

Oscilador a cristal

21.1. INTRODUCCION

En la Práctica 19 vimos los osciladores de radiofrecuencia, basados en el circuito tanque. Dichos circuitos presentan el inconveniente de su inestabilidad de frecuencia ante factores tales como:

- Temperatura.
- Ruido.
- Humedad.
- Carga del circuito.
- Alimentación.
- Cambio de las características del transistor, etc.

En aquellas aplicaciones en que se requiere una alta estabilidad de la frecuencia de oscilación es, pues, aconsejable emplear el cristal de cuarzo como elemento generador de las oscilaciones.

21.2. DESCRIPCION BASICA

Una de las características más interesantes del cuarzo, al igual que otras materias cristalinas, es el *efecto piezoeléctrico*.

Cuando se ejerce presión mecánica en caras opuestas de uno de estos cristales, debidamente tallados, se producen cargas eléctricas de polaridad opuesta en esas caras. Si se invierte el sentido del par de fuerzas ejercido sobre el cristal, observamos que también se invierten las polaridades de las cargas generadas y, si hacemos variar alternativamente el sentido de la presión ejercida sobre el cristal, en las caras de éste, se genera mecánicamente un voltaje de corriente alterna.

Recíprocamente, un cristal sometido a un voltaje de corriente alterna genera vibraciones mecánicas, debido a la inercia del material. Estas vibraciones se amortiguarán gradualmente hasta la completa extinción, si la corriente cesa. Pero si la energía eléctrica suministrada es suficiente para compensar las pérdidas, el cristal continuará vibrando y, al hacerlo, generará una tensión de corriente alterna, tal como lo hace un circuito *LC*.

La amplitud de la vibración de un cristal de cuarzo depende de la frecuencia natural de vibración mecánica del cristal y de la frecuencia eléctrica de excitación. Si se excita un cristal con un voltaje de c.a. de la misma frecuencia que la suya natural, se produce el fenómeno de resonancia, estableciéndose vibraciones de gran amplitud y el cristal genera un voltaje de c.a. relativamente grande. Pero si la frecuencia de excitación es diferente (aunque sea en poca medida) a la vibración mecánica, el voltaje generado por el cristal, apenas será perceptible, debido a la poca vibración mecánica. Gracias a esta propiedad, los cristales se utilizan mucho en osciladores en los que se requiere una gran estabilidad en su frecuencia de oscilación.

La frecuencia de resonancia depende de las dimensiones del cristal, de la orientación de las superficies respecto de los ejes y de cómo esté montado el cristal sobre los electrodos de contacto. El margen de frecuencia va desde unos pocos kHz a varios MHz, siendo bastante comunes y disponibles en el mercado.

En la Figura 21.1a se representa la estructura física de un cristal de cuarzo y en la Figura 21.1b se indica el circuito eléctrico equivalente del mismo.

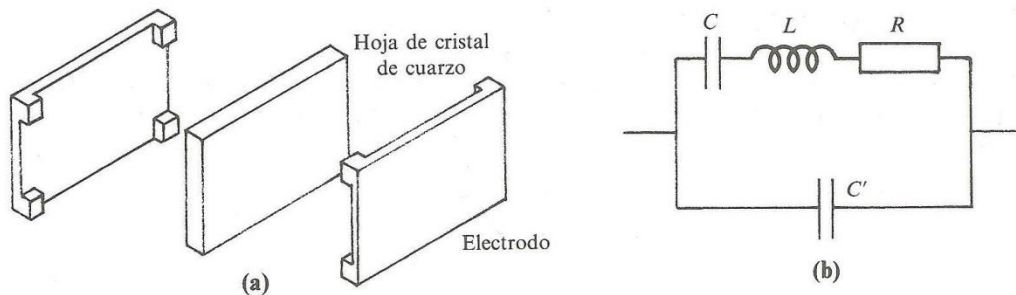


Figura 21.1. Cristal de cuarzo. (a) Estructura. (b) Circuito equivalente eléctrico.

