

Construya su propio acoplador de antena automático

Premio CQ 2002

El proyecto de este sintonizador de antena automático está dedicado a todos aquellos que no disponen de un laboratorio profesional, pero en cambio tienen una importante dosis de entusiasmo por construir sus propios aparatos.

XAVIER SOLANS*, EA3GCV



Foto A. Aspecto frontal del prototipo. La rotulación está hecha con «dymo», aunque el montaje bien merece un trabajo de serigrafía más perfeccionado. No obstante, tiene todas las indicaciones necesarias para que su manejo sea perfectamente inteligible.

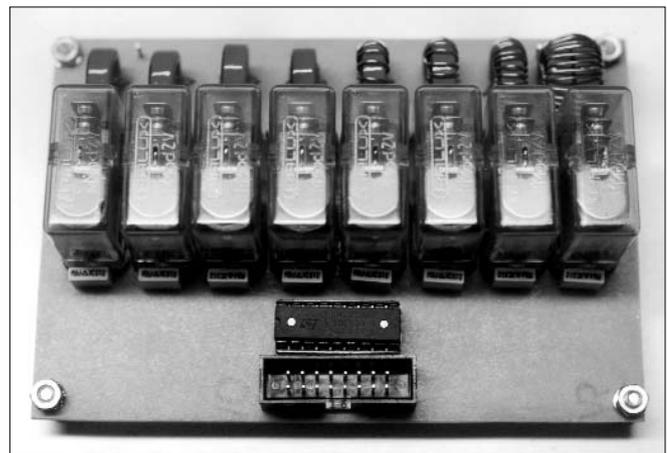


Foto B. La placa del banco de inductancias totalmente montada a punto para su instalación. Todo lo que queda es sujetarla en la caja y enchufarla mediante un conector.

La continúa aparición de nuevos componentes revolucionan constantemente el mundo de la electrónica. Una de las incursiones de los últimos años ha sido la llegada de una nueva generación de microcontroladores de bajo coste, relativamente fáciles de programar y muy sencillos de utilizar. En la actualidad, los procesadores PIC son una de las familias de microcontroladores más populares y asequibles del mercado. Además de su extendido uso profesional, resultan también idóneos para destinarlos a muchos proyectos de aficionado, y éste es uno de los motivos de que se encuentren en casi cualquier comercio de electrónica a unos precios muy razonables.

El acoplador de antena automático que se describe en este artículo está basado en uno de estos modernos microcontroladores (μC), el procesador se encarga de medir los niveles de potencia directa y reflejada, calcular la relación de ondas estacionarias (ROE) y, si ésta es superior a un límite establecido, buscar la combinación L-C (inductancia-capacidad) más adecuada para adaptar la impedancia del sistema de antena a la del transmisor.

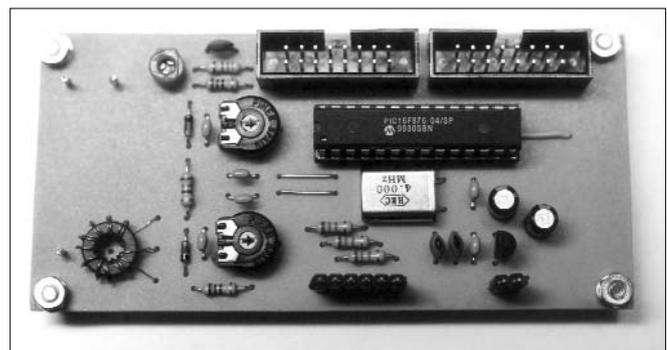


Foto C. El módulo de control terminado, con el toroide captador del sensor bobinado y el microcontrolador PIC colocado en su zócalo. Obsérvese que hay que efectuar tres puentes por encima de la placa, dos al lado del cristal y uno debajo del circuito integrado.

El placer de construirlo uno mismo

¿Quién puede negar que una de las facetas más fascinantes de la radio es la de los montajes propios? No hay nada tan gratificante como salir al aire con un aparato construido con nuestras propias manos. Sea como sea el circui-

* Apartado de correos 814, 25080 Lleida.
Correo-E: ea3gcv@wanadoo.es

to, desde el más sencillo receptor de conversión directa hasta un acoplador automático microcontrolado como el que nos atañe en el presente artículo, la satisfacción que nos invade en el momento de ponerlo en marcha es realmente indescriptible. Cada uno a nuestro estilo, a nuestra manera, dentro de nuestro grado de conocimientos e incluso con una limitada instrumentación, podemos hacer grandes cosas en el mundo de la «construcción propia». A lo largo del artículo se procura describir el montaje del acoplador dando los máximos detalles prácticos, de forma que pueda realizarse la construcción sin ningún contratiempo y al final del camino poder decir: «¡Lo he construido con mis propias manos!».

Un sintonizador de antena es sin lugar a dudas de suma utilidad, casi siempre imprescindible en nuestro «cuarto de las chispas», el placer de haberlo construido por nosotros mismos será un merecido motivo de orgullo, pero más aún tratándose de una moderna unidad sintonizadora de antenas automática. ¡Vamos a ello!

Cómo funciona el acoplador automático

Al igual que en un sistema convencional, el principio de un sintonizador de antena es una red de inductancia y condensador variables, con la salvedad que en nuestro caso los diferentes valores de inductancia y capacidad se obtienen mediante sendos bancos de toroides y condensadores conmutados por relés. Cada banco está compuesto por ocho valores, de inductancias (construidas sobre toroides) o capacidades según corresponda. Mediante ocho relés, se selecciona cualquier combinación de dichos valores, en serie en el caso de los toroides y en paralelo en el caso de los condensadores.

