



generador de funciones

El laboratorio de todo buen aficionado o profesional de la electrónica debe disponer, entre su instrumental básico, de un generador de funciones. En el número 1 enero/febrero de 1980 de Elektor, presentamos nuestro primer generador de funciones, un sencillo aparato que actualmente siguen construyéndose muchos de nuestros amigos. El nuevo diseño que presentamos utiliza el mismo circuito integrado que su antecesor para la generación de funciones: XR2206 de Exar. La experiencia obtenida a lo largo de estos últimos años ha hecho posible este nuevo diseño, con mejoras sustanciales frente al antiguo, más sofisticado y mucho más eficaz en algunas aplicaciones.

el «non plus ultra» del XR2206

Características técnicas

- **Banda pasante:** 1 Hz... 110 kHz dividida en cinco escalas.
- **Controlado por tensión externa:** 0,1... 10 V en la entrada de VCO. Impedancia de entrada 1 M Ω
- **Forma de onda:** senoidal, cuadrada y triangular.
- **Distorsión armónica en la onda senoidal:** menor que 0,5%.
- **Tensión de salida continua:** para todas las formas y amplitud comprendida entre 100 mV y 10 V (pico a pico) ajustable entre -5 y +5 V, con una impedancia de salida de 50 Ω , cortocircuitable.
- **Tensión de salida alterna:** para todas las formas de onda y amplitud comprendida entre 10 mV y 1 V (pico a pico) regulable sin tensión continua, en un margen de 0,1 Hz a 110 kHz (-3 dB). Impedancia de salida 600 Ω , cortocircuitable.
- **Salida SYNC:** onda cuadrada, amplitud 500 mV_{pp}, sin componente de continua, impedancia de salida 1 k Ω , cortocircuitable, impedancia en circuito abierto mayor de 10 k Ω .

por falta de interés. Al contrario, habrán observado los lectores avisados, que últimamente nuestro laboratorio está acusando un notable aumento en el instrumental de medida (capacímetro, generador de impulsos y próximamente un frecuencímetro). No podía faltar un buen generador de funciones. Cinco años representan, en términos electrónicos, un tiempo bastante largo; es lógico pensar que los nuevos diseños utilicen nuevas técnicas. ¿Por qué, entonces, hemos utilizado en un diseño nuevo el archiconocido integrado, generador de funciones XR2206? Sinceramente, nosotros mismos quedamos bastante sorprendidos después de ver que esta solución, que no es precisamente la más moderna desde el punto de vista técnico, era, sin lugar a dudas, la mejor. Una vez más, estamos ante un generador simple y de fácil montaje, no demasiado caro y sin componentes «exóticos». Un circuito con componentes discretos de uso comercial sería demasiado complicado, y un circuito digital que generase la forma de onda con una EPROM seguida de un rápido y preciso convertidor digital-analógico, no sería, desde luego, asequible a cualquier bolsillo. La búsqueda de una versión mejorada del 2206 no es tan fácil como parece. Han transcurrido casi diez años desde la presentación de este integrado

El generador de funciones publicado en nuestro primer número, se ha construido miles de veces y desde luego no sería justo desecharlo

generador de funciones

y aún no ha sido sustituido por otro mejor. Ante esta situación, el equipo de Elektor, sólo tenía una opción: diseñar el mejor generador de funciones basado en el 2206, jamás visto. Precisamente esto es lo que hemos hecho. Para empezar, hemos dedicado unas páginas en exclusiva, dentro de esta misma revista, al principal protagonista del generador de funciones, el XR2206. Juzguen ustedes mismos.

¿Qué es lo que puede hacer?

El fin estaba claro: desarrollar un pequeño y eficaz generador de funciones. Nadie elegiría una caja llena de botones e interruptores, difícilmente manejable, si pudiera disponer de un sencillo instrumento de buena calidad, como dejan ver los datos técnicos y el panel frontal del instrumento. Las ondas cuadrada, triangular y senoidal bastan como formas de onda estándar. Hemos omitido intencionadamente el ajuste de frecuencia y la visualización digital. En cambio, disponemos de una escala lineal de frecuencias, que después de haber sido ajustada una única vez, se comporta bastante linealmente. Quien disponga de un buen frecuencímetro, podrá medir la frecuencia con precisión.

Para usos normales, es importante contar con un amplio margen de tensión de salida con un nivel de offset variable. Por ello, disponemos en la salida DC de una tensión máxima de 10 V (pico a pico) y de una impedancia de salida de 50 Ω . La tensión de continua de salida puede ser variada entre -5 y 5 V, lo que permite multitud de posibilidades en aplicaciones digitales. Podemos obtener así ondas cuadradas, tanto en TTL como en CMOS. El circuito dispone, además, de una salida especial para audio, sin componente continua («AC-OUT»), que puede variarse entre 10 mV y 1 V (también pico a pico) para una impedancia de salida de 600 Ω .

