

Frecuencímetro microcontrolado hasta 50 MHz

XAVIER SOLANS*, EA3GCV

Se nos propone la construcción de un medidor de frecuencia basado en un microcontrolador. Puede leer frecuencias hasta 50 MHz, con una pantalla LCD con una resolución de siete dígitos (más MHz, kHz, o Hz) y su coste es inferior a un instrumento comercial de similares características.

Uno de los instrumentos básicos e indispensables en el taller del aficionado es el frecuencímetro. Debido a que la mayor parte están destinadas a uso profesional, el precio comercial de estas unidades suele ser bastante elevado. Alguno de los inconvenientes de la mayoría de contadores de frecuencia para aficionado que hace unos años se publicaban en las revistas divulgativas, era que los circuitos estaban resueltos con una importante cantidad de integrados, con el oscilador de referencia aparte, integrados conversores BCD a siete segmentos para los visualizadores (*display*), etc., y aunque el coste de éstos es asequible, la complicación y el tamaño de la placa suponían un importante engorro. Otro sistema que se ha utilizado ampliamente es el uso de un circuito integrado específico para tal fin, como el ya clásico ICM7216 de Intersil u otros *chips* similares, no obstante, cada uno de ellos acostumbra a tener un precio que supera las 5.000 ptas. a sumar a los visualizadores de siete segmentos y demás componentes. Por otro lado, su límite de frecuencia de 10 MHz, es considerablemente bajo si tenemos la intención, por ejemplo, de efectuar medidas en las bandas altas de HF, haciéndose obligado la adición de un circuito divisor para poder aumentar la frecuencia de lectura. La paulatina aparición en el mercado electrónico profesional de circuitos microcontroladores (μ C) con un precio relativamente razonable, ha hecho que en los últimos años los fabricantes utilicen también los μ C para los equipos de lectura de frecuencia, incluso en los modelos destinados al laboratorio.

Hace tiempo que estaba pensando construir un medidor de frecuencia asequible para el aficionado y que al mismo tiempo reuniese unas características cercanas a las de un instrumento profesional. Mi predilección por el económico y popular microcontrolador PIC16F84 que ya estaba utilizando para otros proyectos, hizo plantearme el uso de este mismo



La pantalla del frecuencímetro mostrando información de la frecuencia leída con una resolución de 10 Hz y el tiempo de puerta.

μ C para el proyecto de un frecuencímetro. Algunos autores ya han utilizado este mismo chip para proyectos similares, basándose en una interesante nota de aplicación de *Microchip*, referencia «AN592» (ver nota al final) que soluciona el conteo de impulsos externos acumulándolos en un valor de hasta 24 bits para su posterior lectura y conversión.

El frecuencímetro definitivo ofrece las siguientes características:

- 1) Siete dígitos de resolución visualizados en una pantalla LCD de bajo consumo (en lugar de una hilera de *displays* de siete segmentos).
- 2) Resolución de 1 Hz para bajas frecuencias y 10 Hz para superiores.
- 3) Cobertura de lectura de todo el margen de HF y más (hasta 50 MHz).
- 4) Reducido tamaño, fácil montaje y bajo precio.
- 5) Mínimo consumo de corriente, para utilizarlo incluso como un instrumento autónomo.

El PIC16F84 tiene la posibilidad de trabajar como un contador de impulsos externos, RTCC (contador de reloj en tiempo real). Podríamos dedicar un artículo entero a las excelencias del RTCC y las posibilidades de cálculo y conversión por programa, etc., sin embargo, deberemos limitarnos a conocer la información necesaria en referencia al uso que tiene encomendado en el presente proyecto. Vayamos a ello.

¡A contar!

Para la función de RTCC se utiliza el TMR0 del PIC16F84 que puede configurarse como temporizador interno o bien puede contar pulsos externos aplicados a través de su patilla 3 (que es también el bit de entrada RA4 del puerto A). Dispone de un predivisor interno de hasta 1:256, el cual es totalmente independiente de la velocidad de trabajo del microcontrolador, lo que permite que la frecuencia externa a medir pueda ser muy superior a la frecuencia de reloj en que trabaja el μ C.