Cada banco representa un bus de 8 bits con el que se obtiene un total de 255 combinaciones. Poniendo un bit a 1 activaremos su relé correspondiente y un bit a 0 signifi-

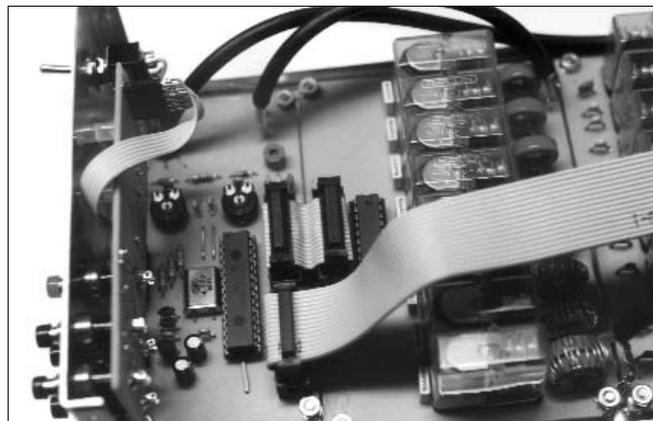


Foto D. Detalle interno del cableado desde la placa del circuito de control y los demás módulos. Se utiliza cable coaxial y cinta plana con sus correspondientes conectores.

ca que su relé estará desactivado. En el caso del banco de condensadores diferentes, se pueden conmutar hasta ocho condensadores diferentes en paralelo, cada relé conecta a masa uno de los condensadores, el bit 0, o de menor «peso», selecciona un condensador de 10 pF, consecutivamente cada bit corresponde a un condensador del doble de valor que el anterior, hasta llegar al octavo bit con el que se conmuta un condensador de 1.080 pF nominales, con estos valores se obtiene un margen teórico de 0 a 2.350 pF en 255 pasos con saltos mínimos de 10 pF.

En nuestro caso se utilizan los siguientes valores nominales: 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 y 1.080 pF.

Por ejemplo, para obtener el valor de capacidad de 220 pF conectaremos a masa los condensadores de 160 pF, de

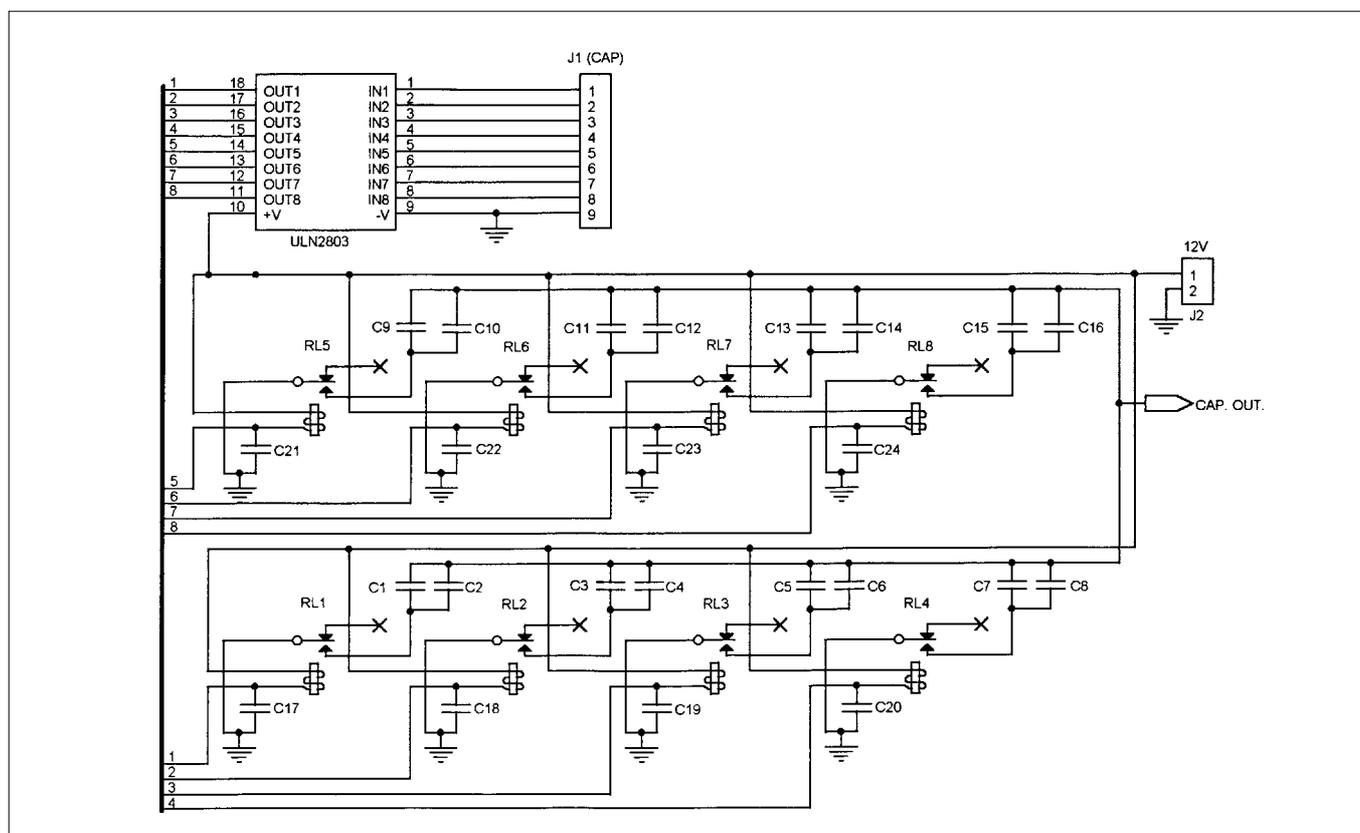


Figura 1. Banco de capacidades conmutables.

