

# FRECUENCIMETRO DIGITAL BASADO EN MICROCONTROLADOR



En esta segunda y última entrega, describiremos el montaje en la caja, el firmware y la prueba final de nuestro instrumento de medida de la frecuencia de señales analógicas de BF hasta 10 MHz, TTL y CMOS hasta 50 MHz, y de radiofrecuencia hasta 1,1 GHz.

MICHELE MENNITI

**Y**a hemos explicado el esquema eléctrico y el montaje de los tres circuitos impresos que constituyen las tres unidades de nuestro frecuencímetro (Sección de alimentación, Sección lógica y display LCD, Sección entradas). También hemos estudiado el comportamiento de varias señales aplicadas a las tres entradas, mediante imágenes tomadas del DSO, de tal

manera que hemos podido evaluar las notables cualidades de nuestro frecuencímetro digital. En esta última parte veremos cómo montar todo el frecuencímetro en una caja idónea, de qué manera programar el microcontrolador que controla el instrumento y como utilizarlo una vez terminado. La caja que hemos previsto para alojar el frecuencímetro es el mode-

lo 5100-AUS12 de Teko: está realizado con las tapas de plástico, los paneles anterior y posterior en aluminio y dispone de ranuras de ventilación en las cubiertas superiores e inferiores; dispone además de distintos puntos de sujeción en el fondo, útiles para la fijación de los circuitos impresos. Antes de hablar de la caja es necesario retomar el tema de la entrada de

alimentación de 220 Vac, que dejamos pendiente: como ya hemos dicho, la radiofrecuencia tiende a infiltrarse por todas partes, creando trastornos de todo tipo al instrumento y también a otros aparatos localizados en el mismo local. Esto es porque muchas veces el RF consigue llegar incluso hasta la red eléctrica y, a



**Fig. 1** - El panel posterior completo.

través del sistema, todos los aparatos a ella conectada. Hemos trabajado mucho para bloquear cada intento de la RF por infiltrarse en los circuitos que componen el frecuencímetro y no podíamos descuidar la protección de la red eléctrica. La solución que os proponemos es extremadamente simple: se trata de desmontar de una vieja alimentación de un ordenador la toma de red con filtro de la que dispone y todo lo que está conectado a ella (bobinas, condensadores, resistencias, anillos de ferrita) incluidos los hilos que van sobre el circuito impreso, que en general son de buena calidad y sección adecuada. Para el acoplamiento de la toma sobre el panel posterior necesitaremos trabajar con mucha paciencia, pero una vez montada dará al instrumento el aspecto profesional que merece.

Los dos hilos provenientes de tal toma se conectarán a los extremos de un interruptor bipolar, idóneo para conmutar 220 Vac que puede tomarse de la misma alimentación de PC, siempre que sea de tipo bipolar, de manera que interrumpa ambos cables de la corriente eléctrica. De hecho, en nuestras instalaciones no hay una referencia fija para la fase y el neutro, y como aquella y como la que debe desconectarse es siempre la fase, ante la duda es preferible desconectar ambos hilos. El interruptor también se fijará en el panel posterior de la caja. Los otros dos extremos del interruptor bipolar obviamente se conectarán al conector J1 del PCB del punto de alimentación. Las tomas 220V son siempre de tres polos, el tercero de los cuales es la tierra y a ella, en el 99% de los casos, se conectan un cable amarillo/verde que termina con un ojal.

