

Circuito básico

La característica más sobresaliente de un transistor unión es la de que por su emisor no circula corriente, mientras que su tensión no supere un cierto valor. En ese instante, el emisor absorbe gran cantidad de corriente, comportándose como un diodo polarizado directamente.

Tal característica permite que el circuito mostrado en la figura 1 pueda oscilar libremente, como ahora vemos. Cuando se conecta la tensión de alimentación, el condensador C tenderá a cargarse a través de la resistencia R. Conforme vaya cargándose, irá aumentando exponencialmente la tensión entre sus extremos. Tal tensión es, precisamente, la que se aplica sobre el emisor del UJT.

Cuando la tensión sobre el condensador alcanza la de conducción del emisor, el UJT pasará a conducir, comportándose el terminal emisor como un diodo semiconductor, lo que hará que el condensador se descargue rápidamente. Cuando tal descarga finaliza, el UJT vuelve a su estado de corte, que es en el que se encontraba inicialmente, con lo que el proceso vuelve a repetirse (fig. 2).

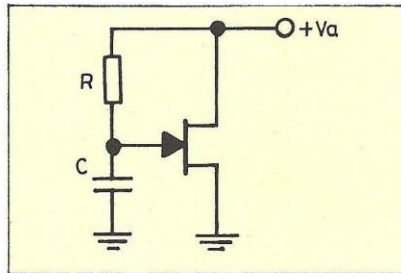


Figura 1. Oscilador básico UJT

Figura 2. A) El condensador C se carga. B) La tensión de emisor alcanza la de conducción del UJT. C) El condensador C se descarga rápidamente a través del emisor. D) El condensador C se descarga por completo. El UJT va al corte y el ciclo comienza de nuevo.

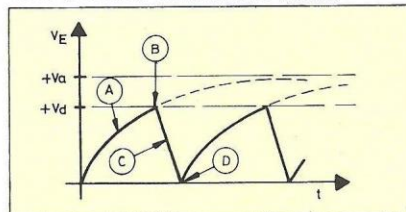
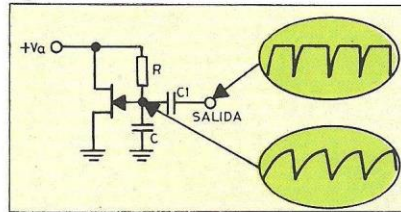


Figura 3. Formas de onda.



Formas de onda

¿Cómo puede resultar útil este funcionamiento? De varias formas. La primera de ellas consiste en tomar la tensión del emisor a través de un segundo condensador C1 (fig. 3). Si el valor de C1 es el adecuado, no transmitirá la carga relativamente lenta del condensador C, pero sí pasará a su través el impulso negativo provocado por la conducción brusca del UJT.

Otra forma de obtener utilidad del oscilador consiste en incluir sendas resistencias en serie con las bases de UJT. Sobre ellas aparecerán impulsos positivos o negativos coincidiendo con la entrada en conducción del transistor (fig. 4).

El tiempo que dura la carga del condensador depende del valor de la relación intrínseca (η) del UJT. Para el margen de valores en que suele encontrarse η (0,5 a 0,7), dicho tiempo oscila entre 0,8 y 1,2 veces la constante de tiempo (τ) del circuito RC ($\tau = R \cdot C$). Así, para un condensador de 0,1 μ F y una resistencia de 10 k Ω , la constante de tiempo es: $\tau = R \cdot C = 10^4 \cdot 10^{-7} = 10^{-3}$ seg; esto es, el ciclo de carga durará, aproximadamente, 1 milisegundo (entre 0,8 y 1,2 mseg). Como la frecuencia de repetición

del proceso es la inversa del período o tiempo en que se reproduce el fenómeno, para los valores dados, la frecuencia será: $f = 1/T = 1/10^{-3} = 10^3$ Hz = 1 kHz. Esto es, el circuito mencionado genera impulsos con una frecuencia aproximada de 1 kHz (puede variar entre 800 y 1.200 Hz, según el valor concreto de η).