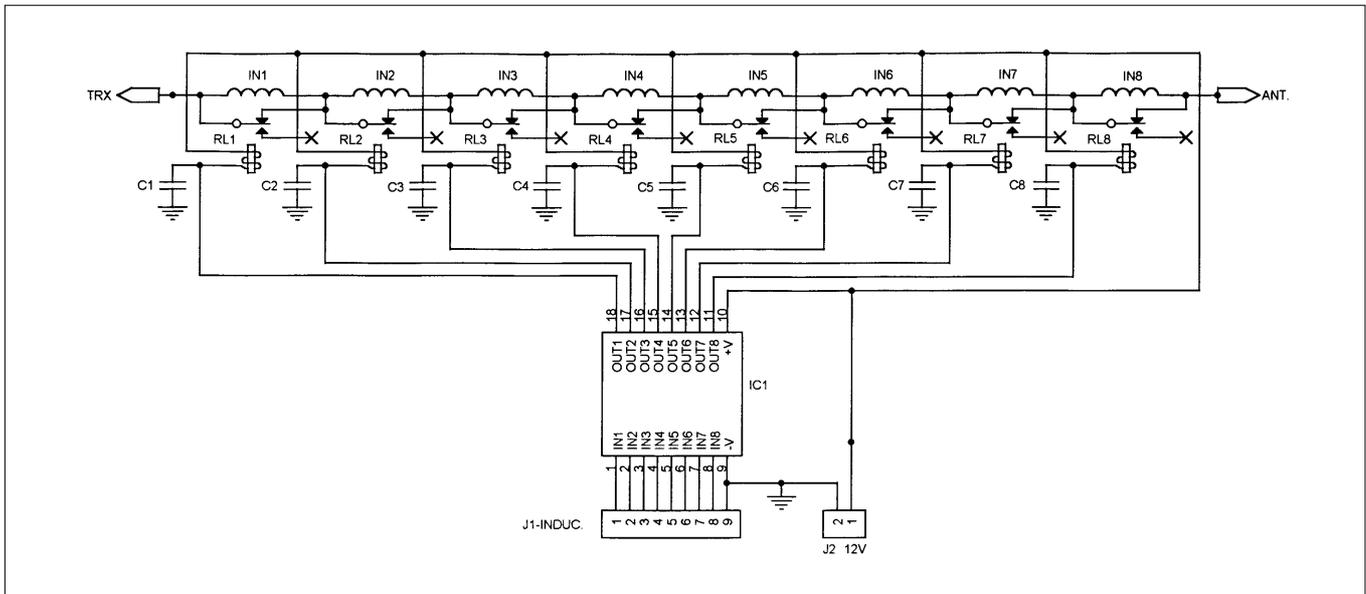


Figura 2. Banco de inductancias conmutables.

Lista de componentes

Banco de inductancias

RL1 a RL8 – Relés Ralux ZV 12 V	IN5 – 15 vueltas
Todos los toroides – Amidon T50-2 con hilo esmaltado 0,4 mm	IN6 – 21 vueltas
IN – 2 vueltas	IN7 – 31 vueltas
IN2 – 3 vueltas	IN8 – 31 vueltas (sobre dos toroides)
IN3 – 5 vueltas	C1 a C8 – 100 nF
Nota: IN8 se bobina sobre dos toroides juntos	IC1 – ULN2803

Banco de condensadores

RL1 a RL8 – Relés Ralux ZV 12 V	C8 – 39 pF
C17 a C24 – 100 nF	C9 – 82 pF
C1 – 10 pF	C10 – 82 pF
C2 – no utilizado	C11 – 330 pF
C3 – 10 pF	C12 – no utilizado
C4 – 10 pF	C13 – 330 pF
C5 – 39 pF	C14 – 330 pF
C6 – no utilizado	C15 – 1200 pF
C7 – 39 pF	C16 – no utilizado
Nota: C1 a C16 para 10 W deben ser al menos de 100 V, para 150 W de 1 kV	IC1 – ULN2803

Circuito de control

R1, R2, R3 – 150 Ω	C6, C7 – 15 pF
R4 – 3K3	C10, C11 – 10 μF/16 V
R5, R6, R7 – 10K	D1, D2 – 1N4148
RV1, RV2 – 100K	XT – Cuarzo 4 MHz
C1, C2, C4, C5, C8, C9 – 100 nF	IC1 – PIC16F876 grabado
C3 – 100 pF	IC2 – 78L05 regulador 5 V
Trimer – 22 pF (Murata miniatura)	FT37-43 – 10 vueltas bifilar
Nota: la toma intermedia se efectúa con dos extremos opues- tos de un hilo y el otro	

Circuito panel frontal

Todos los diodos – 1N4148	R1, R2 – 470 Ω
S1 a S5 – Pulsadores con contacto normalmente abierto	LED «OK» – LED rojo
	LED «ON» – LED amarillo

40 pF y de 20 pF en paralelo, cuya representación binaria es 00010110 (0+0+0+160+0+40+20+0). Para obtener una capacidad de 850 pF se escogerá el de 640 pF, el de 160 pF, el de 40 pF y el de 10 pF correspondiente al patrón 01010101 (0+640+0+160+0+40+0+10).