Para obtener buenas formas de onda en alta frecuencia hemos incluido en el generador de funciones un amplificador de salida de banda ancha acoplado en continua. Como en todos los generadores de funciones, existe una pequeña distorsión en la salida senoidal, por haberse obtenido ésta de una onda triangular. La medida de distorsión armónica en aparatos de alta fidelidad debe hacerse con un generador de onda senoidal, basado en un oscilador en puente de Wien. A pesar de esto, hemos invertido mucho tiempo y esfuerzo en obtener del XR2206 una onda senoidal lo más limpia posible. Como se ve

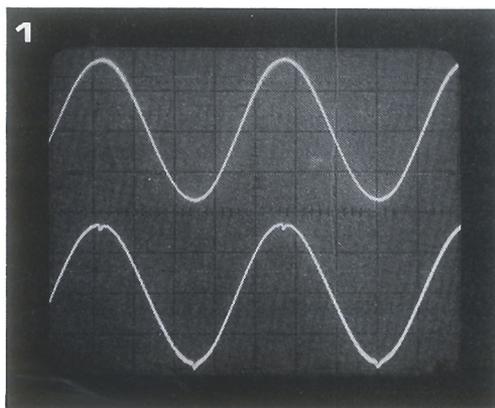


Figura 1. Las ondas senoidales generadas por nuestro generador de funciones (arriba) y uno de tipo industrial utilizando el 2206 (abajo).

en la fotografía 1, nuestra onda senoidal tiene mucha menos distorsión que cualquier generador de funciones basado en el XR2206 industrial. Hemos obtenido una distorsión inferior al 0,5%.

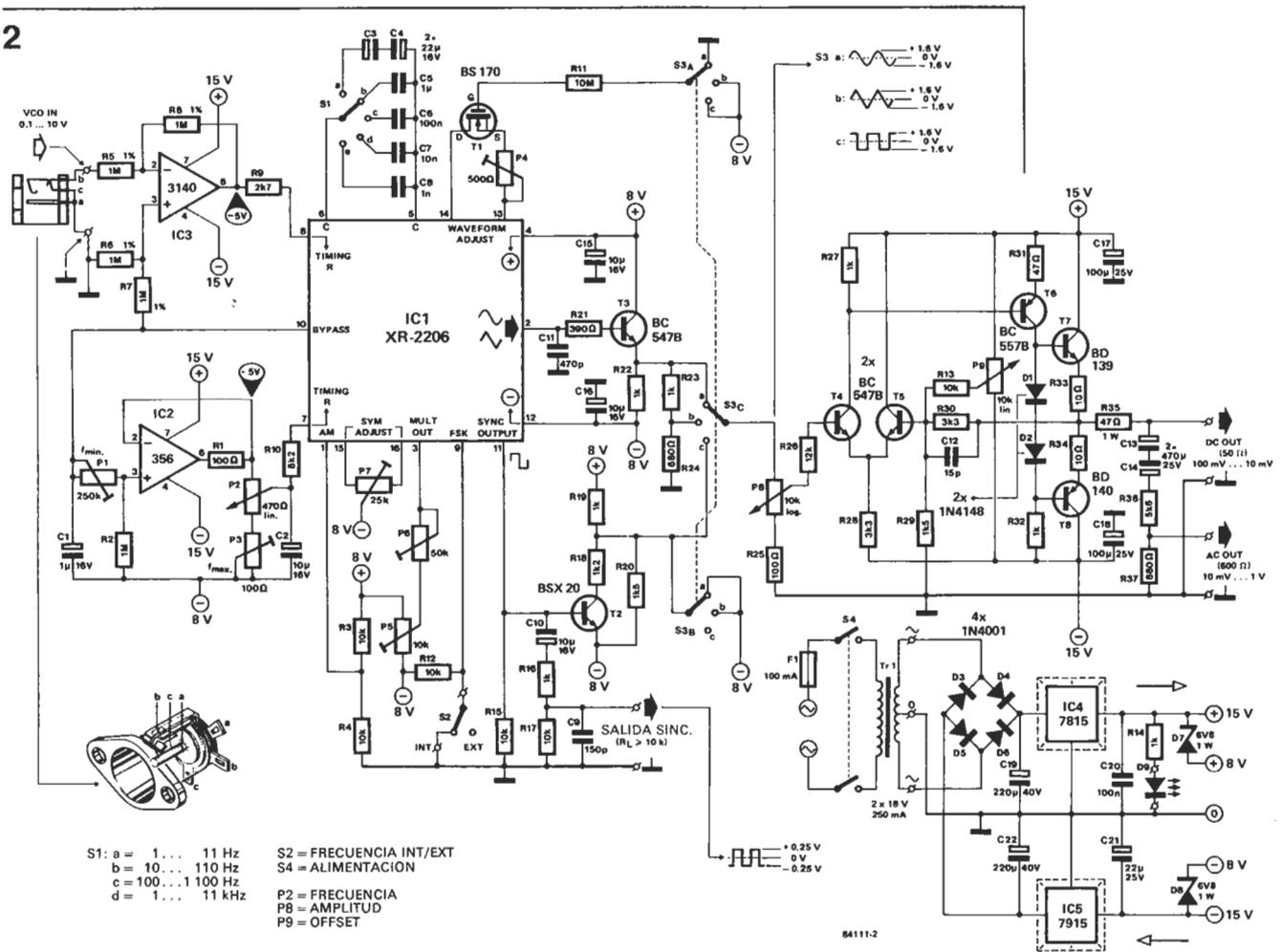
Otro detalle importante es la entrada del VCO. Una tensión comprendida entre 0,1 y 10 V obtiene a la salida una frecuencia lineal en el margen de 1...100.