La inductancia L , la capacidad C y la resistencia R son análogas a la masa, la deformación (inversa de la constante elástica) y al factor de amortiguamiento viscoso de un sistema mecánico. El condensador C' representa la capacidad electrostática entre los electrodos, con el cristal como dieléctrico, y su valor es siempre mucho mayor que C .

Para determinar la calidad de un circuito resonante se define el factor « Q »

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

Como es sabido, las pérdidas de energía de un circuito resonante se producen por el efecto Joule en la resistencia, así pues, un alto valor de Q determina un valor bajo de resistencia y, por consiguiente, pocas pérdidas dentro del circuito. Por el contrario, un valor de Q bajo es equivalente a una resistencia de gran valor con altas pérdidas de energía.

El margen de Q en los cristales de cuarzo va desde varios cientos de miles a algunos millones. Estos valores extraordinariamente altos y el hecho de que el cuarzo sea extremadamente estable respecto al tiempo y a la temperatura, justifican la excepcional estabilidad de frecuencia en este tipo de osciladores.

Analizando el circuito de la Figura 21.1b y despreciando R , obtenemos la frecuencia de resonancia de la rama serie

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

mientras que la frecuencia de resonancia paralelo es

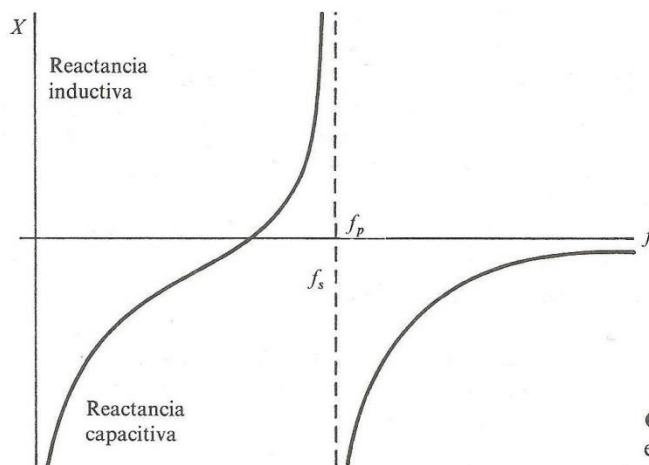
$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L}} \cdot \sqrt{\frac{1}{C} + \frac{1}{C'}}$$

por otra parte como $C' \gg C$, entonces

$$\sqrt{\frac{1}{C} + \frac{1}{C'}} \approx \frac{1}{\sqrt{C}}$$

con lo que $f_s \approx f_p$.

En la mayoría de los cristales, la frecuencia paralelo varía menos del 1 por 100 por encima de la frecuencia serie. En la Gráfica 21.1 se representa la variación de la reactancia total (X) del cristal, respecto de la frecuencia, y en ella se observa que, para valores de f tales que $f_s < f < f_p$, la reactancia es inductiva; fuera de este margen es capacitiva.



Gráfica 21.1. Curva de reactancia en función de la frecuencia.

21.3. FUNCIONAMIENTO

■ Oscilador Clapp a cristal

En la Figura 21.2 se representa un circuito de este tipo de oscilador, en el que puede verse el cristal, como elemento de realimentación determinante de la frecuencia de oscilación,

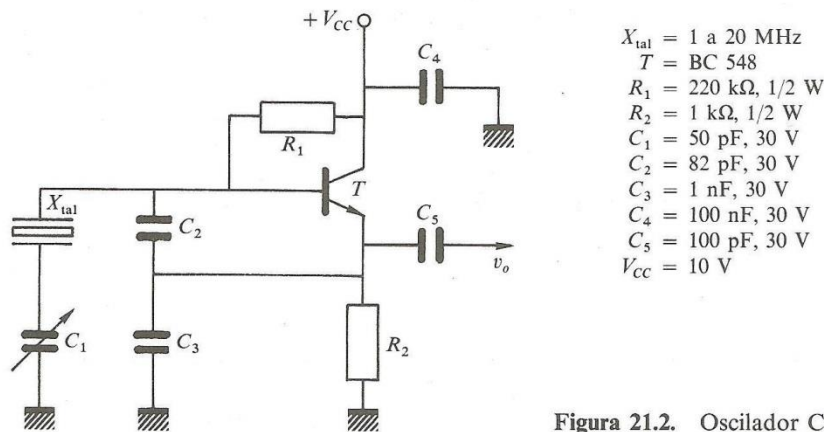


Figura 21.2. Oscilador Clapp a cristal.

sobre un amplificador en la configuración de C.C. Obsérvese la gran similitud entre este tipo de circuito y el oscilador Colpitts realizado con circuito tanque, siendo su principal diferencia la de la inclusión, en serie con X_{tal} , de un condensador trimmer de ajuste fino de la frecuencia de oscilación.