En nuestro microcontrolador cada instrucción del programa tarda en ejecutarse cuatro impulsos de reloj, de forma

* Apartado de correos 814, 25080 Lleida.
Correo-E: ea3gcy@wanadoo.es

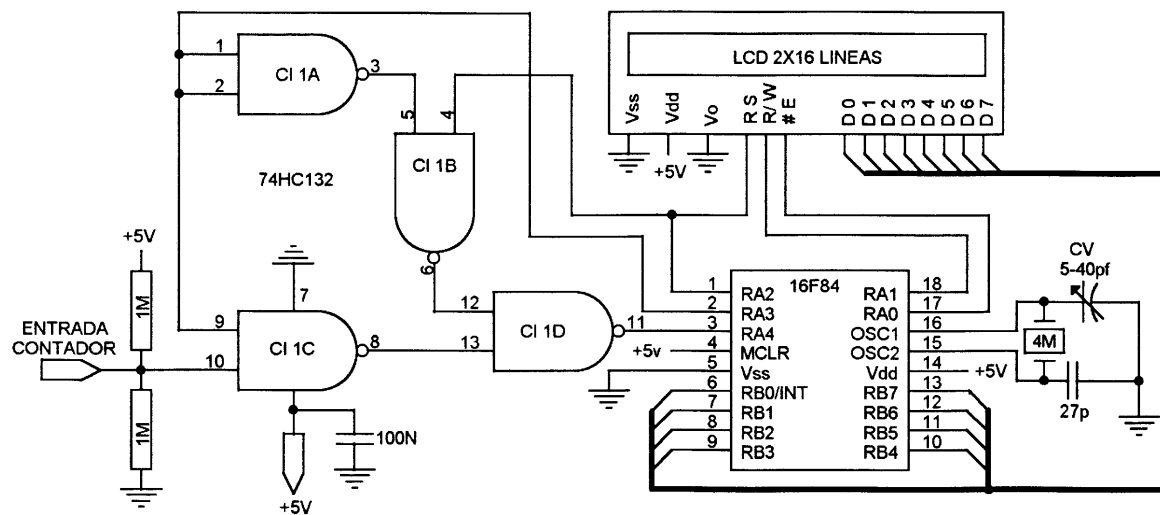


Figura 1. Circuito del frecuencímetro digital microcontrolado.

que con el reloj de 4 MHz cada instrucción se ejecuta en un microsegundo (un millón de instrucciones por segundo). De esta manera es muy simple obtener una base de tiempo de 0,1 o 1 s (segundo). Cuando el μC empieza a contar, envía un nivel lógico alto por RA3 (patilla 2) que habilita a la puerta NAND CI 1C, al mismo tiempo este nivel lógico se invierte en CI 1A y su salida inhabilita a CI 1B. La salida de CI 1C pasa a través de CI 1D y envía los pulsos de la señal de entrada a la patilla de RTCC.

El predivisor (*prescaler*) interno cuenta los impulsos que van llegando, y cada vez que llega a 256 incrementa en una unidad un registro «almacén» asignado al RTCC. El programa trabaja de forma que cada vez que se llena el registro del RTCC se incrementa en una unidad el valor de tres registros adicionales de 8 bits encadenados.

El programa del microcontrolador controla el tiempo exacto durante el que el RTCC efectúa su conteo, este periodo se denomina *base de tiempo* o *tiempo de puerta* que será de 0,1 o 1 s. Después del tiempo de puerta, el bit RA3 se pone a nivel bajo para impedir que entre ningún pulso más a la patilla de entrada del RTCC. A continuación, conociendo el número acumulado por el contador y el tiempo de puerta que se ha establecido, se calcula fácilmente el valor de la frecuencia; el valor binario de los 24 bits (hasta 167.722.16 en decimal) de los tres registros representan directamente la frecuencia de entrada que se acaba de leer durante el tiempo de puerta establecido. Este valor se convierte a BCD mediante una rutina especial del programa la cual deja el resultado en siete registros de 8 bits que contienen cada uno de los siete dígitos de la frecuencia. Los siete registros se ajustan para obtener el número en ASCII real que será mostrado en la pantalla LCD.

Una rutina para el manejo de la LCD envía cada número a su posición correcta de la primera línea de la pantalla, así como las abreviaturas Hz, kHz, MHz, según corresponda. Otras rutinas del programa se encargan de escoger el tiempo de puerta según la frecuencia de entrada, controlar si la frecuencia llega al límite de lectura prevista, además de visualizar los mensajes correspondientes en la segunda línea de la pantalla LCD.