El banco de inductancias está compuesto por ocho toroides y trabaja de forma similar al de capacidades, sólo que en este caso los relés conmutan los toroides en serie para sumar su valor de inductancia, de forma que se dispone de 255 combinaciones de inductancia. El valor más bajo es 0,10 μH (L1) y el más alto es de 1,08 mH nominales (L8).

Este diseño de acoplador permite 65.025 combinaciones de inductancia-capacidad (255 x 255). Aunque el prototipo fue diseñado como una red en L simple, nada impide que el experimentador añada otro banco de capacidades para configurar un acoplador en pi, aunque en ese caso necesitaríamos disponer de tres buses de 8 bits y por tanto se debería ampliar el circuito de control.

Otra posibilidad muy interesante que utilizan algunos acopladores automáticos comerciales con una red en L, es conmutar el banco de capacidades de un lado a otro de la inductancia, ya sea hacia la antena o bien hacia el trans-

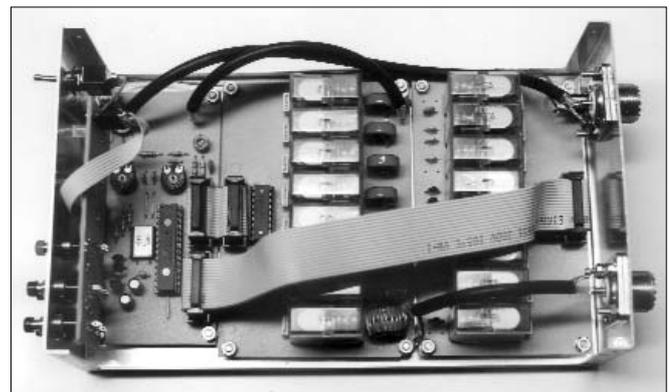


Foto E. Aspecto final del prototipo totalmente terminado. La caja parece hecha a medida, sin embargo, es una caja de aluminio estándar muy económica. Aún siendo un montaje modular hay que destacar la sencillez y pulcritud del cableado gracias al uso de cinta de cable plana multiconductor.

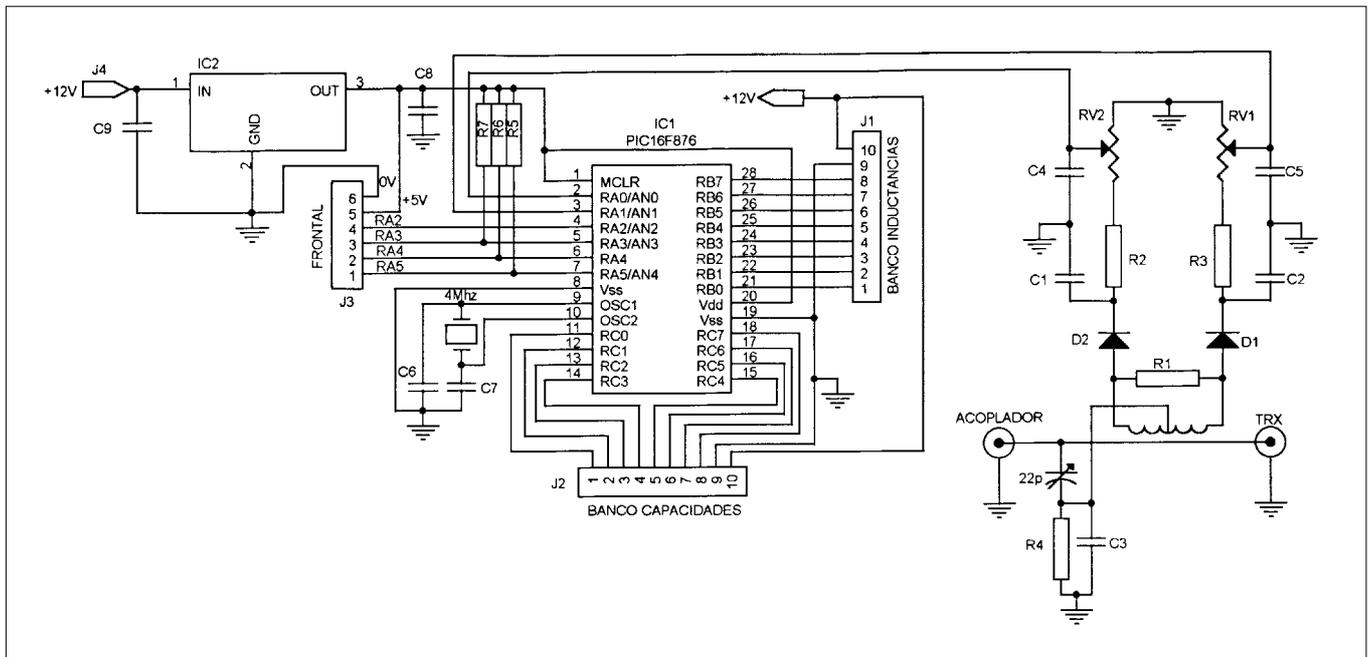


Figura 3. Circuito de control.