Si prescindimos de C_1 , el conjunto formado por C_2 y C_3 en paralelo con X_{tal} determina una capacidad más grande que la propia del cristal, razón por la cual, se le obliga a comportarse como una reactancia puramente inductiva, siendo la frecuencia de oscilación del circuito, la f_s del propio cristal.

Al conectar la alimentación se polariza la base del transistor, a través de R_1 , por lo que éste conducirá aumentando la tensión de salida. Esta tensión cargará el condensador C_3 , e igualmente se cargará C_2 a través de R_1 . Este proceso continúa hasta la saturación del transistor, momento en el que comenzará el ciclo de descarga de los condensadores a través del cristal, disminuyendo la tensión de salida.

Cuando se ha agotado la carga de C_2 y C_3 , el cristal, al continuar vibrando, genera una tensión que carga los condensadores con polaridad inversa a la anterior, provocando la disminución de la polarización de base del transistor y la consiguiente disminución de la tensión de salida.

Este proceso continúa, ya que la conducción del transistor permite reponer las pérdidas de la vibración del cristal, resultando un oscilador de una gran estabilidad y pureza espectral.

Por último, señalar que C_4 sirve como filtro de radiofrecuencia, evitando que la corriente alterna afecte a otros circuitos, a través de la fuente de alimentación. C_5 es un condensador de acoplo de la señal senoidal al circuito de utilización.

■ Oscilador Pierce

Este es otro tipo de oscilador a cristal muy comúnmente utilizado y, como todos los osciladores a cristal, presenta una alta estabilidad con el tiempo para la frecuencia de oscilación (Fig. 21.3).

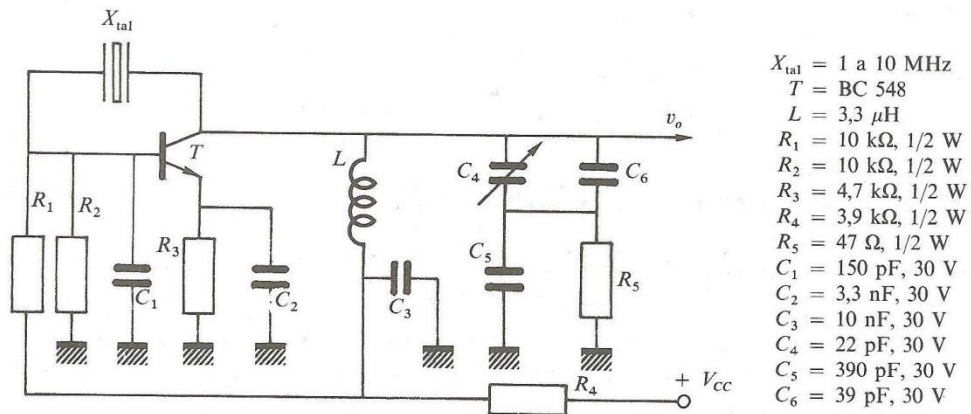


Figura 21.3. Oscilador Pierce.

La resistencia R_4 es la resistencia de colector del transistor, el cual cuenta con un filtro de radiofrecuencia, formado por $L-C_3$, para evitar que la corriente alterna afecte a otros circuitos, a través de la fuente de alimentación, R_1 y R_2 forman un divisor de tensión de polarización de base. R_3 es la resistencia de estabilización térmica del emisor y desacoplada en alterna por C_2 . Los condensadores C_4 , C_5 y C_6 junto con R_5 forman un filtro de sintonización del colector que puede considerarse a efectos prácticos como un solo condensador C_0 para la frecuencia de oscilación del circuito.