El circuito sólo podrá funcionar óptimamente reduciendo al máximo la longitud de las pistas del circuito impreso y los cables de conexión. Por esta razón, hemos diseñado un circuito impreso de doble cara. Esto no mejora únicamente la calidad de la onda de salida, sino que, además, simplifica su construcción.

Circuito

Empecemos por la parte más sencilla: la fuente de alimentación. Es de configuración usual y proporciona tensiones simétricas gracias al rectificador en puente y el transformador de toma intermedia. Con los estabilizadores de 15 V, tanto positivo como negativo, obtenemos a la salida tensiones de 15 y -15 V, respectivamente. El diodo LED D9 indica el funcionamiento del generador de funciones. Como el IC2206 admite como máximo la tensión de 26 V, limitamos la salida con dos diodos zener D7 y D8 a una tensión de 8 y -8 V. Las exigencias de la tensión de alimentación del integrado no son demasiado grandes, gracias a un perfeccionado estabilizador interno de tensión que proporciona una tensión de 3 V referida a la borna de alimentación negativa. Esta tensión, presente en la patilla 10 del integrado y desacoplada a través del condensador C1, se utiliza como referencia para el ajuste de frecuencia con el potenciómetro P2. El amplificador operacional, conectado como seguidor de tensión, evita una carga excesiva en el terminal 10. La patilla 7 del integrado proporciona igualmente la tensión de referencia de 3 V. La frecuencia del generador es directamente proporcional a la intensidad que sale de este terminal. Esta tensión, y con ella la frecuencia, depende de la tensión en el cursor del potenciómetro P2. Si esta tensión es alta, es decir, cercana a los 3 V, fluirá una pequeña corriente a través de R10, con lo cual la frecuencia será mínima (f_{\min}). Cuando la tensión en el cursor se acerca a 0 V, tendremos la frecuencia máxima (f_{\max}). Gracias a los potenciómetros P1 y P3, se ajustan el principio y final de escala de frecuencias. En el terminal 9 (entrada FSK), puede conmutarse el ajuste de frecuencias del 2206, del terminal 7 al terminal 8. Esta posibilidad se utiliza fundamentalmente para el control externo de frecuencia. Al conmutar el interruptor S2, es el valor de la intensidad en la patilla 8, el que define la frecuencia. El terminal 7 y el potenciómetro P2 están ahora desconectados. La intensidad que se extrae de la patilla 8 depende de la caída de tensión en la resistencia R9, que a su vez viene determinada por la tensión de control en la entrada VCO-IN a través del amplificador operacional IC3. En él se invierte la tensión de control de forma que si aumenta, también lo hará la frecuencia (con la tensión en el cursor del potenciómetro P2 era al revés). Al mismo tiempo IC3 cumple la misión de asegurar que el rango de la tensión de salida del VCO corresponda al

2



- S1: a = 1... 11 Hz
- b = 10... 110 Hz
- c = 100... 1 100 Hz
- d = 1... 11 kHz
- S2 = FRECUENCIA INT/EXT
- S4 = ALIMENTACION
- P2 = FRECUENCIA
- P8 = AMPLITUD
- P9 = OFFSET

rango en el cual actúa IC1. Para hacer esto se conecta la entrada no inversora de IC3 a la tensión de referencia de 3 V a través del divisor R6/R7. Si no se utiliza la entrada VCO, puede eliminarse toda la parte del circuito formada por IC3, R5...R9 y S2. La conexión para el punto común de S2 debe ser entonces la masa.