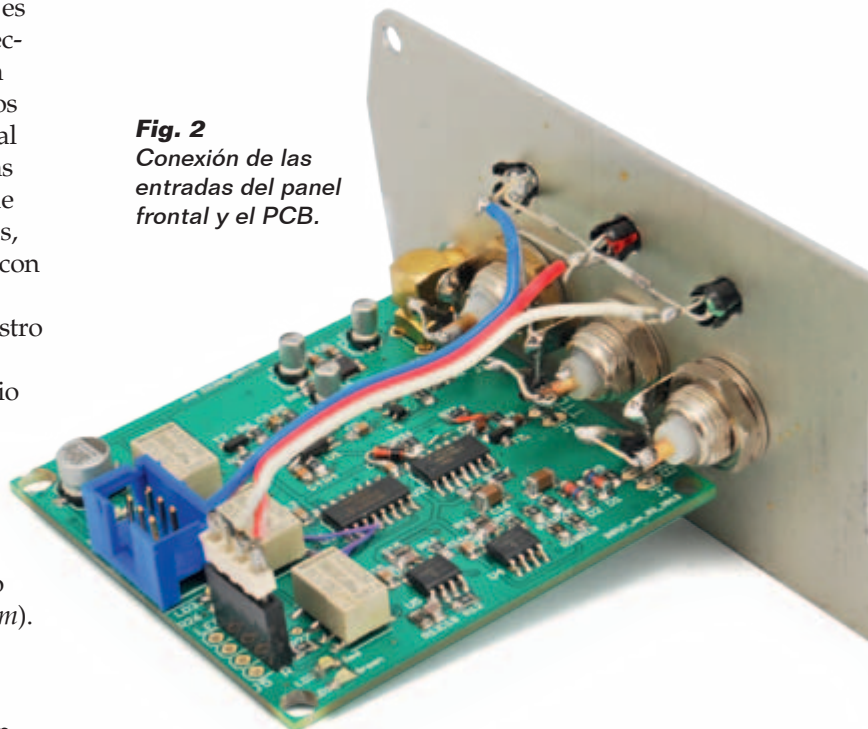
Si, como es deseable y requiere la ley vigente, vuestro sistema eléctrico está dotado de toma a tierra, debéis conectar el ojal de la toma al panel de aluminio posterior, fijándolo con un tornillo más adecuado. En caso contrario, cubrirlo completamente con cinta aislante de buena calidad y dejarlo libre. Si no disponéis de una alimentación de PC para desmontar, usar un filtro de red de pequeña escala (bastan 0,5 amperios), por ejemplo aquellos productos de Schaffner ([www.schaffner.com](http://www.schaffner.com)). Los filtros de red tienen dos contactos de entrada

(más dos láminas de masa, que van al metal), a las que hay que soldar una toma tripolar de panel, o directamente el cordón de alimentación, y dos de salida, que conectareis al interruptor bipolar. Los hay también dotados de toma tripolar incorporada, que seguramente son preferibles.

De todas maneras, las conexiones de la sección de entrada 220Vac se hacen como se muestra en la **Fig. 3** de la primera parte (también la **Fig. 3** de este número debería ayudar) donde veréis que todos los hilos que llevan corriente alterna han sido perfectamente aislados con manguito termorretráctil, operación que os aconsejamos encarecidamente realizar, con el fin de evitar la descarga eléctrica mientras maneáis el frecuencímetro con la tapa abierta.

En la **Fig. 1** podéis ver el panel posterior con el tornillo de la puesta a tierra, la toma y el interruptor.

El trabajo más delicado y laborioso es sin duda la preparación del panel anterior, porque albergara el display LCD, los dos pulsadores de selección entrada y rango de medida, las tres tomas BNC, la toma SMA, los tres LED que indican la activación de la entrada. Es necesario primero colocar físicamente los PCB Logica y Display y Entradas en la caja y después empezar con los bordes del display, la posición precisa de los dos pulsadores y de la toma SMA (soldada directamente sobre el PCB); conviene marcar estos puntos en la parte interna del frontal y empezar con agujeros muy pequeños (aconsejamos una broca de



**Fig. 2**  
Conexión de las  
entradas del panel  
frontal y el PCB.

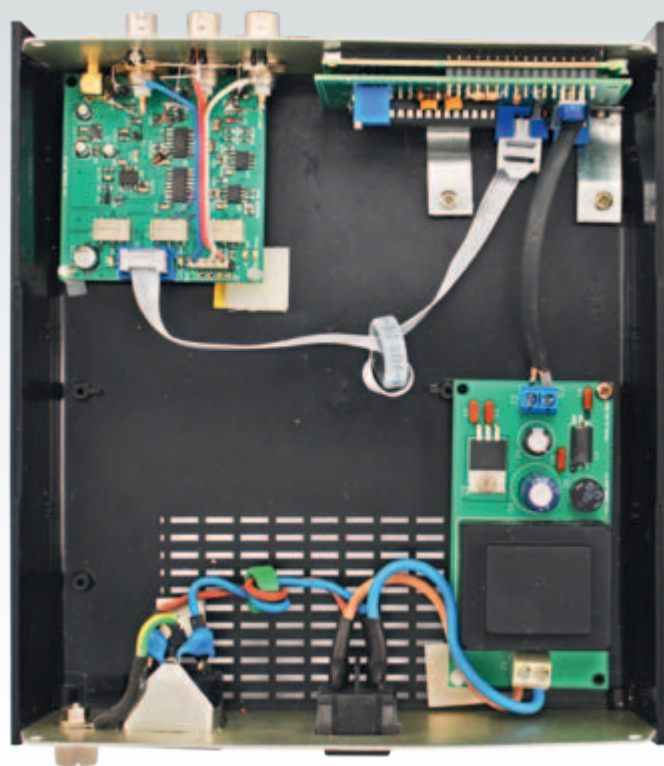


1 mm), de manera que verifiquemos la precisión de las posiciones. Solo después se podrán usar brocas cada vez mayores, así conseguiremos hacer agujeros precisos. También para el display, conviene realizar un rectángulo más pequeño respecto a las dimensiones reales del display, así será más fácil trabajarlo con una lima plana de manera que realicemos contornos precisos.