El frecuencímetro en marcha

En la pantalla LCD se muestra la frecuencia en siete dígitos y su sufijo correspondiente como Hz, kHz, MHz, por ejemplo 28.100.00 MHz. El microcontrolador selecciona automáticamente el tiempo de puerta adecuado ya sea 0,1

segundo o bien 1 segundo y lo muestra en la línea de abajo de la pantalla en un mensaje como: BT=0.1s o BT=1s. Si la frecuencia de entrada supera la frecuencia máxima de lectura (50 MHz), se muestra el mensaje: SOBREPASA.

La sensibilidad de entrada depende exclusivamente del tipo de preamplificador separador que se anteponga al contador, la configuración de la figura 2 ofrece una sensibilidad de entrada de unos 100 mV ante frecuencias por debajo de 3 MHz y alcanza unos 800 mV cuando la frecuencia de entrada se acerca a los 50 MHz.

El preamplificador de la figura 3 es un poco más sencillo y para trabajar correctamente en 30 MHz necesita al menos un nivel de señal de 1 V. La resolución de frecuencia depende obviamente de la puerta de tiempo, que es de 1 Hz para 1 s y de 10 Hz para 0,1 s.

Tal como hemos dicho, el frecuencímetro es totalmente de margen automático; es decir, lo único que hay que hacer para que funcione, es tan solo conectar la alimentación, inyectar en la entrada la señal que deseamos medir y ya podemos leer la frecuencia en la pantalla. El microcontrolador se encarga de escoger el tiempo de puerta adecuado para la frecuencia a contar, indica en la pantalla la frecuencia seguida de la abreviatura correspondiente (Hz, kHz, MHz) y mueve el punto decimal en consecuencia.

Montaje del circuito y calibración

En la figura 1 se muestra el esquema del contador hasta 50 MHz, con las puertas de entrada NAND incluidas en el CI1, el microcontrolador 16F84 y la pantalla LCD. El montaje del frecuencímetro debe efectuarse en una placa diseñada para tal fin, el microcontrolador es un PIC16F84 previamente programado y el *display* es un LCD 2x16 Truly MCC162A o equivalente de 2 líneas de 16 columnas (ver notas al final).

El montaje y ajuste del módulo es sumamente sencillo, bastará con conectar la alimentación al circuito y aplicar en la entrada una señal de frecuencia conocida y lo más exacta posible. Lo aconsejable será efectuar el ajuste con una frecuencia relativamente alta, por ejemplo de unos 28-30 MHz. Es muy importante recordar que la exactitud de la frecuencia de referencia que utilicemos para la calibración determinará la precisión final de nuestro frecuencímetro, por ello lo adecuado sería utilizar un generador de RF profesional, o bien un frecuencímetro de laboratorio para efectuar los ajustes con el sistema de «comparación»; es decir, primero leeremos la frecuencia de la fuente de señal RF con el frecuencímetro patrón y luego ajustaremos nuestro montaje

para que muestre la misma frecuencia. Hay que pensar que estamos hablando de una resolución ¡de 1 Hz o 10 Hz!

El único ajuste para la calibración es el trimer CV, de 5 a 40 pF, y deberá actuarse con un destornillador de plástico adecuado. Este ajuste modifica ligeramente la frecuencia del cristal de reloj del microcontrolador, que afecta a la velocidad a la que «corre» el programa y por tanto afecta a las rutinas de temporización para la base de tiempos, variando en algunas decenas de hercios el valor de frecuencia mostrado en la pantalla.

El tamaño del montaje puede ser muy compacto y permite que pueda ubicarse en una caja de reducidas dimensiones; en el panel frontal de la caja deberán efectuarse la ventana y los agujeros pertinentes para colocar la pantalla LCD, el conector de entrada (tipo BNC) y el interruptor de puesta en marcha; en la parte de atrás podrá disponerse el conector para la alimentación. La pantalla LCD puede fijarse en la parte de atrás del frontal con un pegamento de silicona o similar. Cada «maestrillo tiene su librillo» y la configuración mecánica puede variar a voluntad de cada constructor, pero es fácil deducir que hay muy poco trabajo que hacer para «amueblar» este montaje.

Importante. El cristal de cuarzo de 4 MHz para el microcontrolador y sus condensadores asociados deben ser de la máxima estabilidad posible (tipo NPO). Componentes de baja calidad pueden provocar variaciones en la lectura de frecuencia de algunas decenas de hercios ante los cambios de temperatura ambiente.