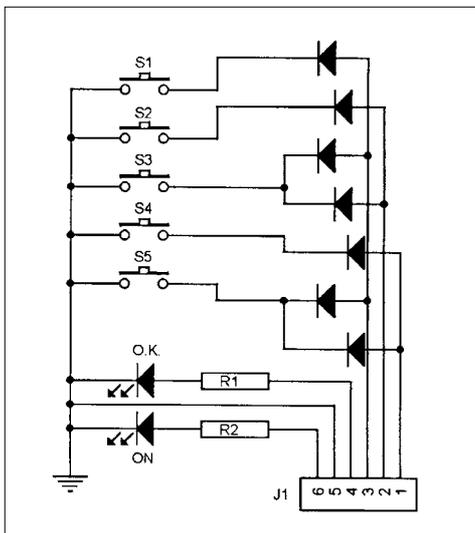


Figura 4. Esquema de placa frontal.

misor, según lo más adecuado para el tipo de antena y frecuencia a sintonizar en cada momento, esto podría realizarse incluso de forma manual y con este sencillo sistema se multiplicarían por dos las 65.025 posibles combinaciones iniciales.

Toda la parte inteligente del acoplador está en el módulo de control y radica en el programa grabado en el interior del microcontrolador PIC16F876 y el sensor que detecta los niveles de potencia directa y reflejada. Al activar el transmisor, el microcontrolador recibirá las tensiones de referencia desde el sensor y al presionar el pulsador TUNE efectuará los cálculos pertinentes para averiguar la ROE que presenta la antena en ese momento. Seguidamente el programa efectuará un primer ciclo de

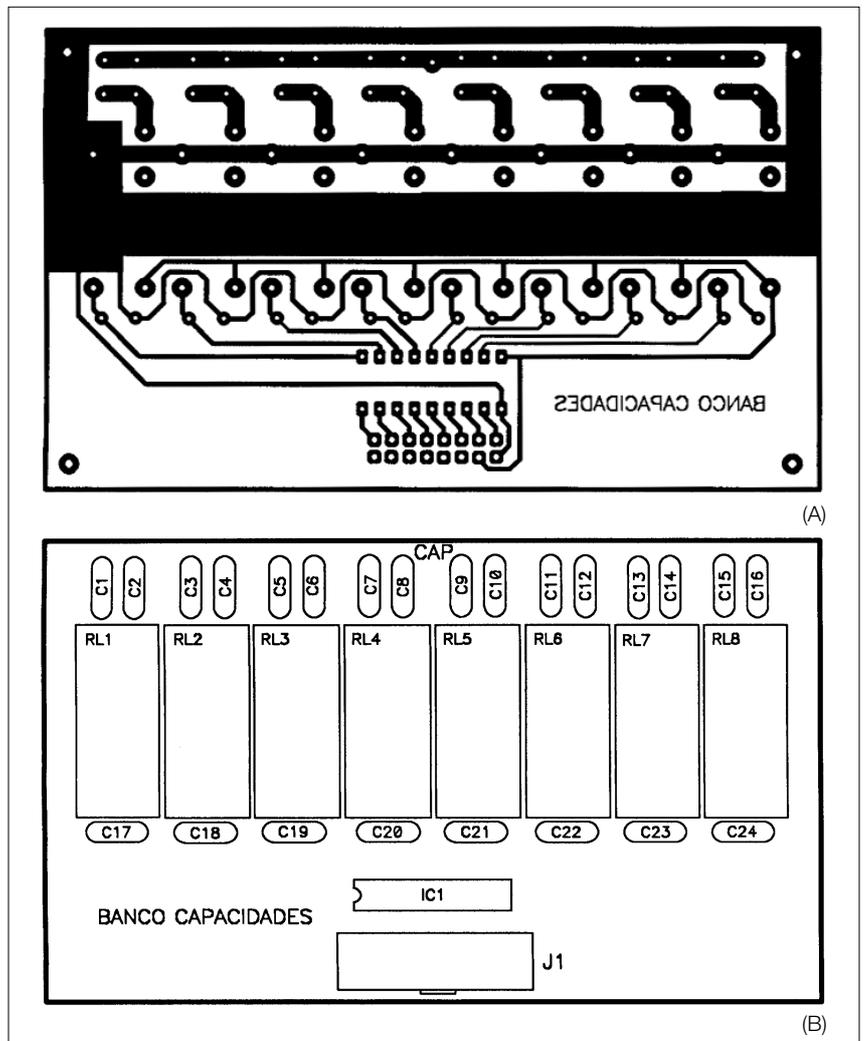


Figura 5. Plantilla de la placa (A) y el dibujo de la disposición de componentes del banco de condensadores (B).

sintonía «gruesa», de este primer ciclo, escogerá la combinación L-C con la que haya obtenido una ROE menor, después, a partir de esta primera combinación, efectuará un siguiente ciclo de sintonía fina buscando la combinación con la que se obtenga una ROE de 1:1,7 o menor. La sintonía correcta quedará indicada con el LED «OK» iluminado. El tiempo máximo que el acoplador necesita para efectuar la sintonía es de unos 6 o 7 s (segundos), si en ese tiempo no puede encontrar una ROE de 1:1,5 o menor considerará que no puede realizar el acoplamiento, terminarán los ciclos de sintonía y el LED «OK» parpadeará cinco veces. En el frontal del aparato se han dispuesto también dos parejas de pulsadores UP y SWN que permiten efectuar una «sintonía fina» manual, de forma que, aunque la mayoría de veces el acoplador nos dejará una ROE de menos de 1,5, podemos sin embargo efectuar un último retoque del ajuste de inductancia y capacidad manualmente. Presionando una vez uno de los pulsadores, incrementaremos (UP) o decrementaremos (DWN) en un paso el valor del banco seleccionado, manteniendo el pulsador apretado más de un segundo avanzaremos o retrocederemos automáticamente hasta que soltemos.