Circuitos prácticos

Pueden darse otras variantes para el circuito oscilador. Así, el mostrado en la figura 5 permite obtener una onda rectangular de frecuencia 5,4 kHz con los valores mostrados. Con el de la figura 6 puede obtenerse una frecuencia que depende

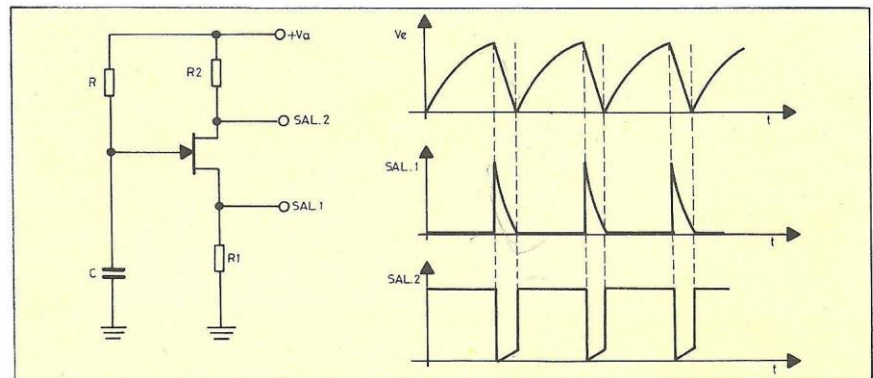


Figura 4. Salidas sobre las bases.

de la tensión de alimentación. Cuando ésta varía en el margen de 7 a 15 V, la frecuencia de repetición obtenida va de 1 a 2,5 kHz. Final-

mente, con el circuito de la figura 7 puede obtenerse una frecuencia ajustable entre 100 Hz y 10 kHz gracias al potenciómetro incluido.

Figura 5. Oscilador 5,4 kHz.

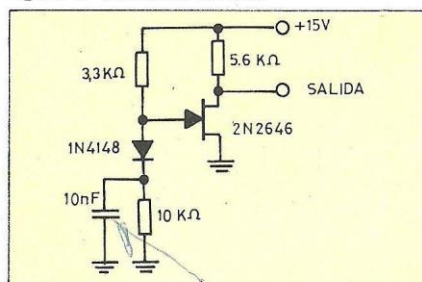


Figura 6. Oscilador de 1 a 2,5 kHz.

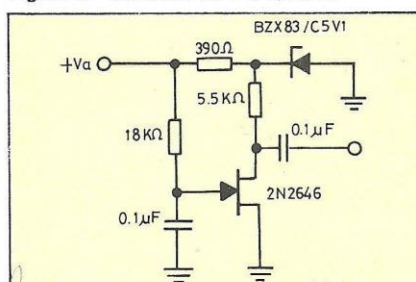
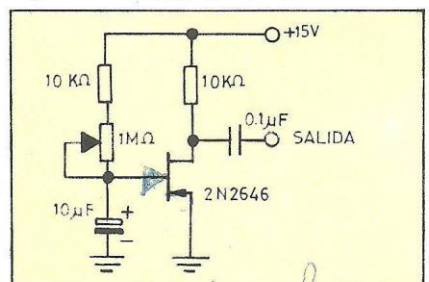


Figura 7. Oscilador de 100 Hz a 10 kHz.



Circuito resonante

La combinación de una bobina y un condensador en paralelo se denomina *circuito resonante paralelo*, y tiene una frecuencia de resonancia única y de valor perfectamente determinado. Cuando por algún procedimiento se carga el condensador con una cierta tensión, y se deja actuar libremente al circuito, se genera una oscilación por carga y descarga del condensador a través de la bobina.

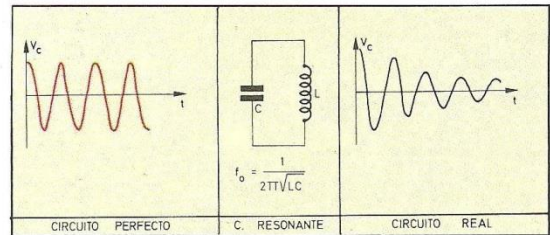
La forma de variación de la tensión en bornas del condensador (o de la bobina) es senoidal, y el ritmo de carga y descarga del mismo (la frecuencia de resonancia) viene dado en función de los valores de ambos componentes como:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

viniendo medida f_0 en hertzios (Hz) cuando L se expresa en henrios (H) y C en faradios (F).