Nivel de la señal entrada

El preamplificador de la figura 2 dispone de una sensibilidad de entrada aproximada de entre 100 y 800 mV desde la parte baja del margen de medida (por debajo de 1 MHz) hasta la más alta de 50 MHz. Esta sensibilidad, teniendo en cuenta el bajo coste del circuito y su simplicidad, es más que suficiente para efectuar la mayoría de medidas de un taller de aficionado. Por otro lado, la lectura de impulsos TTL puede realizarse inyectando directamente la señal en el C11.

Ningún frecuencímetro puede recibir cualquier tipo de señal y de cualquier amplitud. Por poner unos ejemplos: no podemos medir directamente la frecuencia de un transmisor sin intercalar un atenuador o bien recoger la señal con un captador adecuado, y tampoco podremos leer directamente una débil señal de tan sólo unos microvoltios sin usar un paso preamplificador separador que ofrezca la ganancia necesaria.

Otro dato a recordar es que cuando se ajusta un oscilador, por ejemplo el OFV de uno de nuestros proyectos, es aconsejable no «pinchar» antes de al menos un paso sepa-

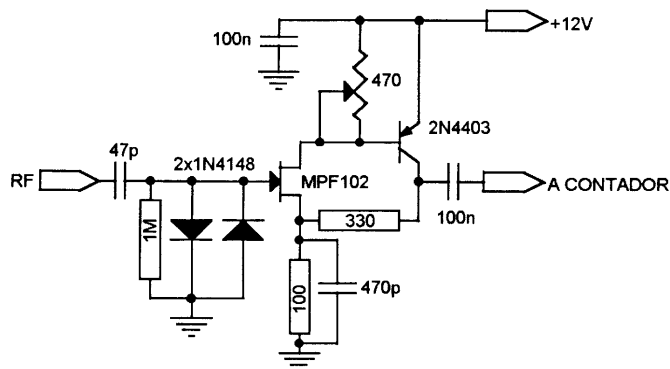


Figura 2. Preamplificador de banda ancha para el frecuencímetro digital.

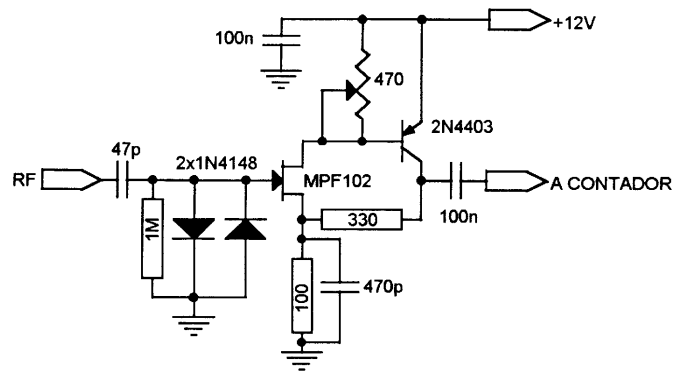


Figura 3. Preamplificador más sencillo que el de la figura anterior.

rador, puesto que aunque la entrada del frecuencímetro es de alta impedancia y provoca una carga mínima en el circuito, los parámetros del oscilador pueden variar y la medida de frecuencia resultaría errónea.

Es posible que para algunas necesidades el límite de 50 MHz del frecuencímetro resulte insuficiente, por ejemplo para medir frecuencias en las gamas de V-UHF. En ese caso se deberá incorporar un divisor de frecuencia. Existen bastantes chips *prescalers* en el mercado, algunos superan incluso los 1.000 MHz de entrada y resultan relativamente económicos dado su uso en la electrónica de consumo TV, receptores de satélite, etc.

Un dial digital para nuestros equipos

Aunque desde el principio todo el proyecto se ha realizado con la única idea de conseguir la construcción de un medidor de frecuencia para nuestro banco de trabajo, no hay que nada que impida modificar el código de programa del microcontrolador para adaptarlo como «dial digital» en alguno de nuestros montajes de transceptor o receptor. Para utilizar el frecuencímetro como dial digital bastará con adaptar al programa una rutina de desplazamiento (*offset*) que sume o reste la frecuencia de FI a la frecuencia real que está leyendo el contador, que será la del oscilador local (OL) del aparato receptor/transmisor.

