

# 20 proyectos de osciladores y multivibradores

Los amplificadores operacionales se pueden aplicar de varias maneras a la generación de formas de onda. Se pueden hacer funcionar fácilmente como osciladores y multivibradores, o utilizarlos para generar ondas senoidales, cuadradas, triangulares y otras muchas en forma de rampa o impulso. Pueden usarse fácilmente en la producción de formas de onda con ritmos de repetición desde algunos ciclos por hora hasta 20.000 ciclos por segundo.

En el presente capítulo se describen veinte interesantes proyectos de osciladores y multivibradores de varias clases con op-amps, todos ellos desarrollados alrededor del popular op-amp en circuito integrado 741. Las conexiones de patillas en los esquemas que siguen corresponden a la versión dual-inline de 8 patillas de dicho op-amp.

## Oscilaciones senoidales

Las ondas senoidales de baja frecuencia se pueden generar de varias maneras. Una de las más sencillas es conectar, como se indica en la figura 4.1, una red doble T ajustada críticamente entre la salida y la entrada de un amplificador operacional inversor.

En dicha figura, la red doble T está formada por R1 - R2 - R3 - R4 y C1 - C3 - C4. En un circuito doble T normal se dice que la red está equilibrada si sus componentes cumplen la relación  $R1 = R2 = 2(R3 + R4)$ , y  $C1 = C2 = C3/2$ . Cuando la red está perfectamente equilibrada, se comporta como un

atenuador dependiente de la frecuencia, con salida nula a la frecuencia central  $1/6, 28 R1 C1$ , y valores finitos de salida a las demás frecuencias. Cuando la red doble T no está perfectamente equilibrada, a la frecuencia central da una salida atenuada pero no nula, cuya fase depende del sentido del desequilibrio: si el desequilibrio es debido a que  $(R3 + R4)$  tiene un valor demasiado pequeño, la fase de la salida resulta invertida respecto a la de la entrada.

En el circuito de la figura 4.1 la entrada de la red doble T proviene de la salida del op-amp, y su salida se aplica al terminal de la entrada inversora del op-amp. R4 está ajustada críticamente de modo que la doble T dé una salida pequeña a su frecuencia central, que estará invertida en fase respecto a la entrada. De este modo, a la frecuencia central, hay en conjunto una inversión de fase nula entre la salida y la entrada del op-amp, por lo que el circuito oscilará a dicha frecuencia central. Con los valores de componentes indicados en la figura, el circuito oscila a una frecuencia de 1 kHz aproximadamente.

La amplitud de la salida del circuito se puede hacer variar continuamente, mediante R7, entre cero y 5 V eficaces aproximadamente. En la práctica, R4 tiene que ser ajustada en el punto preciso en que el circuito arranca a oscilar, porque en estas condiciones la salida contiene menos de un 1% de armónicos. En este circuito se tiene un control automático de amplitud gracias a la no-linealidad creciente del op-amp cuando la señal de salida se acerca al valor de recorte.

Otro sistema de control automático de amplitud es el del circuito oscilador de la figura 4.2. En este caso, entre la salida y la entrada del op-amp, se ha conectado un diodo de silicio D1 a través del divisor de tensión R7. A partir de que la tensión entre extremos del diodo supera unas décimas de voltio, la conducción de éste aumenta progresivamente, lo que reduce la ganancia del circuito amplificador, y actúa como control automático de amplitud.

Para poner a punto el circuito de la figura 4.2, colocar en primer lugar el cursor de R7 en el extremo correspondiente a la salida del op-amp. A continuación ajustar R4 hasta que cese la oscilación y avanzar lentamente el cursor de la misma hasta rebasar ligeramente el punto en que se inicia la oscilación. En estos momentos la señal senoidal de salida tiene una amplitud de unos 500 mV pico a pico, esto es, 170 mV eficaces, y se ha finalizado el ajuste. R7 permite entonces variar la señal de salida entre 170 mV y 3 V eficaces con un contenido de distorsión despreciable.