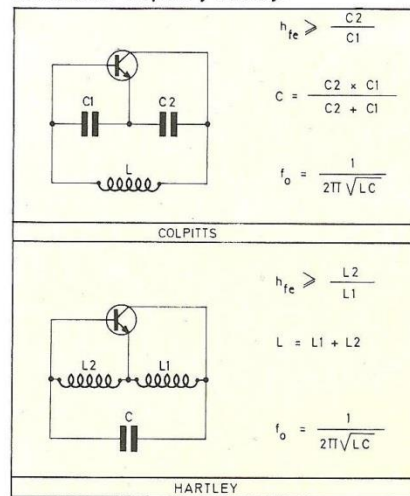
Si los elementos del circuito resonante fueran perfectos, la oscilación se mantendría indefinidamente. Sin embargo, la bobina ha de estar construida con hilo conductor, que siempre presenta una resistencia óhmica sobre la que se disipa (y pierde) algo de energía; y el dieléct-

1. Forma de onda en un circuito resonante paralelo perfecto y otro real.



trico del condensador no es perfectamente aislante, con lo que también existe alguna pérdida.

2. Configuraciones básicas teóricas de los osciladores Colpitts y Hartley.



En la práctica, tales imperfecciones hacen que la amplitud de la oscilación vaya decreciendo exponencialmente hasta su total anulación, por lo que si se desea mantener constante en amplitud la oscilación, debe suministrarse periódicamente al circuito resonante la energía que se disipa en sus elementos.

Realimentación

Los osciladores emplean siempre un elemento activo (transistor, válvula, etc.). Tal elemento es el encargado de suministrar el aporte de energía necesario para el mantenimiento de la oscilación.

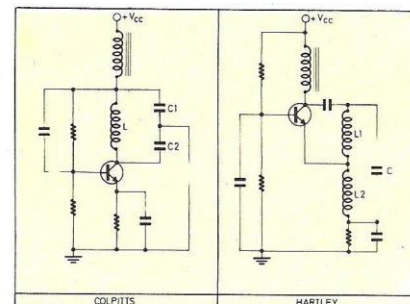
Los circuitos más comúnmente empleados realimentan una parte de la señal de salida (oscilación) hacia la entrada del elemento activo. Si la realimentación se hace con la amplitud y la fase adecuadas, el elemento activo aporta la cantidad justa de

energía para mantener estable la oscilación.

Existen muchos circuitos de realimentación, algunos de los cuales son empleados desde los primeros tiempos de la electrónica. Tal es el caso de los osciladores Colpitts y Hartley, cuyas configuraciones básicas se dan en la figura 2, en la que se emplea un transistor como elemento activo.

Para que la oscilación sea mantenida, los valores de las bobinas y los condensadores deben guardar una cierta relación con la ganancia del elemento activo. Así, por ejemplo, en el circuito Colpitts, la relación entre los valores de $C2$ y $C1$ debe ser mayor o igual que la ganancia en emisor común (h_{fe}) del transistor a la frecuencia de oscilación. Igual ocurre en el circuito Hartley, en el que la relación entre los valores de $L2$ y $L1$ debe ser mayor que el citado parámetro.

Debe recalcar que los circuitos mostrados en la figura 2 son teóricos, no incluyendo los elementos de polarización y desacople necesarios para el funcionamiento del transistor como tal. En la figura 3 se da un ejemplo de cómo debe hacerse la polarización de los electrodos de un transistor para ambos circuitos.

