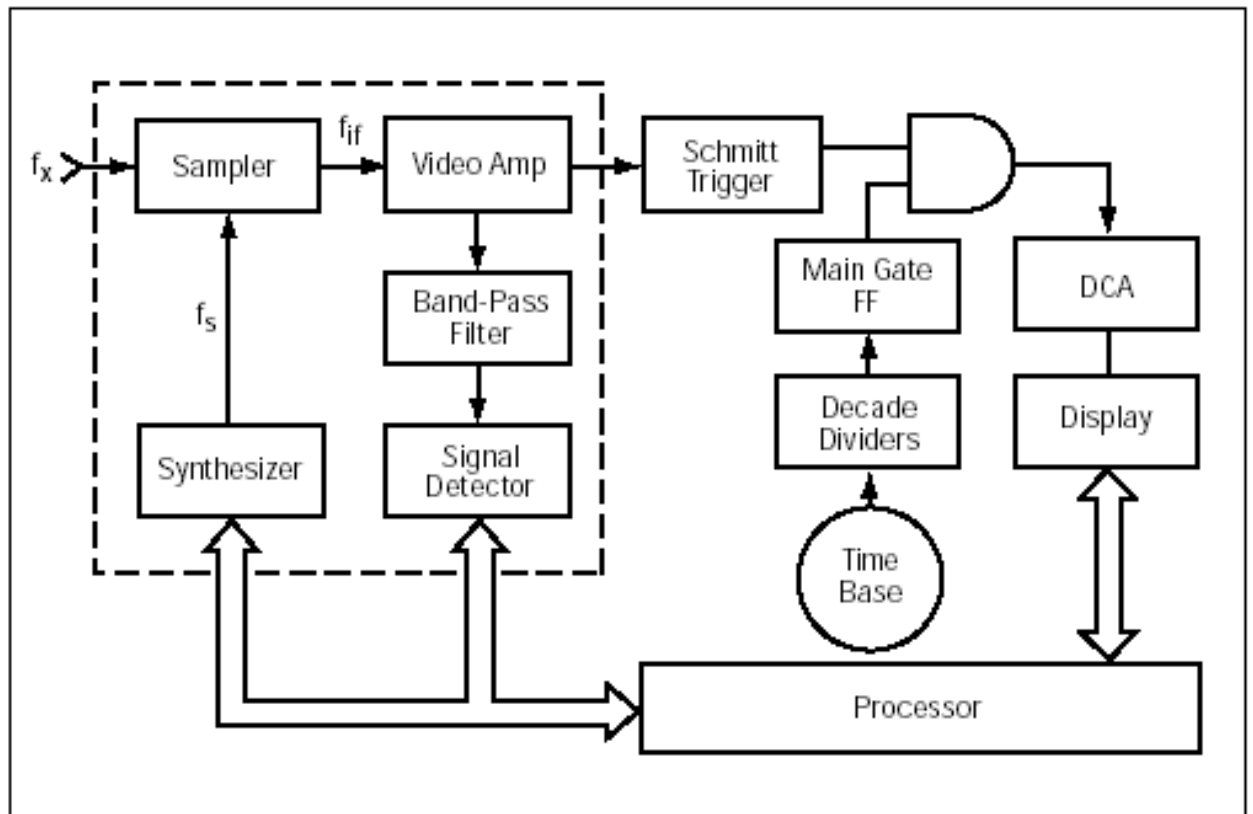


Figure 24.-Diagrama en Bloque del convertido heterodino de armónicas

9.- Bibliografía

- Fundamentals of the Electronic Counters. Application Note 200 - Hewlett-Packard.
- Fundamentals of Microwave Frequency Counters. Application Note 200-1- Hewlett-Packard.
- Instrumentación para uso general. Revista Mundo Electrónico, 1980
- Instrumentación Digital. José Madrid. Editorial AMICE.
- Frecuencímetro Digital. Roberto L. Gonzalez y M.A. Olivero. Revista Telegráfica Electrónica. 1980.
- Frecuencímetro digital de Laboratorio. Angel Maini. Revista Electrónica Práctica. 1986.

Ing. Juan C. Colombo
13/09/12