El programa interno del microcontrolador almacena en una memoria interna EEPROM (no volátil al desconectar la alimentación) las últimas doce sintonías efectuadas, y al iniciarse un nuevo ciclo de sintonía comprueba primero si con una de las doce presintonías «almacenadas» se obtiene la ROE adecuada. Este ingenioso sistema hace que si se utiliza el acoplador regularmente con la misma antena y en las mismas bandas, los ciclos de sintonía se efectúen en un tiempo de menos de 0,5 s (segundos). ¡Una auténtica gozada!

Una mirada al esquema teórico

Una vez comprendida la naturaleza de funcionamiento del acoplador, podemos dar un rápido vistazo al esquema eléctrico con el que se resuelve todo el sistema de conmutación, control y sensor de RF. En las figuras 1 y 2 se puede ver el esquema del banco de capacidades y el banco de inductancias, respectivamente. Los dos circuitos son muy parecidos, todos los relés son idénticos y el circuito excitador es el integrado ULN2803 que incorpora ocho canales compuestos por transistores en configuración Darlingston con sus respectivas polarizaciones, diodos de protección, etc. Este circuito integrado simplifica mucho la circuitería ya que evita colocar ocho transistores convencionales, resistencias, diodos, etc. El ULN2803 recibe la alimentación de 12 V para los relés por su patita 10, los ocho bits que nos vienen del circuito de control entran por las patitas IN1 a IN8 y las salidas respectivas hacia los relés son OUT1 a OUT8.

En el banco de capacidades conmutables cada relé conecta una condensador a masa (o una pareja), de forma que podemos obtener cualquier combinación de condensadores en paralelo. Cuando no hay ningún relé activado, el módulo no ofrece ninguna capacidad a la señal RF (terminal CAP).

En el banco de inductancias lo que se hace es puentear o no cada uno de los ocho toroides montados en serie, por ello se utiliza el contacto «normalmente cerrado» del

relé, es decir, cuando un relé está desactivado, los extremos de la inductancia están conectados a través de los contactos del relé quedando ésta anulada, al activarse, los contactos se abren y la potencia de RF pasa a través de esa inductancia. Los ocho réles actúan de la misma forma, de manera que podemos efectuar hasta 255 combinaciones de toroides en serie. Cuando no hay ningún relé activado la señal pasa de la entrada a la salida a través de los contactos cerrados de los ocho relés.

El circuito de control, que se muestra en la figura 3, está basado en un sencillo sensor de potencia directa y reflejada de banda ancha y un microcontrolador PIC16F876. El sensor está compuesto por una bobina con toma intermedia sobre un toroide FT37-43, la señal de transmisión se recoge pasando el vivo del cable coaxial procedente del transmisor a través del toroide. El nivel de potencia directa y reflejada se toma a través de sendos diodos conectados en los extremos del bobinado, el *trimmer* de 22p se utiliza para efectuar un ajuste de «cero» inicial con una carga de 50 Ω a la salida del acoplador. Asimismo, las resistencias variables de 100K ajustan el nivel de tensión que se envía al microcontrolador. La tensiones de referencia direc-