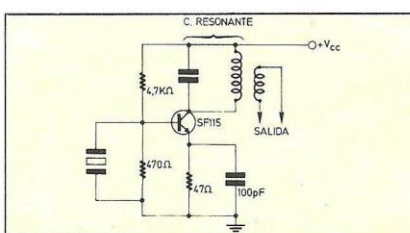


3. Circuitos prácticos de osciladores Colpitts y Hartley.

Otros circuitos

Muchos son los posibles circuitos osciladores que pueden emplearse en la práctica. Entre ellos cabe destacar los que emplean un cristal de cuarzo como estabilizador de la frecuencia de oscilación. Un cristal de cuarzo, debidamente cortado y ta-

4. Circuito oscilador con cristal de cuarzo.

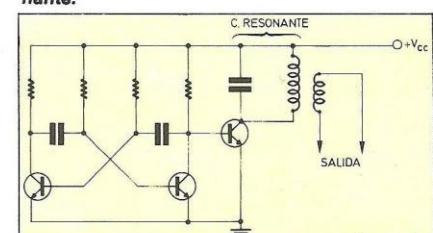


lado, se comporta eléctricamente de manera similar a un circuito resonante de calidad muy elevada.

El único inconveniente práctico de un circuito con cristal de cuarzo es que la frecuencia de oscilación no puede ser variada si no es cambiando el cristal. Por contra, se obtiene un elevado grado de exactitud y estabilidad en la frecuencia de la señal generada. En la figura 4 se da un circuito práctico.

Finalmente, cabe destacar el empleo de osciladores de señal no senoidal en conjunción con un circuito resonante. Este último actúa como filtro, eliminando todas las frecuencias armónicas generadas y dejando pasar solamente la fundamental de oscilación, que será a la que deban ajustarse los valores de los elementos de dicho circuito resonante (ver figura 5).

5. Multivibrador asociado a un circuito resonante.



Puertas inversoras

Ya se explicó en su momento cómo podían hacerse funcionar unas simples puertas inversoras conectadas en serie como osciladores (ver ficha 16 de esta misma colección). Tales osciladores, sin embargo, adolecían de un grave «defecto», y es que su frecuencia de oscilación no podía ser fijada «a priori» con exactitud. En la figura 1 se muestra un circuito constituido por tres inversores, cuya frecuencia de oscilación depende de los valores de los componentes pasivos (R1, R2, C1). Obsérvese que el conjunto de las puertas P1 y P2 puede ser sustituido por un «buffer» no inversor.

Cuando se conecta la tensión de alimentación, el condensador C1 está descargado y la tensión en sus dos armaduras es la misma. Si, por ejemplo, la salida está a nivel lógico «0», la entrada de P3 debe estar a nivel «1». Por tanto, el condensador C1 tiende a cargarse a través de R2 hacia una tensión igual a la diferencia de los niveles «1» y «0» (de la alimentación).

Conforme C1 se va cargando la tensión en el punto de unión con R1 y R2 (A) va disminuyendo.

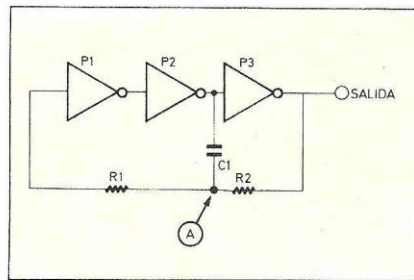
gráfico del que puede obtenerse la frecuencia de oscilación en función de los valores de R1, R2 y C1. La frecuencia de oscilación es muy poco dependiente de la tensión de alimentación del circuito, de forma que pueden obtenerse señales de frecuencia estable incluso con tensiones sin estabilizar o con variaciones de la misma con el tiempo (por ejemplo, circuitos alimentados con pilas secas).

Además, cuanto más baja sea la frecuencia de oscilación, menor influencia tendrán los tiempos de propagación a través de las puertas durante los cambios de estado y, por tanto, mayor estabilidad y precisión se obtendrán en dicha frecuencia.

Frecuencias muy bajas

Para la obtención de frecuencias de oscilación muy bajas se requieren elevados valores de resistencia y capacidad para R1, R2 y C1. No es práctico elevar los valores de las resistencias por encima de algunos megohmios, pues entrarían en juego otros factores de funcionamiento no tenidos en cuenta.