En el desplazamiento de FI para que el frecuencímetro actúe como dial, se pueden dar las siguientes situaciones:

- Frecuencia mostrada = frecuencia del oscilador + frecuencia intermedia.
- Frecuencia mostrada = frecuencia del oscilador - frecuencia intermedia.
- Frecuencia mostrada = frecuencia intermedia - frecuencia del oscilador.

Pongamos algunos ejemplos para verlo con mayor claridad. En un transceptor se utiliza una FI de 9,000 MHz y el OFV del oscilador local (OL) trabaja de 5,0 a 5,5 MHz para cubrir la banda de 14,000 a 14,500 MHz. En este caso deberemos adaptar el programa del frecuencímetro para que a la frecuencia de lectura (5,0 a 5,5 MHz) se le sume siempre la de FI (9,0 MHz) y por consiguiente se muestre en la pantalla la frecuencia real en que trabaja el transceptor: 14,0 a 14,5 MHz.

También puede ocurrir que el oscilador local esté por encima de la FI (en este caso la frecuencia de trabajo se obtiene restando la FI al OL). Por ejemplo, para trabajar en la banda de 14 MHz con un oscilador local de 23 MHz se le resta la frecuencia de FI de 9 MHz; entonces añadiremos una rutina en el programa que nos reste 9 MHz de la frecuencia leída del OL (23,0 MHz) para que en la pantalla se muestren 14,0 MHz.

Una tercera posibilidad es que la frecuencia de trabajo se consiga restando el oscilador local de la FI. Por ejemplo, si a una FI de 9 MHz le restamos un OL de 5,5 a 5,0 MHz, la banda que obtendremos será de 3,5 a 4 MHz.

El frecuencímetro que nos atañe en este artículo no incorpora ningún sistema externo para la programación de *offset*, pero en cambio puede añadirse un valor fijo de *offset* en el propio código antes de programar el microcontrolador (ver notas al final).

Un dial digital es una parte codiciada para los aficionados a la construcción de sus propios proyectos de receptores y transmisores. Un próximo proyecto muy atractivo puede ser el de un dial digital diseñado para tal fin, en el cual el valor de desplazamiento pueda programarse externamente, e incluso pueda configurarse más de un valor del mismo. Un dial digital simple puede utilizar solo tres unidades de siete segmentos para visualizar los kilohercios, decenas de kilohercios y centenas de kilohercios de la frecuencia de sintonía, ¡ideal para un transceptor monobanda! Más sencillo aún, puede ser con un solo elemento de siete segmentos que muestre los dígitos uno a uno por orden. Y (más sencillo imposible) es que nos «cante» la frecuencia en CW en un zumbador o directamente en el altavoz del equipo (sistema utilizado en algunos *kits* americanos de transceptores monobandas para CW).

Experimentar, proyectar y más y más...

Un medidor de frecuencia no es sólo para medir la frecuencia de un oscilador, sino que puede ser útil como comple-

mento para otros accesorios del taller de aficionado, por ejemplo en combinación con un medidor por mínimo de reja (*dip-meter*) para pruebas con circuitos tanque L-C, con lo que podremos conocer con exactitud la frecuencia de resonancia, el valor de capacidades e inductancias, factores de Q, etc. También para medidas indirectas en antenas, construcción de filtros de FI, medida de la frecuencia de resonancia y de oscilación de cristales de cuarzo, etc.

Bien, de lo que se trata es de experimentar, proyectar y más y más... Espero que los constructores que emprendan este proyecto disfruten más que nunca con su montaje y estoy convencido que el juego que les dará este instrumento será inacabable. Todas las ideas o comentarios al respecto serán bien recibidas, y cómo no, si necesitáis cualquier aclaración no dudéis en poneros en contacto conmigo por carta (con sobre franqueado para la respuesta) o mejor por correo electrónico (que procuro contestar lo más a menudo posible).

Experimentar es lo más divertido de la radio, ¿estáis de acuerdo conmigo?

Notas

1. El microcontrolador PIC16F84 programado y la pantalla LCD para el montaje del frecuencímetro, se pueden obtener del autor.

2. Para utilizar el frecuencímetro como dial para un equipo determinado puede modificarse el programa del microcontrolador a propósito. Para ello, consultar con el autor del artículo.

3. Hojas de datos, instrucciones de programación, notas de aplicación, etc. de los microcontroladores PIC se pueden obtener en la Web de su fabricante: www.microchip.com



Artículo publicado en CQ, núm. 211, Julio 2001