Más simple será la perforación relativa a las tres tomas BNC y a los tres LED, ya a que estos seis elementos estarán conectados al PCB de la Sección de entradas mediante trozos de hilo rígido; la única cosa a tener en cuenta, será la equidistancia entre los tres BNC y entre los tres LED. Además será necesario poner atención en la perfecta alineación entre cada LED y su respectivo BNC.

Los conectores BNC deben estar dotados del ojal para la conexión de las masas; el polo central de cada uno estará conectado a la plataforma de su respectiva entrada mediante un trozo de hilo rígido, mientras el ojal estará conectado al plano de masa (GND). Para simplificar esta operación, y también otros sucesivos desmontajes del PCB de las entradas, nosotros hemos soldado sobre las tres parejas de la placa otras tantas parejas de pines macho, como se muestra en la Fig. 2. Respecto a los tres LED de 3 mm, sus cátodos estarán conectados juntos y después al ojal de la toma BNC "TTL", y a cualquier punto GND, mientras los tres ánodos se han conectado a su respectivo conector mediante un pequeño conector macho. El conector dispone, como se ha dicho, también la conexión para el LED amarillo, que en nuestro prototipo no hemos llevado este LED al panel, nos hemos contentado con dejarlo sobre el PCB para las verificaciones funcionales necesarias. El conector está preparado para llevar dos hilos por cada LED, así que si no queréis adoptar nuestra solución de conexionado, podéis usar una pequeña base de seis hilos (ocho, si queréis llevar también el LED amarillo) para conectar ánodos y cátodos directamente al PCB; para la conexión seguir atentamente la imagen del plano de montaje del PCB y la serigrafía: el ánodo de cada LED está indicado con la inicial del color (B=blue, Y=yellow, R=red, G=green).

Sea como sea, conviene emplear un conector header hembra en el PCB y una tira de pines macho para la conexión; en el caso que debáis desmontar el PCB, en vez de desoldar todo bastará con el quitar la tira de pines. Parar fijar de manera estable los LED de 3 mm al panel anterior, aconsejamos utilizar los porta-led de metal o plástico; en caso contrario, probablemente debáis recurrir a un hilo de pegamento de fusión o silicona. Observando la Fig. 3 podréis obtener ideas



**Fig. 3** - Fijación de los tres PCB en la caja.



para la fijación de los tres PCB; nosotros hemos usado tornillos, distanciadores de plástico (con o sin base adhesiva) y conectores de aluminio; en conclusión, lo importante es colocar correctamente los PCB y hacer de manera que no se muevan ni siquiera girando la caja boca abajo o sacudiéndola.

### EL FIRMWARE

La realización de este proyecto ha sido posible fundamentalmente gracias a la librería "Frequency Counter", de la firma de Martin Nawrath de la Academy of Media Arts-Cologne, la cual se ocupa de toda la gestión necesaria de los temporizadores (*timer*) del micro, con la finalidad de calcular la frecuencia aplicada al pin 11. La librería es descargable del link original <http://interface.khm.de/index.php/lab/experiments/arduino-frequency-counter-library/> y se guarda en su propia

# Como gestiona los pulsadores el watchdog

Cada vez que se presiona P1, el firmware verifica si este ha sido pulsado anteriormente y, en caso afirmativo, cuanto ha durado tal presión y cuanto hace que ha sucedido; de esto se encarga el debounce software basado en el cálculo del número de los desbordamientos (overflow) del contador del watchdog. En el caso en el cual no hayan pasado el tiempo de debounce previsto, el firmware reconoce la presión como un rebote del contacto y la ignora. Sin embargo si ha pasado al menos dicho tiempo, entra en la rutina de gestión del pulsador, ósea la rutina de interruptor "entrada" que incrementa la variable SW\_COUNT (de 1 a 3, después se restea); en base al valor de esta última, viene seleccionada

la correspondiente entrada (BF, TTL, RF), mediante la oportuna combinación de los tres relé de la Sección entrada. Al tiempo se encenderá el LED que indica cual de los tres BNC del panel esta activo. Del mismo modo, cada vez que se pulsa P2 se activa la rutina de interruptor "rango" que incrementa la variable HZ\_COUNT (de 1 a 4, después se restea); en base al valor de esta última, se selecciona el rango correspondiente (Hz, kHz, MHz, GHz) que da origen a una conversión software de la frecuencia medida en base al rango elegido. Por ejemplo, si se mide una frecuencia de 1 MHz, cambiando las diferentes rangos se obtendrán las siguientes visualizaciones: 1000000 Hz, 1000.000 kHz, 1.000000 MHz,