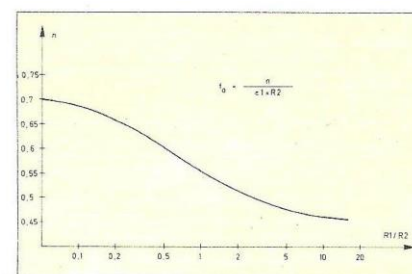
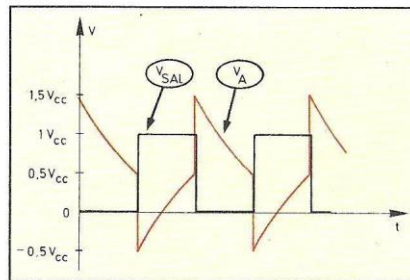
Por otro lado, la tensión aplicada al



1. Oscilador con tres puertas lógicas.

Cuando la tensión en dicho punto alcanza, aproximadamente, el 50 por 100 de la de alimentación (umbral entre el «1» y el «0»), la resistencia R1 aplica a la entrada de P1

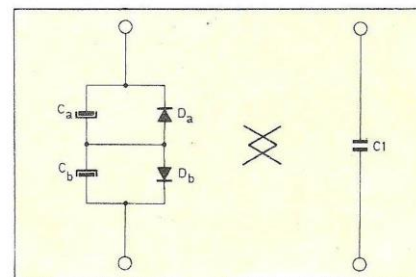
2. Formas de onda en la salida y en el punto A.



3. Gráfica para la determinación de la frecuencia de oscilación del circuito de la figura 1. Se da en función del cociente R1/R2.

condensador C1, unas veces es de una polaridad y otras de la opuesta, por lo que no puede emplearse uno del tipo electrolítico, ya que son polarizados. Así, en la práctica, el valor

4. Conjunto de elementos para aumentar el período de oscilación.



una tensión que es interpretada como «0».

Las puertas P1 y P2 cambian de estado, apareciendo un «0» a la salida de P2. Consecuentemente, la salida de P3 va a «1», lógico, y se produce la primera transición en la salida. Ahora la diferencia de tensiones entre la entrada y la salida de P3 hace que el condensador C1 tienda a cargarse con polaridad opuesta a la de antes. Cuando la tensión en A alcanza un valor ligeramente superior al 50 por 100 de la de alimentación, el conjunto de puertas bascula de nuevo, volviendo la salida del conjunto a nivel «0».

El proceso se repite, obteniéndose a la salida una señal cuadrada de amplitud igual a la tensión de alimentación, siendo la forma de la tensión en el punto A como la mostrada en la figura 2.

Frecuencia de oscilación

El proceso de carga y descarga de C1 fija la frecuencia de la señal de salida. El período de oscilación viene dado, fundamentalmente, por C1 y R2, aunque también interviene el valor de R1. En la figura 3 se da un

máximo para C1 queda limitado a un valor del orden del microfaradio, y la frecuencia más baja obtenible será de alrededor de 0,1 Hz.

Sin embargo, puede emplearse un pequeño «truco», consistente en disponer dos condensadores electrolíticos, junto con dos diodos, conectados como se muestra en la figura 4. El conjunto puede emplearse en lugar de C1.

Cuando la tensión aplicada al conjunto mencionado haga positivo al terminal superior (cátodo de D_a) respecto del inferior, el condensador C_a se cargará a través del diodo D_b, quedando fuera de circuito el condensador C_b (cortocircuitado por D_b) y el diodo D_a (polarizado en inversa por C_a). Algo similar ocurre con tensiones de polaridad opuesta, con las que las funciones de los condensadores y los diodos se intercambian.

Suponiendo que los dos condensadores sean de la misma capacidad, el conjunto de la figura 4 equivale a un condensador de, aproximadamente, 0,75 veces la capacidad de uno de ellos cuando se utiliza en un circuito como el de la figura 1. Así, pueden llegar a obtenerse señales cuyo período de oscilación sea de varios minutos.

Circuitos sencillos

En la figura 1 se muestra un circuito que emplea tan sólo dos puertas inversoras y que es capaz de entregar a su salida una señal cuadrada de amplitud igual a la tensión de alimentación. El funcionamiento de tal circuito es muy similar al oscilador con tres puertas inversoras, ya descrito en otro lugar (ver ficha n.º 41 de esta misma colección). Para $R1 = 2.R2$, la frecuencia de oscilación es de, aproximadamente:

$$f_o \approx \frac{0,7}{R2.C1}$$

Las puertas P1 y P2 no tienen por qué ser necesariamente inversoras. Pueden emplearse puertas del tipo

NOR o NAND, con la condición de unir todas sus entradas en una sola, tal como se muestra en la figura 2. El funcionamiento es idéntico al de la figura 1, y presenta la ventaja de poder construir un oscilador con puertas que «sobren» de algún montaje, y que de otra forma quedarían sin utilizar.