La frecuencia de salida del generador viene definida por los condensadores C3...C8, que conmutan con el interruptor S1. Para el rango más bajo de frecuencia se utilizan dos condensadores electrolíticos puestos en serie, dando así una capacidad bipolar equivalente de 11 µF. El método de selección de la forma de onda de salida es relativamente complicado y está basado en un conmutador de tres circuitos y tres posiciones (S3). La posición A selecciona la onda senoidal. La parte A del conmutador S3 inserta electrónicamente el potenciómetro P4 entre los terminales 13 y 14 (ajuste de forma de onda), gracias al VMOFET, T1. La parte B cortocircuita la salida T2 a la alimentación de -8 V de forma que la onda cuadrada no distorsione a la onda senoidal. La parte C del conmutador conecta la señal de IC1 a través de T3 al amplificador de salida. La posición b selecciona la onda triangular. La parte A desconecta ahora el potenciómetro P4 a través del BS170 (ajuste de la onda senoidal). La parte B sigue inhibiendo la onda cuadrada y la sección C sigue conectando la salida de IC1 al amplificador de salida. Existe una pequeña diferencia entre estas dos posiciones, si se tiene en cuenta que en esta posición la señal procedente de

IC1 (patilla 2), «viaja» a través de un divisor de tensión, después de T3. Esto es necesario para mantener iguales las amplitudes de las ondas senoidales y triangulares, ya que la salida del XR2206 da una amplitud mayor a la onda triangular.

La onda cuadrada se selecciona cuando S3 está en la posición c. El transistor T1 sigue desconectado gracias a la parte A del conmutador. La sección B abre ahora el cortocircuito entre la salida del transistor T2 y la alimentación negativa, permitiendo a la onda cuadrada llegar al punto c de S3C, que transferirá la onda cuadrada al amplificador de salida.

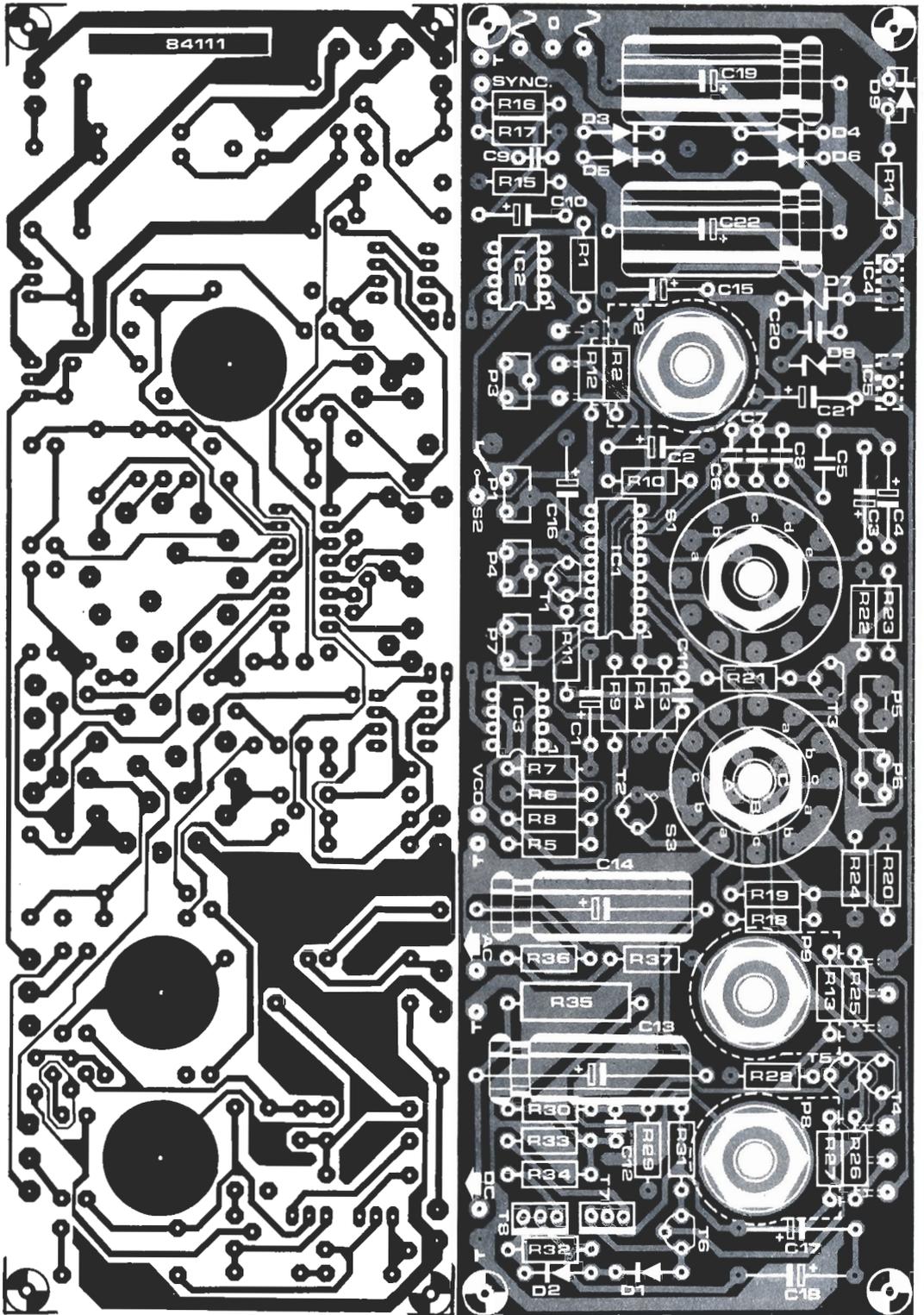
La onda cuadrada está siempre disponible en la salida SYNC de IC1 (terminal 11). Su amplitud es de 0,5 V_{pp}, pero es una onda cuadrada pura. Toda la componente continua se bloquea gracias al condensador C10. La simetría de la onda se ajusta con el potenciómetro P7 conectado entre las patillas 15 y 16. La amplitud de la señal de salida en el terminal 2 del integrado, se ajusta con P6 y la componente continua se modifica con el potenciómetro P5. La entrada AM del 2206 (patilla 1), se fija a 4 V de continua por medio del divisor de tensión R3/R4.