Los circuitos de las figuras 4.1 y 4.2 son excelentes osciladores de frecuencia fija, pero no son recomendables para su aplicación con frecuencia variable debido a la dificultad que representa hacer variar simultáneamente tres o cuatro componentes de la red doble T. En cambio, combinando el op-amp con redes selectivas en puente de Wien, se consiguen osciladores senoidales de frecuencia variable excelentes, según se muestra en los circuitos de las figuras 4.3 a 4.5.

Estos tres circuitos, cuya frecuencia de trabajo se puede va-

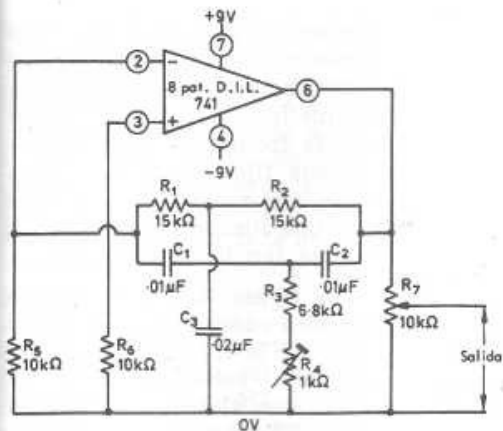


Fig. 4.1. Oscilador de 1 kHz de doble T.

riar en más de una década mediante las resistencias variables en tándem R2 y R3, se distinguen entre sí solamente en el sistema que utilizan para conseguir el control automático de amplitud. En los tres casos, la red Wien está conectada entre la salida y el terminal de la entrada no inversora del op-amp y está formada por R1 - R2 - R3 - R4 y C1 - C2. Entre la salida y la entrada inversora de op-amp se encuentra un divisor de tensión que regula el control automático de amplitud. La red Wien actúa como atenuador dependiente de la frecuencia con un factor de atenuación igual a tres a su frecuencia central. En consecuencia, la condición básica para una oscilación senoidal con baja distorsión es que la sección del circuito que controla la amplitud dé automáticamente una atenuación fraccionalmente inferior que la red Wien, con lo que se asegura que la ganancia total del circuito sea sólo fraccionalmente superior a la unidad.

En el circuito de la figura 4.3 el control automático de amplitud se consigue conectando R5 en serie con la lamparilla de incandescencia LP1, constituyendo un divisor de tensión autoajutable. La lámpara puede ser cualquiera entre 12 y 28 V con consumo inferior a 50 mA. Cuando el circuito está ajustado correctamente, la señal senoidal de salida contiene aproxi-

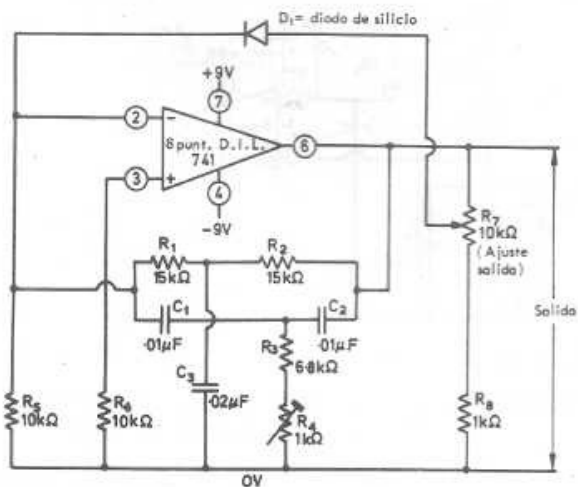


Fig. 4.2. Oscilador de doble T regulado con diodo para 1 kHz.