Control de osciladores

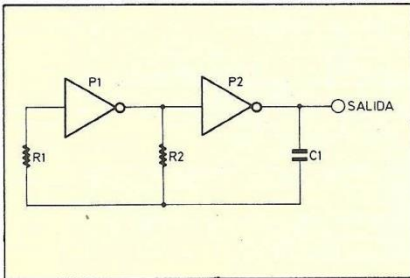
El empleo de puertas NAND y/o NOR presenta una ventaja adicional, y es la de que puede controlarse la oscilación del circuito con ayuda de una señal lógica. Por ejemplo, cuando sobre el terminal de entrada del circuito de la figura 3 se aplica un «0» lógico, se obliga a la salida de P1 a adoptar el nivel «1», y a la de P2, el

nivel «0», impidiendo la oscilación del conjunto.

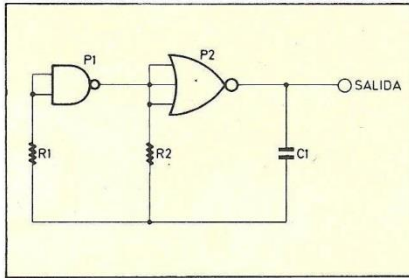
En cambio, cuando a la entrada se aplica un «1», la puerta P1 actúa virtualmente como un inversor, entrando en oscilación el circuito. Efectos similares pueden conseguirse cuando P1 sea una puerta NOR, aunque en este caso el circuito sólo oscilará cuando en la entrada haya un «0» lógico (figura 4). Tampoco hay ningún inconveniente en emplear la puerta P2 como controladora de la oscilación.

Estas características son muy útiles cuando se desea gobernar la actuación de un oscilador con ayuda de un circuito lógico. Por ejemplo, en un circuito de alarma, el mismo equipo puede controlar una señal-

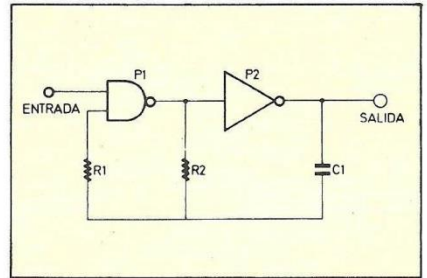
1. Circuito oscilador con dos inversores.



2. Circuito oscilador con puertas NAND y NOR.



3. Circuito controlable con puertas NAND.

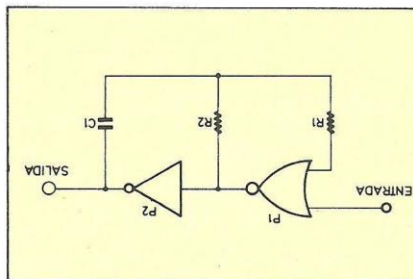


zación de tipo visual o acústico intermitente con el empleo de los circuitos descritos.

Circuitos especiales

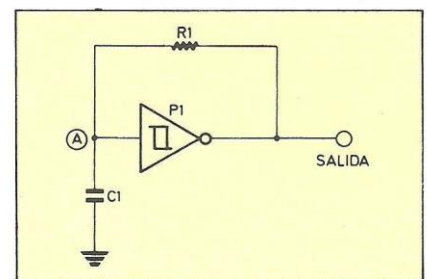
Aun puede reducirse el número de componentes de un oscilador digital empleando puertas del tipo denominado «Schmitt Trigger». Tales puertas tienen la particularidad de presentar distinto valor de la tensión de umbral en su entrada para la transición de «0» a «1», que para la «1» a «0».

En la figura 5 se muestra un circuito que emplea una sola puerta del tipo mencionado. Cuando se conecta la tensión de alimentación, C1 está descargado, la entrada de P1 es «0» y su salida es «1». El condensador tiende a cargarse a través de R1.