El amplificador de salida es de componentes discretos y consta de un amplificador diferencial (T4 y T5), un excitador (T6) y dos transistores de potencia (T7 y T8). La ganancia de este amplificador viene definida por la relación R30/R29, algo superior a 3. El condensador de 15 pF, C12, asegura la estabilidad de frecuencia sin afectar excesivamente a la rapidez de respuesta del amplificador. La

Figura 2. El circuito de generador de funciones está formado por tres secciones básicas: el generador basado en IC1, la etapa amplificadora de salida acoplada en continua (T4...T8) y la alimentación simétrica (IC4 e IC5).

Figura 3. La placa de circuito impreso del generador es de doble cara para reducir al máximo el cableado y las conexiones exteriores.

Las dos caras del circuito impreso se muestran en las páginas correspondientes a circuitos impresos en esta misma revista.



Lista de componentes

Resistencias:

R1, R25 = 100 Ω
 R2 = 1 M
 R3, R4, R12, R13, R15,
 R17 = 10 k
 R5, R6, R7, R8 = 1 M, 1%
 película metálica
 R9 = 2k7
 R10 = 8k2
 R11 = 10 M
 R14, R16, R19, R22, R23,
 R27, R32 = 1 k
 R18 = 1k2
 R20, R29 = 1k5

R21 = 390 Ω
 R24, R37 = 680 Ω
 R26 = 12 k
 R28, R30 = 3k3
 R31 = 47 Ω
 R33, R34 = 10 Ω
 R35 = 47 Ω /1 W
 R36 = 5k6

P1 = 250 k ajustable
 vertical
 P2 = 470 Ω pot. bobinado
 con eje largo
 P3 = 100 Ω ajustable
 vertical
 P4 = 500 Ω ajustable
 vertical
 P5 = 10 k ajustable
 vertical
 P6 = 50 k ajustable
 vertical
 P7 = 25 k ajustable
 vertical
 P8 = 10 k pot. log.
 (con eje largo)
 P9 = 10 k pot. lineal
 (con eje largo)

Condensadores:

C1 = 1 μ /16 V
 C2, C10, C15,
 C16 = 10 μ /16 V
 C3, C4, C21 = 22 μ /25 V

C5 = 1 μ (MKT)
 C6 = 100 n (MKT)
 C7 = 10 n (MKT)
 C8 = 1 n (MKT)
 C9 = 150 p
 C11 = 470 p
 C12 = 15 p
 C13, C14 = 470 μ /25 V
 C17, C18 = 100 μ /25 V
 C19, C22 = 220 μ /40 V
 C20 = 100 n

Semiconductores:

D1, D2 = 1N4148
 D3...D6 = 1N4001
 D7, D8 = 6V8/1 W zener

D9 = LED, rojo
 T1 = BS170
 T2 = BSX20, 2N2369
 T3...T5 = BC547B
 T6 = BC557B
 T7 = BD139
 T8 = BD140
 IC1 = XR2206
 IC2 = LF356N
 IC3 = CA3140E
 IC4 = 7815
 IC5 = 7915

Conmutadores:

S1 = conmutador giratorio
 «galleta» bipolar, 6 circuitos

S2 = interruptor de palanca
 miniatura monopolar
 S3 = conmutador giratorio
 «galleta», 4 polos 3 circuitos
 S4 = conmutador miniatura
 bipolar de red

Varios:

F1 = fusible 100 mA
 Tr1 = transformador de red
 2 x 18 V/250 mA
 3 tomas exterior d.c. para la
 entrada
 VCO (ver figura 2)
 (Cirkit/Ambit)
 Radiadores para IC4 e IC5

corriente de polarización de la etapa de salida viene dada por D1 y D2. La intensidad de salida se limita con la resistencia R35, que al mismo tiempo define la impedancia de salida en continua. El offset de continua puede ajustarse con el potenciómetro P9. El «volumen» de salida se ajusta con P8. Se ha utilizado un condensador bipolar electrolítico, compuesto por los condensadores C13 y C14 para suprimir la componente continua. La tensión de salida se reduce con el divisor de tensión R36/R37, cuyos valores se han elegido para una impedancia de salida de 600 Ω.

Cuidados en la construcción

Cualquier instrumento de laboratorio, especialmente si es de construcción casera, debe realizarse con mucho cuidado, por ello le aconsejamos que termine de leer este artículo antes de comenzar a «pelearse» con el soldador.

El circuito impreso es de doble cara, pero no tiene taladros metalizados. Por esta razón será necesario soldar un cierto número de componentes a ambas caras de la placa. Los componentes en cuestión se indican a continuación y deben montarse preferiblemente al principio.

- Una conexión de P1 y P7.
- Un lado de R2, R3, R4, R6, R7, R12, R15, R17, R20, R22, R24, R25, R28, R29, R37 y C20.
- El polo negativo de C1, C2, C15 y C19.
- El polo positivo de C17 y C21.
- El colector de T3 y T5.
- El emisor de T2.
- Ambos lados de C16, C18 y D8.
- Dos patillas de P5, P9 e IC4.
- Una conexión de IC5, S2 y la salida de DC.
- Finalmente, hay dos pares de conexiones entre caras, cerca de IC2 e IC3. Se trata de cuatro cables insertados en los agujeros correspondientes y soldados por ambas caras.

Los puntos de conexión de los potenciómetros (P2, P8 y P9), los conectores, el transformador y el interruptor S2 pueden conectarse a la placa por medio de espadines. Los correspondientes a P2, P8, P9 y el transformador se conectan por la cara contraria a los componentes. Extremen las precauciones para evitar que se produzcan cortocircuitos con la placa, al situar en ella los espadines. Los condensadores de tipo MKT se montan

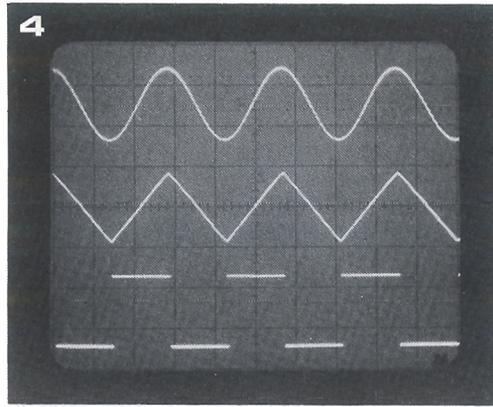


Figura 4. Estas son las distintas señales de salida que pueden obtenerse con el generador de funciones: senoidal, triangular y cuadrada (200 μs/división horizontal, 1 V/división vertical).

separados ligeramente de la placa para impedir cortocircuitos. Debe cuidarse también el montaje de los potenciómetros.