0.001000000 GHz. Y veamos ahora que sucede una vez que se ajusten la entrada y el rango deseados. Como el programa trabaja en un bucle infinito y efectúa una lectura cada segundo de la entrada del micro (pin 11) y proporciona los datos en base a los ajustes en la rango, si durante un ciclo se presiona P1 y/o P2, la lectura se falsea; por lo que es necesario siempre esperar un par de lecturas nuevas antes de poder estar seguros de lo que se lee en el display. Lo mismo es aplicable cuando se cambia el punto de medida o el valor a leer: de hecho es prácticamente imposible que la llegada de la nueva frecuencia coincida con el inicio de un ciclo de lectura. Observando las pocas líne-

as presentes en el bucle (loop) del código se puede ver que, una vez realizada la lectura de la frecuencia, se siguen estas rutinas:

- Checkinr lee el estado de los tres relés y determina la proveniencia de la señal de entrada;
- Calcport convierte el valor numérico de la frecuencia en un string, de manera que simplifica los cálculos en base al rango de medida seleccionado;
- Backlight gestiona la retroiluminación, manteniéndola a baja luminosidad en ausencia de señal de entrada y llevándola a alta luminosidad cuando es detectada una frecuencia cualquiera;
- Lcdprint prepara el string definitivo y lo visualiza sobre el display LCD, mostrando a la vez el rango y la entrada selec-

carpeta personal o en aquella original de las librerías de Arduino, e incluirla en el sketch junto a las otras librerías necesarias ("LiquidCrystal" para la gestión del LCD, "avr/wdt" para la gestión del watchdog, ambas incluidas en el IDE versión 1.0.1 o sucesivas). Observando el firmware (descargable desde la página de la revista 320 en [www.nuevaelectronica.com](http://www.nuevaelectronica.com)), después de la inclusión de las librerías encontraremos el listado de las constantes y variables usadas en el sketch; como de costumbre, el sketch está muy bien comentado, por lo que no tendremos ninguna dificultad para seguirlo y comprenderlo: por esta razón no lo explicaremos paso-paso, y solo por secciones lógicas. El firmware se encarga de gestionar las funcionalidades de los dos pulsadores P1 e P2 que sirven, respectivamente, para elegir la entrada activa entre BF, TTL y RF y para cambiar el rango de medida, entre Hz, kHz, MHz y GHz. Debido a que los timer del micro son utilizados por la librería del frecuencímetro, se ha recurrido al uso del watchdog (véase el recuadro correspondiente) para gestionar correctamente el debounce (anti rebote) y garantizar el perfecto funcionamiento de los dos pulsadores. El rebote es el fenómeno por el cual, a la simple y única presión de un pulsador, en realidad se producen varios contactos; cuando se trabaja en ámbitos muy lentos este problema puede ser irrelevante, pero si la

gestión de un pulsador sirve, como en este caso, para activar una rutina de interrupción, cualquier microcontrolador consigue contar todos los contactos con consecuencias inimaginables. El debounce consiste en considerar como un solo contacto todos aquellos que se verifican en un intervalo de tiempo: típicamente entre 100 y 200 ms.

El firmware es cargado en el micro mediante la técnica ISP, ampliamente ilustrada en la Guía a la Programación de los microcontroladores ATMEL, descargable gratuitamente del link: [www.michelemenniti.it/Arduino\\_burn\\_bootloader.php](http://www.michelemenniti.it/Arduino_burn_bootloader.php). Es de fundamental importancia ajustar el fusible del micro (ATmega328P) con los siguientes valores: LOW=e0, HIGH=df, EXTENDED=07, debido a que estos serán calculados para el funcionamiento con el oscilador de cuarzo externo de precisión previsto en nuestro proyecto.

## CALIBRACIÓN Y USO DEL FRECUENCÍMETRO

Bien, en este punto estamos listos para la fase final: la calibración; se trata de una operación simple pero también extremadamente delicada, debido a que de ella depende la precisión que tendrá vuestro frecuencímetro. Lo ideal sería poder disponer de un generador de señales profesional, pero en realidad es más que suficiente cualquier señal, entre 1 MHz y 5 MHz,

cionados (B, T o R); este último será mostrado alterado con el carácter "\*", creando una especie de parpadeo que corresponderá a la frecuencia de entrada, es decir, al ciclo de lectura (1 segundo).