X_{tal} , en el camino de realimentación de colector a base, ofrece un paso de mínima impedancia para dicha frecuencia, incrementándose muy bruscamente para cualquier otra.

Aunque, a primera vista, pudiera parecer que la realimentación del circuito es negativa, debido al desfase de 180° , introducido por el transistor, esto no sucede porque el conjunto formado por C_0 , C_1 y X_{tal} , forman un circuito sintonizado, divisor de tensión, que permite un desfase adicional de 180° para la frecuencia f_s del cristal, variando bruscamente este desfase, para cualquier otra frecuencia. En la Figura 21.4 se representa un esquema simplificado del oscilador Pierce, en el que se puede apreciar el circuito sintonizado, antes mencionado.

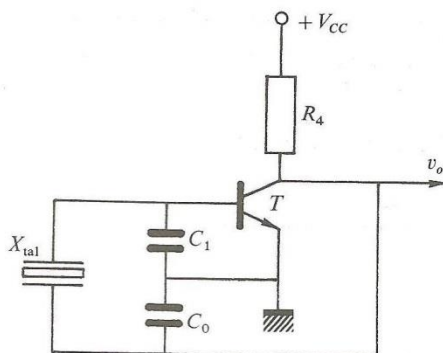


Figura 21.4. Oscilador Pierce simplificado.

En la Figura 21.4 no se han representado los componentes de polarización, ni el filtro de radiofrecuencia, para una mayor claridad. Al comparar este esquema con el oscilador Colpitts de la Práctica 19, observamos que son bastante aproximados, razón por la cual no creemos necesario explicar nuevamente su funcionamiento.

21.4. CONSIDERACIONES GENERALES

Debido al altísimo Q del cristal y a las altas frecuencias de oscilación convendría, a la hora de montar los circuitos, tener presente lo siguiente:

- Apantallar convenientemente el cristal, conectando la carcasa metálica a masa.
- Evitar, en lo posible, las capacidades parásitas que pudiera introducir el soporte sobre el que se monte el circuito.
- Reducir al mínimo el camino de conexión del cristal.
- Utilizar una sonda adecuada de osciloscopio, para no intercalar resistencias indeseadas.
- Acceder a la salida de los circuitos mediante condensadores de bajo valor, para no introducir cargas excesivas, ya que una carga demasiado baja podría someter al cristal a esfuerzos mecánicos muy altos que podrían deteriorarlo.

21.5. PROCESO OPERATIVO

1. Montar el circuito de la Figura 21.2.
2. Conectar una alimentación $V_{CC} = 10$ V. Variar el condensador ajustable hasta obtener una salida exenta de oscilaciones y de la máxima amplitud posible.
3. Anotar las formas de onda de v_o y base del transistor.
4. Montar el oscilador Pierce de la Figura 21.3.
5. Repetir los puntos 2 y 3 del proceso.

CUESTIONES

1. ¿Cuál es el principal problema de los osciladores de radiofrecuencia basados en circuitos tanque?
2. ¿Qué se conoce por el factor Q de un circuito sintonizado?
3. ¿En qué consiste el efecto piezoeléctrico?
4. ¿Cuál es la frecuencia de resonancia serie de un cristal?, ¿y la paralelo? ¿Qué relación existe entre ambas?
5. Explicar el funcionamiento del oscilador Clapp a cristal.

CONCLUSIONES

- La inestabilidad de la frecuencia de oscilación de los circuitos osciladores, con circuito tanque, imposibilita su uso, en aplicaciones donde sea importante una salida con gran pureza espectral.
- El efecto piezoeléctrico que presentan muchos cristales, permite obtener una tensión c.a. cuando el cristal se comprime.
- La alta estabilidad del cristal de cuarzo al tiempo y a la temperatura, permite sustituir ventajosamente un circuito tanque por un cristal en un oscilador, con la ventaja adicional de un Q muy elevado.
- Es posible modificar cualquier oscilador de radiofrecuencia para, añadiendo un cristal de cuarzo, conseguir que proporcione una señal de salida muy estable.