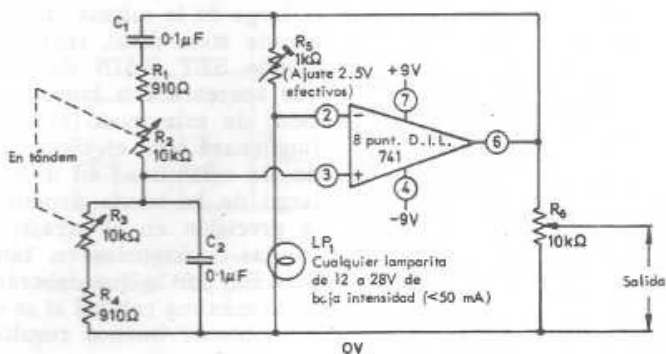
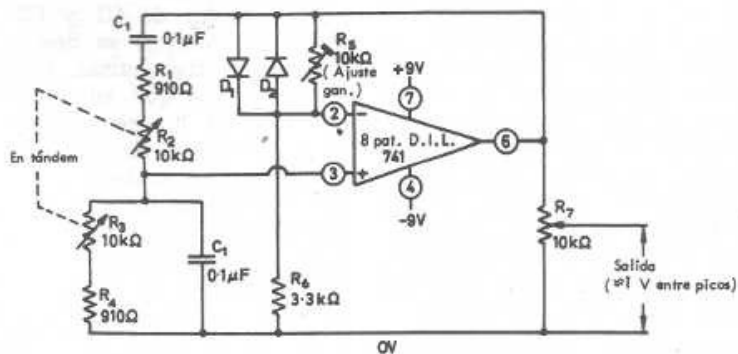
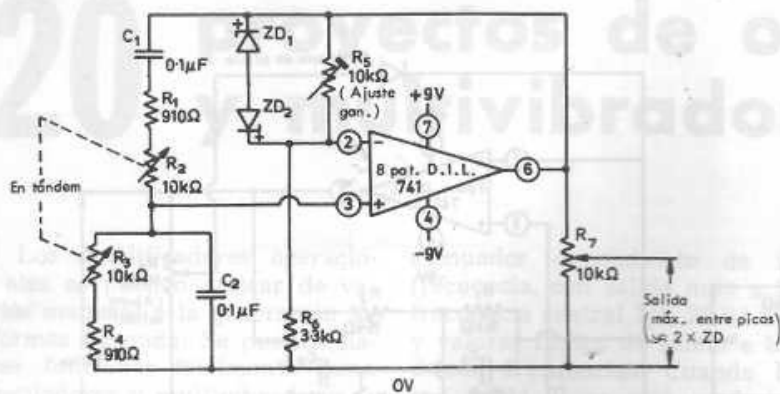


Fig. 4.3. Oscilador de puente de Wien variable entre 150 Hz y 1,5 kHz.



Observ.: D<sub>1</sub> = D<sub>2</sub> = diodos de silicio

Fig. 4.4. Oscilador de Wien regulado con diodos para una variación de 150 Hz a 1,5 kHz.



Observ.: ZD<sub>1</sub> = ZD<sub>2</sub> = diodos Zener de 3,3V a 5,6V

Fig. 4.5. Oscilador de Wien regulado con Zener para una variación de 150 Hz a 1,5 kHz.

madamente un 0,1% de distorsión armónica total, y su consumo total es de unos 6 mA. La puesta a punto del circuito se efectúa simplemente ajustando R5 de modo que se obtengan 2,5 V eficaces a la salida en la posición de R6 correspondiente a salida máxima.

Los circuitos de las figuras 4.4 y 4.5 se apoyan, para regular su amplificación total, en el arranque de la conducción de diodos o Zeners. Ambos circuitos producen formas de onda con una ligera distorsión (1 ó 2%) difícil de evitar, pero presentan la importante ventaja de no producir "rebote" cuando se barre la gama de frecuencias en circuitos de frecuencia variable. La salida pico a pico máxima de cada circuito es aproximadamente el doble de la tensión de ruptura del elemento semiconductor regulador. En el circuito de la figura 4.4 los diodos empiezan a conducir a 500 mV y, en consecuencia, el circuito da una salida pico a pico de sólo 1 V. En cambio, en el circuito de la figura 4.5, se han conectado los diodos Zener ZD1 y ZD2 en oposición y pueden tener valores de incluso 5,6 V, con lo que la salida pico a pico máxima podrá ser de unos 12 V.