Como hemos visto estudiando la sección hardware, la señal de entrada puede llegar al micro directamente (después de eventuales amplificaciones y/o conformadores de onda), dividida x10 o aún dividida x400. Además hay que considerar el comportamiento del micro que, cuando recibe en la entrada señales con frecuencia superiores a 6 MHz, tiende a dar resultados completamente erróneos e incontrolables; por este motivo se ha marcado un límite de 5,5 MHz, para las

entradas BF y TTL, a partir del cual se activa el divisor x10. Entonces cada señal, después de la comprobación de la rutina Checkin-gr, viene tratada por una rutina sucesiva, seleccionada entre chkBF, chkTTL y chkRF, para ser devuelta al valor original, si es necesario. Algún ejemplo aclarar el mecanismo. Al encender del instrumento, el firmware, por el ajuste predefinido, activa la entrada BF, manteniendo el divisor x10 desactivado e inicia inmediatamente la lectura de cualquier señal aplicada a tal entrada. Imaginando ahora que se aplica una señal de 1 MHz a la entrada BF (1.000.000), siendo un valor inferior a 5,5 MHz, la frecuencia original llegará al micro y la rutina chkBF no hará ninguna operación

dado que no es necesario. Imaginemos ahora, con el divisor x10 desactivado, que aplicamos una señal de 8 MHz (8.000.000); siendo superior a 5,5 MHz la rutina chkBF activa inmediatamente el divisor x10 y "ordena" una nueva lectura que, obviamente llevará al micro solo 800kHz (800.000); a este punto la rutina multiplicará tal valor x10, llevándola a 8 MHz pero no desactivará el divisor x10, en previsión de mas lecturas de tal señal. Si ahora aplicamos a la misma entrada BF una señal de 3 MHz (3.000.000) esto, en función del divisor activo llegara al micro con valor 300 kHz (300.000). En este caso la función chkBF multiplica la lectura x10, restaurando el valor original, entonces desac-

tiva inmediatamente el divisor x10 y ordena una nueva lectura que esta vez, naturalmente, llevará al micro la frecuencia directa (3.000.000). El comportamiento del proceso para las señales aplicadas a la entrada TTL es idéntico al anterior visto para la entrada BF; solo que siendo el rango de lectura mucho más amplio (recordemos que es posible leer señales hasta los 50 MHz), hemos predispuesto que, cuando se selecciona tal entrada, se active automáticamente el divisor x10. En el caso de señales provenientes de la entrada RF, dado que siempre se dividen x400, la relativa rutina se limita, a cada ciclo de lectura, a multiplicar x400 el valor que llega al micro.

posiblemente de onda cuadrada, porque es estable y precisa. Primero de todo, sin embargo, es necesario regular el contraste del display para obtener la mejor visibilidad: la operación se efectúa girando el potenciómetro R6.

Recordar que, como ya explicamos en la sección relativa al firmware, la retroiluminación es gestionada automáticamente por él, en base a la detección o menos de una señal en la entrada del micro, por eso no hagáis caso a su comportamiento, al menos por ahora.

Antes de comenzar la calibración es necesario plantear correctamente algunas líneas del firmware, como se indica a continuación.

- En la sección "VARIABLES":

```
volatile unsigned val = 0;
```
- En la rutina *lcdprint* es necesario reactivar las líneas:

```
lcd.print(val); // visualiza la calibración.  
lcd.print(" ");
```
- En la rutina *loop* es necesario reactivar las líneas:

```
for (int i=0; i<media; i++)  
{  
    val += analogRead(f_comp_reg);  
}  
val = (val/media); // calculo media y multiplicador ADC
```

Como cada instrumento de medición, también nuestro frecuencímetro necesita alcanzar una temperatura

operativa estable, por lo que aconsejamos realizar las operaciones de calibración después de estar encendido al menos 30 minutos.

Os recordamos que la calibración real consiste en encontrar el mejor valor para la constante de calibración *f\_comp*, mediante la variable *val*. En nuestras pruebas iniciales nos hemos chocado con el hecho de que cada intento nos obligaba a reprogramar el micro, entonces hemos pensado transformar, pero solo temporalmente, la graduación software en una graduación hardware.