4. Circuito controlable con puertas NOR.

Cuando la tensión sobre el mismo alcanza el umbral de transición en la entrada de P1 (aproximadamente el 70 % de la de alimentación), la salida cambia de estado (pasa a nivel «0»). El condensador tiende a descargarse a través de R1, pero



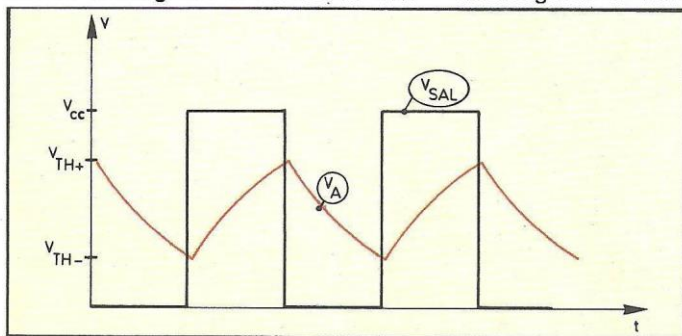
5. Circuito oscilador con Inversor Schmitt Trigger.

cuando la tensión en sus extremos alcanza el nuevo umbral de cambio de P1 (aproximadamente el 30 % de la tensión de alimentación), la puerta cambia de estado otra vez. El ciclo se repite, obteniéndose unas formas de onda como las mostradas en la figura 6.

La frecuencia de oscilación viene determinada, aproximadamente, por la relación:

$$f_o \approx \frac{n}{R1.C1}$$

en la que el valor de n varía entre 0,5 y 0,75, según la tensión de alimentación del circuito y/o la dispersión de los valores de la tensión de umbral que presentan los circuitos en la práctica.



6. Formas de onda del circuito oscilador con Schmitt Trigger.

Efecto piezoeléctrico

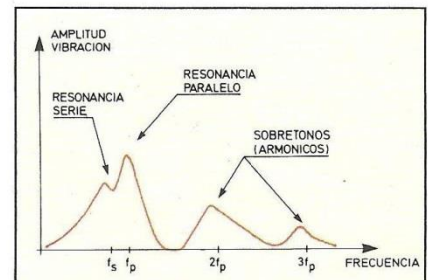
Desde hace mucho tiempo se conocen las propiedades de algunos materiales, entre ellos el cuarzo, que presentan deformaciones mecánicas cuando se les somete a una tensión eléctrica; y viceversa, son capaces de crear una tensión eléctrica cuando sobre ellos se aplica un esfuerzo mecánico.

La tecnología moderna ha puesto al alcance de la técnica muchos otros materiales que presentan estas propiedades, casi todos ellos del tipo cerámico. Así, hoy día son muy conocidos los transductores de ultrasonidos, que vibran a una frecuencia supersónica cuando se les aplica una tensión adecuada; o los encendedores de gas que cuando se golpea una pastilla de tal material

con un mecanismo de percusión adecuado crean una tensión tan elevada que hacen saltar una chispa eléctrica entre dos terminales metálicos.

Lo que ahora nos interesa destacar del efecto piezoeléctrico es que cuando al material se le aplica una tensión alterna entre dos placas metálicas adecuadamente dispuestas sobre él entra en vibración mecánica. Tal vibración tiene una amplitud máxima para un valor de frecuencia muy preciso, que además puede hacerse de un valor predeterminado cualquiera, con una talla adecuada del material.

En la práctica, la vibración del cristal fuera de la frecuencia de resonancia apenas existe, por lo que tales componentes son unos elementos excelentes para controlar y fijar una fre-