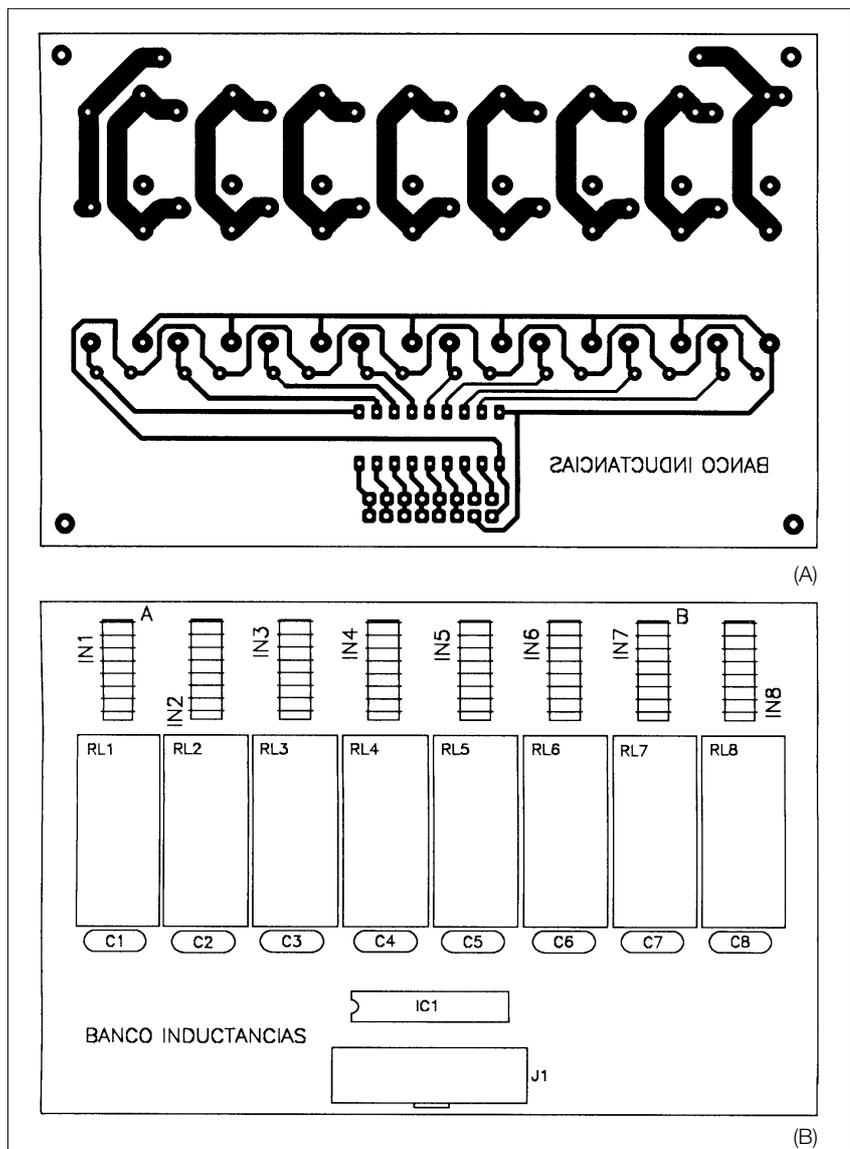


Figura 6. Plantilla de la placa (A) y el dibujo de la disposición de componentes del banco de inductancias (B).

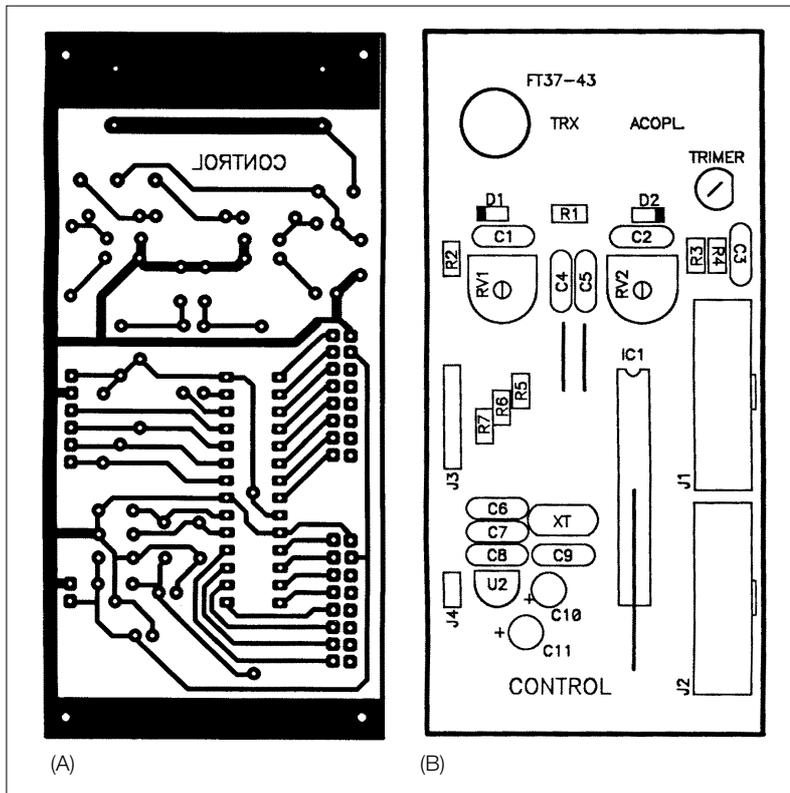


Figura 7. Plantilla de la placa para el circuito de control (A) y disposición de componentes (B).

ta y reflejada se envían a las entradas analógicas AN1 y AN0 del microcontrolador, respectivamente (patitas 3 y 2). El cristal XT de 4 MHz es para el oscilador de reloj interno del microcontrolador. Las salidas de control hacia los bancos de inductancia y capacidad son a través de los puertos de 8 bits RB y RC (RB0 a RB7 y RC0 a RC7), desde estos puertos se envían los patrones binarios por los que se registrarán cada uno de los bancos. La figura 4 muestra el esquema de la placa frontal donde van soldados los cinco pulsadores y la pareja de LED indicadores. Con una combi-