Come ya sabéis, el potenciómetro de precisión R2 (un multivuelta vertical) sirve para aplicar al pin 28 del micro (pin 5 del ADC interno) una tensión variable entre 0V y aquella generada por Aref (1,1 V aproximadamente, para ajuste software); tal tensión, por obra del ADC, se convertirá en un valor entero entre 0 y 1.023, que será asumida por la variable *val* y después por la constante de calibración *f\_comp*. De esta manera, una vez aplicada la frecuencia de muestra a la entrada más idónea para medirla, y seleccionada la escala en Hz (para tener la máxima resolución posible), será necesario girar el cursor del potenciómetro R2 hasta leer sobre el display el valor de la frecuencia de muestra. Aunque el potenciómetro es un multivuelta, la regulación es fina, por lo que cuando comencéis a leer un valor bastante preciso debéis



girar muy delicadamente el cursor; además, y esto es muy importante, considerando que hemos aplicado el método de la media, para estabilizar la lectura del ADC, después de cada retoque del cursor conviene siempre realizar un par de lecturas para ver el efecto correcto. Cuando alcancéis el valor más preciso posible, no toquéis más el potenciómetro y tomar nota del valor visualizado en el display (por ejemplo 992). En este punto apagar el instrumento y modificar nuevamente el firmware, como se indica a continuación.

- En la sección "VARIABLES" escribir:

```
volatile unsigned val = xxx;
// en el lugar de xxx introducir el valor visualizado
// sobre el display a graduación completada (por ejemplo
992)
```

- En la rutina *lcdprint* es necesario desactivar las líneas:

```
/*
lcd.print(val); // visualiza la calibración.
lcd.print(" ");
*/
```

- En la rutina *loop* es necesario desactivar las líneas:

```
/*
for (int i=0; i<media; i++)
{
    val += analogRead(f_comp_reg);
}
val = (val/media); // calculo media y multiplicador ADC
*/
```

A continuación hay que reprogramar el micro. Desde este momento en adelante el potenciómetro R2 estará desactivado.

Habíamos pensado dejar el método de calibración hardware como definitivo, pero en las varias pruebas realizadas nos hemos dado cuenta que el ADC sufre siempre alguna influencia por parte del circuito, sobre todo en las mediciones RF, pero también en las diferentes condiciones operativas, por lo que el valor tiende a variar de  $\pm 1$  y esto conlleva variaciones de lectura también importantes, especialmente a frecuencias elevadas. Sin embargo el valor fijado como constante es invariable y no sufre ninguna alteración. Naturalmente, con el tiempo los componentes tenderán a cambiar sus características, por lo que podría hacerse necesaria una nueva calibración; en este caso, ningún problema: bastará con restaurar el firmware y repetir la operación hardware. No olvidéis nunca que la calibración la habéis realizado después de 30 minutos de encendido del instrumento, porque podréis

obtener la máxima precisión solo después de haber encendido el instrumento por ese mismo periodo de tiempo, durante la fase de calentamiento, es fácil leer valores no precisos.

Hablemos ahora de un componente fundamental, pero muchas veces olvidado, en la detección de la medición en frecuencia: la sonda. En el mercado se encuentran los clásicos cables con un extremo BNC macho y por el otro lado los dos cocodrilos rojo y negro; existen también los cables BNC macho-BNC macho, las sondas, a alta o baja impedancia, para mediciones de señales RF o BF. En conclusión, la elección es muy amplia, pero si se realiza mal se pierden las prestaciones del instrumento, tanto en términos de sensibilidad como en términos de máxima frecuencia.

Una sonda construida con el cable común blindado para baja frecuencia proporcionara buenas lecturas de la entrada BF, pero hasta 40÷50 kHz, al máximo 100 kHz, después las prestaciones disminuirán visiblemente. La entrada que causa menos problemas es la TTL, en cuanto las señales tiene amplitudes notables, de 3 a 12 Vpp, cualquier cable apantallado de una cierta calidad permitirá leer también los 50 MHz. Sin embargo la cuestión llega a ser extremadamente problemática con la medición de señales de radiofrecuencia, donde es indispensable recurrir a sondas específicas, construidas con cables que deben ser al menos del tipo RG58; pero este tipo de cables, a partir de 500÷600 MHz provocan una atenuación de la señal que empeora la sensibilidad de lectura del instrumento, sin embargo sin superar el metro de largo el RG58 proporciona prestaciones de optimo



nivel. Como prueba de ello, considerar las sensibilidades indicadas en las características del instrumento ha sido realizados propiamente con este tipo de cable, en la configuración a doble BNC macho, que es la condición ideal, ya que no hay dispersiones.

Pero el sistema del doble BNC solo se utiliza en las mediciones de instrumentos dotados de tal salida; lo ideal para las mediciones RF son las sondas específicas, que terminan con un punta rígida y un cocodrilo para conectar a la masa del circuito bajo test; estas están protegidas para eventuales picos de elevada tensión y permiten tomar medidas en puntos poco accesibles. Las sondas que terminan en doble cocodrilo, generalmente van bien para prototipos, breadboard, base perforada o circuitos con componentes espaciados y sobre los cuales es posible enganchar la borna; en caso contrario pueden también provocar cortocircuitos, por lo que al usarlas es necesario prestar mucha atención.