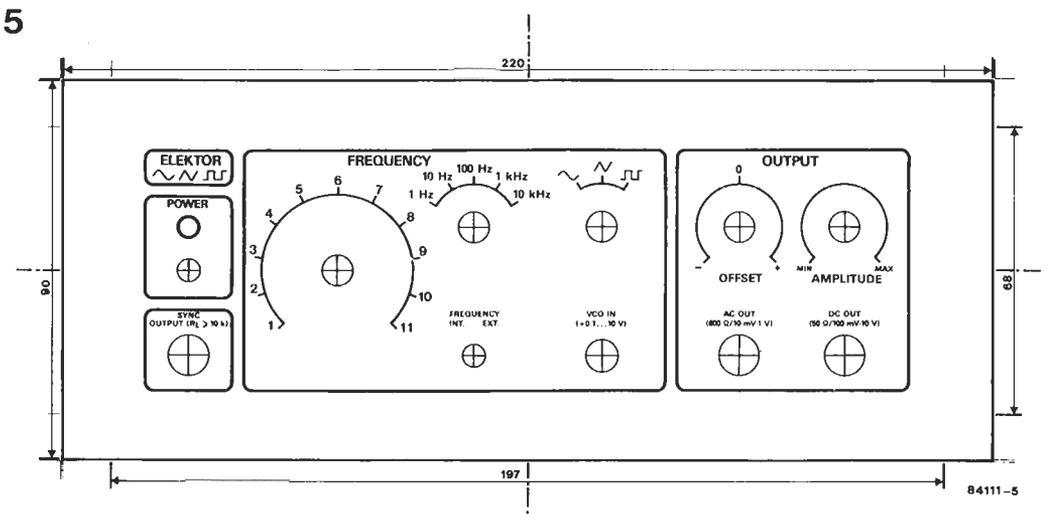
Los reguladores de tensión IC4 e IC5 se montan sobre la cara opuesta a la de los componentes con la base metálica orientada hacia P2. Cada uno de estos integrados debe llevar su propio disipador o bien montarse ambos sobre una placa metálica de dimensiones aproximadas a 60 × 100 mm (y 1,5 mm de espesor), como en nuestro prototipo. En ambos casos, los integrados deben estar aislados eléctricamente de los disipadores.

Hay distintos tipos de conmutadores rotativos que pueden utilizarse en este proyecto. Si los conmutadores utilizados disponen de una serie de muescas para ajustar el número de posiciones necesarias, será conveniente utilizarlas.

Como en muchos otros diseños, se ha previsto la placa de circuito impreso con las dimensiones apropiadas para una caja tipo Verobox (número 075-01411D, 205 × 140 × 75 mm). Las esquinas de la placa deberán limarse ligeramente para introducirla después en la caja (la misma que se utilizó en el generador de impulsos o en el medidor de capacidades). El acabado final del instrumento es muy atractivo, gracias al panel autoadhesivo que deberá colocarse en la cara frontal de la caja. Deben realizarse antes los agujeros necesarios.

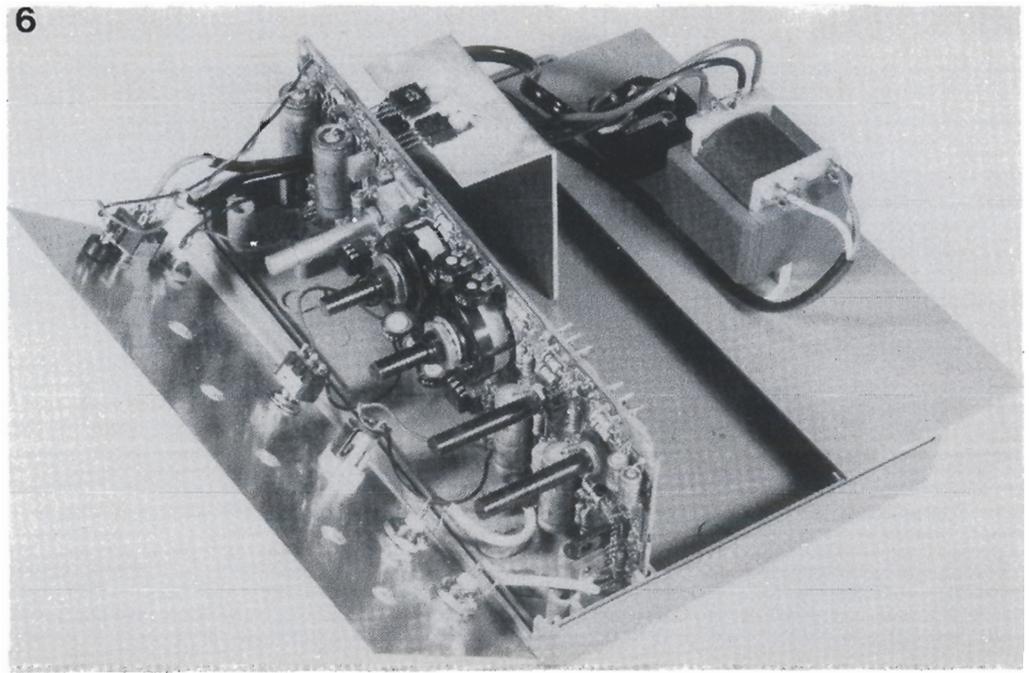
El LED y la entrada VCO se montan sobre el frontal de la placa directamente. El resto puede reconocerse fácilmente en la fotografía correspondiente. El hecho de que todos los componentes hayan sido agrupados en la misma placa simplifica considerablemente el trabajo.