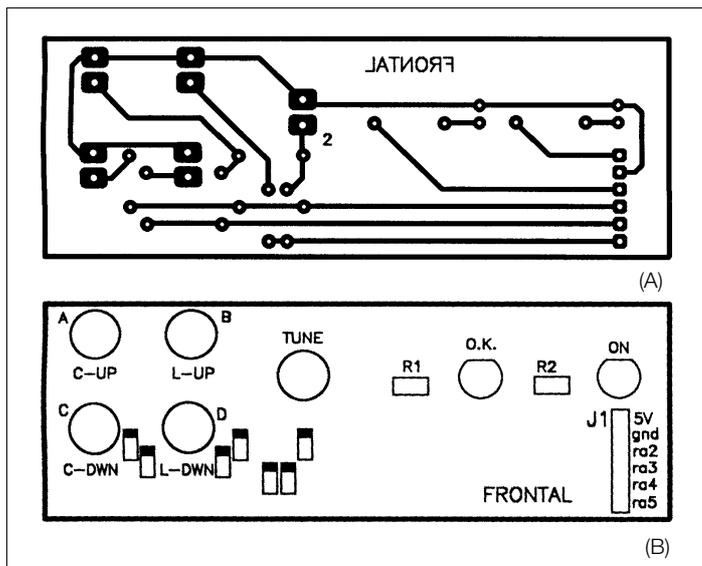


Figura 8. Plantilla de la placa para el panel frontal (A) y disposición de componentes (B).

nación binaria de diodos se consigue que los cinco pulsadores efectúen sus funciones a través de solo tres entradas del microcontrolador (RA5, RA4 y RA3). La RA2 está configurada como salida para alimentar el LED indicador de «OK».

Manos a la obra

Para la construcción de este proyecto he optado por un sistema modular, ésta es una solución que da mucho juego a la experimentación, ya que en cualquier momento podemos sustituir, añadir o intercambiar cualquiera de los módulos. Por ejemplo, podemos construir un panel frontal en una caja aparte y ubicar el acoplador remoto en la base de la antena mejorando sustancialmente su rendimiento, sustituir el módulo de control por otro diseño distinto, o incluso reproducir uno de los bancos para utilizarlo en otros proyectos diferentes.

En las figuras 5 y 6 se muestran las plantillas de las placas y los dibujos de la disposición de componentes para el montaje del banco de condensadores y el de toroides, respectivamente. La figura 7 es la plantilla de la placa para el circuito de control que incorpora el microcontrolador y el sensor de RF y la figura 8 corresponde a la placa para el panel frontal donde se soldarán los pulsadores y LED. Hay que avisar que las plantillas no están impresas con su tamaño real y para utilizarlas deberá efectuarse la conveniente corrección de escala.

En cada uno de los bancos se utilizan ocho relés de 12 V, los condensadores deben soportar la tensión mínima necesaria según la potencia de trabajo prevista (ver «Lista de componentes»). Las conexiones de RF deben hacerse con cable coaxial, todas las demás se realizan con conectores de circuito impreso para cinta de cable plano, de esta forma se simplifica enormemente el trabajo de cableado desde el módulo de control al banco de capacidad, al de inductancia y al módulo del panel frontal.

Una vez terminado el montaje e instalación de las placas, cableado, etc., conectaremos la alimentación al acoplador y una carga de 50 Ω a la salida de antena y procederemos a los ajustes del circuito de control. Con la carga en la salida y una portadora de unos 5 W de potencia en la entrada, ajustaremos la resistencia variable RV1 hasta obtener unos 1,2 V como tensión de potencia directa en la entrada RA1/AN1 (patita 3) del microcontrolador. Después ajustaremos la RV2 en la misma posición en la que hayamos dejado la RV1, a continuación ajustaremos el trimer de 22p para que la línea de referencia reflejada en la entrada RAO/ANO (patita 2) obtengamos la mínima tensión cercana 0 V.

Para el prototipo que puede verse en las fotos utilicé una caja Retex RM12 en la que el montaje queda como si estuviera «hecho a medida». La estética del frontal puede mejorarse mucho, para simplificar el trabajo utilicé sencillas etiquetas *dymo*, pero sin duda el montaje se merece un poco más de esmero en su serigrafía externa.

En la práctica

Mi sorpresa fue total cuando en los primeros tests del sintonizador intenté acoplar el soldador. Sí, habéis leído bien, el soldador de mi mesa de trabajo (¡poco más de un metro de cable!), y con mi nuevo y flamante FT-817 logré una ROE por debajo de 1:1,5 en todas las bandas de 30 a 10 metros, aunque necesité dar bastantes toques a los

pulsadores de sintonía manual. En 80 metros me resultó imposible encontrar un punto de sintonía, pero en la banda de 20 metros y con una señal muy fuerte pude felicitar las Navidades a mi querido amigo Joan, EA3FXF, que vive unas calles más arriba y que ya estaba informado de mi experimento, después contacté con otros colegas locales que por cierto quedaron un poco «moscas» con mi antena de «soldador acoplado»... Al día siguiente y ya un poco más en serio, estuve probando con un hilo largo de punta a punta del balcón que apenas debía medir unos 7 m, y sin toma de tierra pude sintonizar incluso en las bandas de 80 y 40 metros con una ROE de 1:5, no hace falta decir que en estas bandas el rendimiento era extremadamente

pobre, pero en cambio, en 20 y 15 metros efectué algunos contactos con países de Europa y Africa. Obviamente ningún sintonizador hace ningún milagro, en definitiva, su trabajo es tan solo engañar al transmisor para que en su salida de antena «vea» 50 Ω , pero en lugares de espacio muy limitado suele ser una de las únicas soluciones. No pretendamos hacer DX con un trozo de hilo de dos o tres metros ¡colgado de la lámpara del techo!

Me queda pendiente efectuar algunos cambios y mejoras en el programa interno del microcontrolador y estoy ansioso esperando que llegue el buen tiempo para salir al campo y a la playa a probar antenas a mis anchas... 

Artículo publicado en CQ, núm. 220, Abril 2002