En cuanto a la protección de las entradas, nuestro frecuencímetro es capaz de soportar amplitudes y potencias bastante elevadas, pero naturalmente el instrumento es usado de manera adecuada, sobre todo en la entrada RF.

Para señales particularmente potentes, tales como aquellas a la salida de transmisores RF, es necesario adoptar un sistema de protección, como un atenuador de señal o una sonda protegida adecuadamente, o se puede evitar el contacto directo entre la sonda y la señal mediante dos técnicas que, naturalmente son eficaces solo con señales de elevada potencia.

Para la primera técnica habíamos previsto una entrada de tipo SMA, debido a que con este tipo de conexión existen en mercado distintos tipos de antenas sintonizadas sobre las frecuencias estándar hoy en uso: 434 MHz, 868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz las más conocidas. Conectando una de estas antenas (en base a la frecuencia a medir) a la toma SMA y activando la transmisión del aparato RF a medir, si la señal es adecuada será suficiente acercar las dos antenas entre ellas para leer la relativa medida sobre el display, evitando el contacto eléctrico e por lo tanto la sobrecarga de la entrada del frecuencímetro.

Otra técnica, menos eficaz pero extremadamente económica consiste en realizar una antena cableada, el factor fundamental es la longitud del trozo; se calcula mediante una fórmula muy simple:

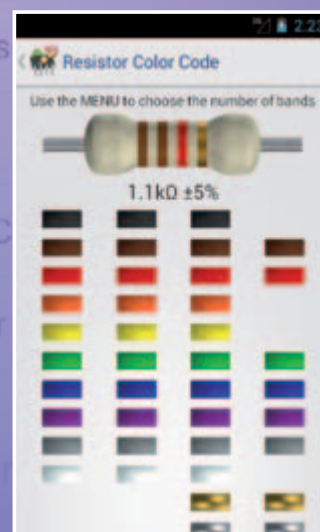
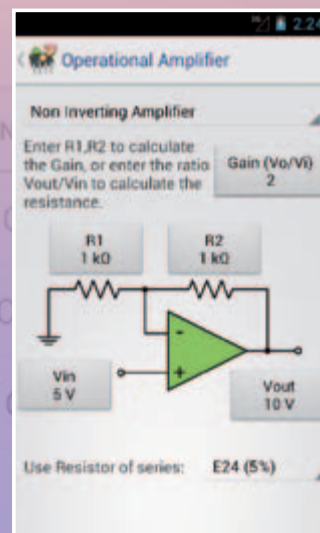
$$l = 299/F$$

donde  $l$  (*lambda*, longitud de onda) es la longitud del cable expresada en metros y  $F$  la frecuencia a medir, en MHz. Si el valor  $l$  es excesivo, se puede recurrir al

## La electrónica según Android

Entre las innumerables App para el mundo Android no podía faltar una dedicada a la electrónica:

**ElectroDroid** es un conjunto de herramientas (disponible en versión gratuita que conlleva la aparición de banners publicitarios, o de pago, libre de banner) que contienen el código de colores y números para las resistencias normales y SMD, el código de colores de los inductores y las fórmulas para el cálculo de reactancia y resonancia capacitiva / inductiva, del divisor de tensión y de las resistencias y condensadores en serie y paralelo, y el dimensionado de los operacionales, de los reguladores de tensión, de los circuitos que contienen LED, de simples filtros paso bajo/alto, de los circuitos con el NE555 y la distribución de pines de los conectores más comunes utilizados en electrónica (USB, serie, paralelo, Ethernet, RJ, SCART, DVI, HDMI). La App soporta la descarga de plugín para expandir las ya numerosas funciones.



factor lambda, dividiendo sucesivamente el resultado por 2 o 4 o 8, y obteniendo entonces una antena de 1/2, 1/4 o 1/8 de longitud de onda.

Veamos un ejemplo, suponiendo que queramos verificar la correcta transmisión de un aparato RF de CB (*Citizen Band* o Banda Ciudadana, sobre 27-30 MHz): en general estos aparatos emiten potencias de 2 o también 5 watt, que, si se utiliza la conexión directa, pueden representar un problema para la entrada RF. Recurriendo a la formula anteriormente citada, vemos que nos serviría un cable de largo  $299/27=11,07$  metros; ¡sin duda un poco grande para tener en un banco de trabajo! Este resultado se puede entonces dividir por 2 (5,5 m), por 4 (2,77 m) o por 8 (1,38 m). Cualquiera de estas longitudes, obviamente realizada con cable de buena calidad, es válida para detectar



**Fig. 4** - Visualización de la medición de 1GHz.

señales de frecuencia entre 24 y 30 MHz, teniendo en cuenta que las tolerancias (bien sea en longitud o en frecuencia) son bastante elevadas: de hecho el cálculo se efectúa teniendo en cuenta la frecuencia de centro banda del rango que se desea medir. Pero si en un extremo del cable se crimpa con un conector BNC macho, ¿que se pondrá en el extremo opuesto? Bueno, se puede dejar libre, simplemente quitando la cubierta algún centímetro, o entre central y la cubierta se puede soldar un condensador cerámico, de manera que se crea una especie de arco que captará la RF permitiendo a la entrada específica amplificar la amplitud y medir la frecuencia.