Figura 5. Este panel frontal da a nuestro generador de funciones un aspecto realmente atractivo. Antes de adherir la lámina al frontal de la caja, deben realizarse los orificios correspondientes.



generador de funciones

Figura 6. En esta figura se aprecian los detalles del montaje del generador de funciones. La placa frontal, el circuito impreso y la placa posterior se ubican directamente en los carriles correspondientes. Los interruptores, potenciómetros y conectores se disponen directamente sobre la placa frontal. El transformador, el portafusibles y el conector para el cable de red se montan sobre el panel trasero. Nota: Es importante aislar el interruptor de red y las conexiones al transformador para evitar posibles contactos con C19 o C22.



Ajuste

No todos los potenciómetros de ajuste quedan accesibles una vez ubicado el circuito en la caja definitivamente, por lo cual es aconsejable ajustarlos primero. Conecte el transformador de alimentación temporalmente y antes de encender el circuito lleve el cursor de P8 completamente a la derecha (amplitud máxima), todos los demás potenciómetros a la posición intermedia. El interruptor S2 deberá estar cerrado, S3 en la posición de onda cuadrada (c) y S1 en el rango de 1...11 kHz (d).

Aplice ahora tensión al circuito. Conecte un multímetro en la escala más sensible a la salida DC OUT y ajuste P9 hasta que la aguja indique 0 V. Mida la amplitud pico a pico de la onda cuadrada en esta salida con un osciloscopio y anótela.

Lleve ahora el conmutador S3 a la posición b (onda triangular) y mida la tensión pico a pico; debe retocar P6 hasta que la amplitud de ésta coincida con la anteriormente anotada. Al mismo tiempo, ajuste con P5 la tensión continua a 0 V. Repetir el ajuste de P5 y P6

unas cuantas veces, hasta que la amplitud y nivel de tensión continua sean correctos. Ponga ahora el conmutador S3 en la posición a (salida senoidal). Con los potenciómetros P4 y P7 debe reducir la distorsión al máximo. Podría utilizarse para esto un medidor de distorsión, aunque puede también realizarse este ajuste «a ojo». Dirijase ahora a P4 y P7 y vea cómo afectan a la onda de salida del osciloscopio.

El último ajuste se refiere a la escala de frecuencias. Para ello debe montar la placa en circuito impreso sobre el panel frontal y poner un botón adecuado sobre P2. El botón debe montarse de forma que cubra todo el rango de la escala de frecuencias. Lleve P2 hasta que indique exactamente «1» en la escala y retoque P1 hasta que la frecuencia sea de 1 kHz, medido con el osciloscopio o con un frecuencímetro. Lleve ahora el mando de P2 a «10» y retoque P3 hasta medir 10 kHz.

Todos los demás rangos están ajustados automáticamente con una tolerancia que depende de la precisión de los condensadores C3...C8 utilizados. Si es del 5%, la precisión de la escala será del 5%. Una excepción es la primera escala con los condensadores C3 y C4, ya que el valor nominal del conjunto es un 10% superior (11 μF en lugar de 10 μF) y, además, los condensadores electrolíticos tienen una tolerancia comprendida entre -10 y 50%. Puede probarse con varios condensadores hasta obtener la máxima precisión. Incluso pueden ensayarse otros valores, como por ejemplo, 47 μF en serie con 10 μF . Los perfeccionistas pueden también comprobar la tolerancia de los demás condensadores, lo cual es un trabajo de niños si se utiliza el capacímetro de Elektor. También se podrán elegir para P1 y P3 potenciómetros Cermet y las resistencias R2, R9 y R10, de película metálica. Podría realizarse también un pequeño frecuencímetro para dar una medida directa de la frecuencia de salida de nuestro generador de funciones.

Pero ninguno de estos detalles es estrictamente necesario. Nuestra intención original era diseñar un circuito básico, sencillo y fiable y sin duda alguna lo hemos conseguido.

Figura 7. El generador de funciones una vez acabado y antes de ser definitivamente cerrado en la caja. El cable de alimentación pasa a través de la placa de circuito impreso, para llegar al interruptor de red en el panel frontal. Ambos reguladores de tensión (soldados en la cara de pistas del circuito impreso), se atornillan sobre un disipador de aluminio que podrá hacerse en casa. El potenciómetro bobinado para el ajuste de frecuencia está situado debajo del disipador.