El procedimiento para la puesta a punto de los circuitos de las figuras 4.4 y 4.5 es como sigue. En primer lugar, ajustar

el mando SET GAIN de modo que el circuito apenas inicie su funcionamiento estable, con el mínimo de distorsión. Barrer a continuación la banda de frecuencias, comprobando que exista oscilación en toda ella. Si a lo largo de la misma apareciera alguna zona débil, reajustar el mando SET GAIN de manera que aparezca una buena oscilación; de este modo el circuito funcionará bien en toda la banda. La estabilidad en nivel a lo largo de la banda depende de la precisión en el arrastre entre las resistencias en tándem R2 - R3, por lo que deberán ser de la máxima calidad si se quieren obtener buenos resultados.

Los circuitos de las figuras 4.3 y 4.5 están diseñados para cubrir el margen entre 150 Hz y 1,5 kHz, con los valores de componentes indicados. Con distintos valores de C1 y C2 se puede cambiar, si se desea, el margen de frecuencias, teniendo en cuenta que aumentando el valor de los condensadores se disminuye la frecuencia. La frecuencia de trabajo máxima (para salida de baja distorsión) disponible de cada uno de estos circuitos queda limitada a unos 25 kHz debido a la limitación de la velocidad de subida del amplificador operacional 741.

Los circuitos osciladores en puente de Wien que acabamos de ver se pueden modificar de

varias maneras para que satisfagan exigencias especiales. Pueden adaptarse, por ejemplo, para que funcionen como osciladores de frecuencia fija o de frecuencia fija ajustable, o adaptarse simplemente para trabajar con una fuente de alimentación simple (en lugar de doble).

La figura 4.6, por ejemplo, muestra cómo modificar el circuito de la figura 4.3 para que funcione como oscilador de 1 kHz con alimentación simple. R7 y R8 forman un divisor de tensión que da una tensión de reposo mitad de la de la línea de alimentación, y C3 desacopla la c.a. ofreciendo una trayectoria de baja impedancia efectiva para la alimentación del circuito. Normalmente, con R3 y R4 fuera del circuito, la oscilación tiene lugar a algo menos de 1 kHz. R3 y R4 se ponen en paralelo con el brazo R2 del puente, con lo que la frecuencia de trabajo se eleva hasta exactamente 1 kHz. Si los condensadores de sintonía estuvieran sensiblemente fuera de tolerancia, se aumentaría o disminuiría convenientemente el valor de R3, de modo que la frecuencia se hiciera exactamente 1 kHz.

Finalmente, la figura 4.7 muestra cómo modificar el circuito de la figura 4.5 para que funcione como vibrato u oscilador de trémolo a 8 Hz. La red Wien está compuesta por R1 - R2 y C1 - C2, y los diodos Zener ZD1 y ZD2 y el divisor fijo de tensión R3 - R4 sirven para regular la amplitud. R3 tiene un valor ligeramente superior al doble del de R4, con lo que se garantiza la oscilación con poca distorsión.

## Generadores de onda cuadrada

Los amplificadores operacionales pueden convertirse en excelentes generadores de onda

cuadrada de baja frecuencia, conectándolos en la configuración de oscilador de relajación indicada en la figura 4.8a. El examen de este circuito muestra que contiene dos divisores de tensión alimentados ambos de la salida del op-amp y cuyas salidas se dirigen a cada una de las entradas del op-amp, respectivamente. Uno de ellos es de resistencias, está formado por R2 y R3, y alimenta la entrada no inversora del op-amp. El otro comprende R1 y C1 y genera una onda cuadrada de temporización que se aplica a la entrada inversora del op-amp. El op-amp en sí se emplea como comparador de tensión regenerativo o conmutador, activado por los niveles relativos de sus dos señales de entrada.