Muchos realizan estas antenas de hilo con un cable normal de cobre con cubierta, especialmente si son muy largas, para poder así recogerlo después, obteniendo buenos resultados. Una vez que tengas entre las manos el frecuencímetro listo y funcionando podréis hacer todas las pruebas que queráis, hasta encontrar aquellas más adecuadas a vuestras exigencias. Ahora, un rápido resumen sobre el simple uso del instrumento: al encenderlo se seleccionaran automáticamente la entrada BF (LED verde) y el rango de medida "Hz"; el display LCD, en ausencia de señal tendrá una retroiluminación muy baja.

En estas condiciones es necesario contar con 20-30 minutos de precalentamiento (o tendrás que contar con una mínima imprecisión inicial en las lecturas), después se puede seleccionar la entrada deseada (si es propiamente el BF no es necesario hacer nada), mientras a lo que se refiere a la escala, no hay problema, podéis recorrer a placer todos los rangos (Hz, kHz, MHz y GHz) sin miedo de over-range (fuera de rango), en cuanto al número de cifras activas es abundante también sobre el rango más bajo (Hz).

Cuando cambia el rango, el display muestra automáticamente no solo la unidad de medida, sino también un punto separador (excepto rango en Hz) para facilitar la lectura de las cifras.

En la **Fig. 4** el display visualiza bien 1.000 MHz, obviamente detectado sobre la entrada RF; tener en cuenta, de hecho, la indicación de rango de medida

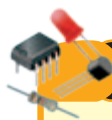
(MHz), el punto separador entre la parte de los MHz y la restante parte del valor visualizado, y la letra "R" que indica la entrada activa en este momento.

**Nota final:** considerar que, como todo instrumento de medida, también nuestro frecuencímetro garantiza la lectura  $\pm 1$  dígito, es decir, es normal que la última cifra tienda a cambiar en una unidad; por ejemplo, la lectura de una frecuencia de 1.258 Hz podría variar entre 1.257 y 1.259 Hz. Pero en nuestro caso es necesario considerar el factor divisor automático; para poder suplir a la problemática de la frecuencia máxima que consigue leer el micro hemos recurrido a dos divisores: uno, fijo, que divide cada señal RF  $\times 400$  y otro, automático, que si es necesario puede dividir la señal BF o TTL  $\times 10$ . En estos casos el "dígito" se representa justamente por estos factores de división. Es decir que mientras una frecuencia BF o TTL leída en ausencia de divisor (entonces el máximo es 5,5 MHz) tiene una resolución de  $\pm 1$ Hz, una frecuencia mayor de 5,5 MHz (siempre sobre BF o TTL) que necesita rápida conexión en automático del divisor  $\times 10$ , tendrá una resolución de  $\pm 10$ Hz; por ejemplo 8,5 MHz leídos en escala Hz se convierten en 8500000, pero en este caso el "dígito" se convierte en la segunda cifra desde la derecha, y no la primera, entonces podríais leer 8499990 o 8500000 o 8500010.

De la misma manera, en las mediciones RF, en las cuales tenemos un divisor fijo  $\times 400$ , la resolución se convierten justamente de  $\pm 400$ Hz; por ejemplo leyendo 550 MHz, el "dígito" se convierte en la tercera, entonces podríais ver 549999600 o 550000000 o 550000400.

De cualquier forma, un "error" sobre la 6ª cifra en el orden de MHz o sobre la 7ª cifra en el orden de las centenas de MHz es bastante insignificante como para poder ignorarlo; es necesario de hecho considerar que muchos generadores de señal tienen incluso una resolución más baja, no llegando más allá de las seis cifras completas.

(180033) ■



## el MATERIAL

Todos los componentes utilizados en este proyecto son fáciles de encontrar. Los originales de los circuitos impresos, así como el firmware utilizado para programar el microcontrolador Atmel, se pueden descargar de la web de la revista.

¡Conéctate enseguida a [www.nuevaelectronica.com!](http://www.nuevaelectronica.com!)