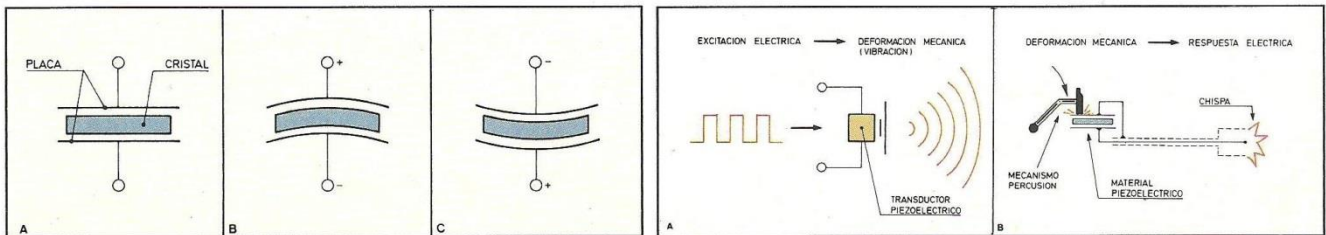


3. Amplitud relativa de la resonancia mecánica de un cristal de cuarzo. frecuencia de oscilación mecánico-eléctrica.

Circuitos con puertas

Uno de los circuitos prácticos más utilizados es el mostrado en la figura 4. Como puede verse, se emplea una sola puerta inversora. La reali-

1. Relación entre deformación mecánica y tensión eléctrica de un material piezoeléctrico. 2. Efecto piezoeléctrico. A) Excitación eléctrica, reacción mecánica. B) Excitación mecánica, reacción eléctrica.



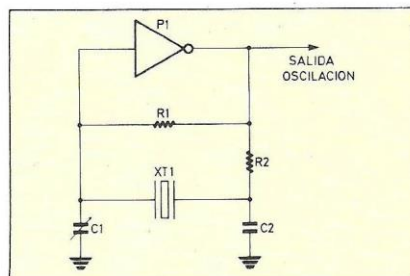
mentación entre la entrada y la salida hace que se produzca una oscilación, cuya frecuencia se encarga de fijar el cristal de cuarzo XT1. La resistencia R1 sirve para polarizar la puerta para que funcione como un elemento lineal, más que como un componente digital. Así, la oscilación será senoidal, y no cuadrada. Los condensadores C1 y C2 permiten sintonizar exactamente la frecuencia del oscilador.

Este tipo de circuito es el empleado corrientemente en microprocesadores, relojes digitales integrados y equipos similares. No obstante, puede emplearse para usos generales utilizando cualquier tipo de puerta inversora (NAND, NOR, etc.). En la figura 5 se da un ejemplo de circuito práctico.

Circuitos con transistores

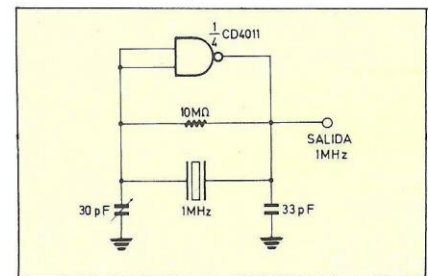
Un cristal de cuarzo puede utilizarse en distintas configuraciones en un circuito transistorizado. Prácticamente cualquier tipo de oscilador puede incluir un cristal, ya sea en serie con la señal producida, o bien en paralelo con la carga o con el circuito resonante empleado.

En la figura 6 se da un ejemplo práctico de un oscilador a cristal. Este tipo de circuito es muy empleado en



4. Configuración básica de un oscilador con cristal de cuarzo y puerta lógica.

transmisores de radio, tanto para las bandas de aficionado como para la banda ciudadana (27 MHz), etc. Como puede observarse, el cristal está en la rama de realimentación de un oscilador de tipo Colpitts. Además de poder elegir con gran precisión la frecuencia de oscilación, un circuito con cristal de



5. Oscilador de 1 MHz. La alimentación del circuito lógico debe ser de 10 V.

cuarzo presenta una elevada estabilidad en el valor de dicha frecuencia, dada por la propia naturaleza del proceso (resonancia mecánica). Valores clásicos de estabilidad permiten mantener frecuencias de oscilación dentro de una variación de 100 MHz, considerando incluso variaciones extremas de temperatura.

6. Oscilador de radiofrecuencia. La frecuencia de resonancia del cristal XT1 será la de uno de los canales de la banda ciudadana (por ejemplo, 27,125 MHz). El transistor TRT1 puede ser de los tipos BF194/5/6/7. Las bobinas L1 y L2 se construyen sobre un núcleo ajustable de ferrita de 10 mm de diámetro, bobinando 10 y 3 espiras, respectivamente, con hilo de cobre de 0,3 mm de diámetro.