Para comprender el funcionamiento de circuito básico, supongamos para empezar que C1 está completamente descargado y que acaba de tener lugar una acción regenerativa de conmutación, bajo la cual la salida del op-amp se ha situado en su nivel de saturación positiva aplicando, en consecuencia, una fuerte tensión positiva a ambos divisores de tensión. En estas condiciones, a través del divisor de resistencias R2—R3, se aplica la mitad de la tensión positiva de saturación a la entrada no inversora del op-amp, mientras que a la entrada inversora del mismo se aplica una tensión positiva creciente a medida que C1 se carga según una ley exponencial a través de R1 a partir de la salida positiva del op-amp. A medida que avanza el tiempo, la tensión creciente exponencialmente del terminal inversor se acerca, y finalmente excede, a la del terminal no inversor, y es entonces cuando el op-amp sale del estado de saturación y su salida empieza a desplazarse hacia valores negativos. En estas condiciones, la tensión en la entrada no inversora del op-amp se hace también negativa gracias a R2 y R3, pero la de la entrada inversora tiene tendencia a mantenerse en su estado

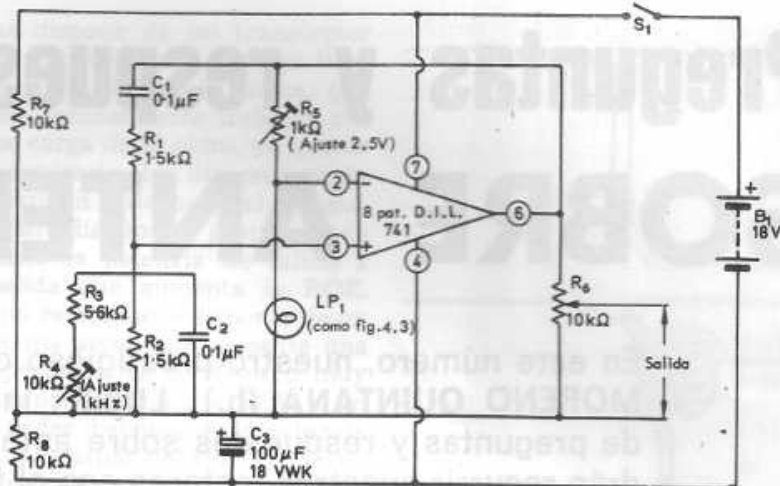
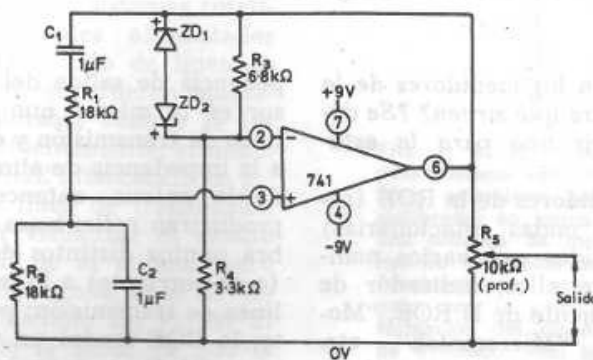


Fig. 4.6. Oscilador de Wien de 1 kHz con fuente de alimentación simple.



Observ.: ZD<sub>1</sub> = ZD<sub>2</sub> = diodos Zener de 3.3 V o 5.6 V

Fig. 4.7. Chicharra (o trémolo) de 8 Hz.

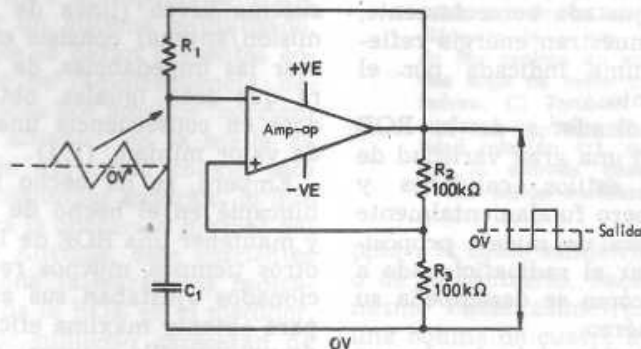


Fig. 4.8a. Circuito básico de oscilador de relajación.

debido a la carga existente en C1. El resultado de todo ello es que tiene lugar una brusca acción regenerativa bajo la cual la

salida del op-amp conmuta bruscamente a saturación negativa.

(Continuará)