

INTRODUCCIÓN A OSCILADORES (Versión 1.0)

Se conoce con el nombre de oscilador a todo circuito que, partiendo de una fuente de alimentación continua, es capaz de proporcionar una salida de corriente alterna, independientemente de su forma de onda.

Es posible, pues, encontrar osciladores de onda senoidal, onda cuadrada, diente de sierra, etc.

Tradicionalmente, sin embargo, se reserva el nombre de osciladores a aquellos cuya salida es una senoide, recibiendo el resto nombres especiales.

DESCRIPCIÓN BÁSICA

Dentro del grupo de osciladores senoidales podemos hacer una subdivisión en función de la frecuencia de la onda de salida:

- Osciladores de radiofrecuencia: Su frecuencia de salida está comprendida dentro de la gama de radiofrecuencia; se caracterizan porque incluyen un circuito tanque (LC paralelo) o un cristal piezoeléctrico.
- Osciladores de baja frecuencia: Debido al gran volumen que ocuparían las bobinas o cristales de cuarzo contruidos para una frecuencia baja, los osciladores de este tipo están compuestos por una red de resistencias y capacitores. Su frecuencia de salida está comprendida dentro de la gama de baja frecuencia (menos 100KHz).

En la figura se muestra el esquema de principio de un oscilador, en el que se observa un amplificador con una red de realimentación.

Los amplificadores realimentados, en los que la señal realimentada está en contrafase con la señal original de entrada se les llama de realimentación negativa, siendo la entrada efectiva del amplificador menor que la señal original.

Ahora bien, si esta señal realimentada está en fase con la señal de entrada, el resultado es una señal efectiva mayor, llegando incluso a darse el caso de que sin señal de entrada, obtener una forma de onda de salida, tal es el caso de los osciladores. A este tipo de realimentación se la conoce con el nombre de realimentación positiva.



Esquema en bloques de un oscilador

Hay, no obstante, dos condiciones imprescindibles que deben cumplir los amplificadores realimentados para convertirse en osciladores:

- **Que la señal realimentada esté en fase.**
- **Que la ganancia de bucle cerrado sea mayor o igual a 1.**

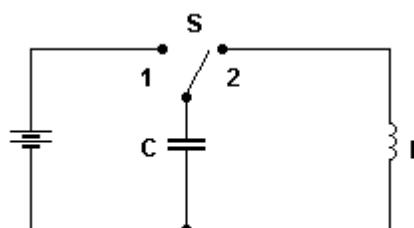
Ya hemos visto que la primera condición era necesaria; igualmente lo es la segunda, puesto que en caso contrario, la señal de salida se iría amortiguando y llegaría, con el tiempo, a desaparecer. Si la ganancia de bucle es igual a 1, la señal de salida se automantiene, obteniéndose una forma de onda senoidal; si, por el contrario, es mayor que 1, dicha señal se autoeleva de nivel y hace variar al amplificador entre los puntos de corte y saturación, consiguiéndose de esta manera una forma de onda de salida cuadrada.

A estos requisistos se los conoce con el nombre de **condiciones de Barkhausen**, que son las condiciones necesarias y suficientes para que cualquier amplificador realimentado oscile.

El circuito tanque

Se conoce con el nombre de circuito tanque al formado por la conexión en paralelo de un capacitor y una bobina; el nombre proviene de su capacidad de almacenar energía eléctrica y magnética.

Suponiendo que C está inicialmente descargado, conmutamos S1 a la posición 1, por lo que circulará una corriente de carga del capacitor.

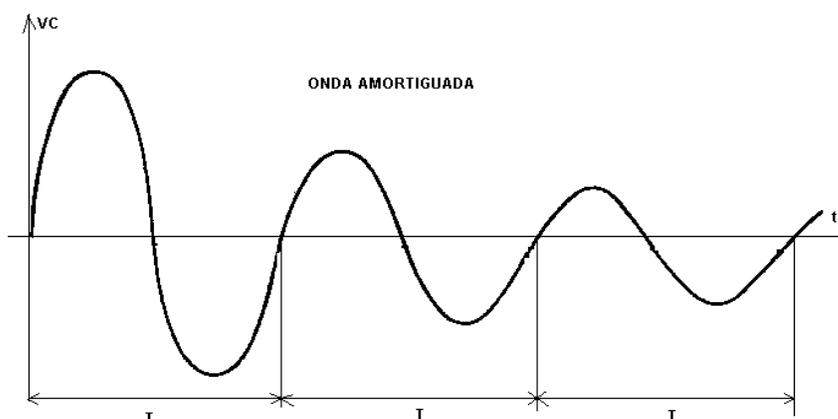


CIRCUITO TANQUE

Cuando C está totalmente cargado, conmutamos a la posición 2, por lo cual circulará una corriente de descarga a través de L, creando un campo magnético en ésta. Cuando la corriente de descarga tiende a desaparecer, la bobina, a costa de la energía almacenada en su campo magnético, induce una corriente del mismo sentido que la que lo había creado, dando como resultado una carga de C de polaridad opuesta a la anterior.

Al agotarse la energía del campo magnético nos encontramos con un capacitor cargado con polaridad inversa a la inicial; en ese momento comienza a descargarse, nuevamente, a través de L con una corriente de sentido inverso, repitiéndose el proceso anterior. Así, se ha completado un ciclo del proceso de oscilación, que seguiría, indefinidamente si no fuera porque la resistencia interna de los componentes produce una pérdida de energía por efecto Joule; por ello, al cabo de cada ciclo, la tensión entre extremos de C es inferior a la del ciclo anterior, llegando con el tiempo a desaparecer.

En la gráfica se representa el oscilograma de la tensión entre extremos del tanque, llamándose a este tipo de onda "amortiguada" porque la amplitud es continuamente decreciente. Nótese que a pesar de que la amplitud es decreciente, el tiempo que tarda en completarse cada ciclo es constante.



Puede demostrarse matemáticamente que la frecuencia de la onda responde a la expresión:

$$f := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

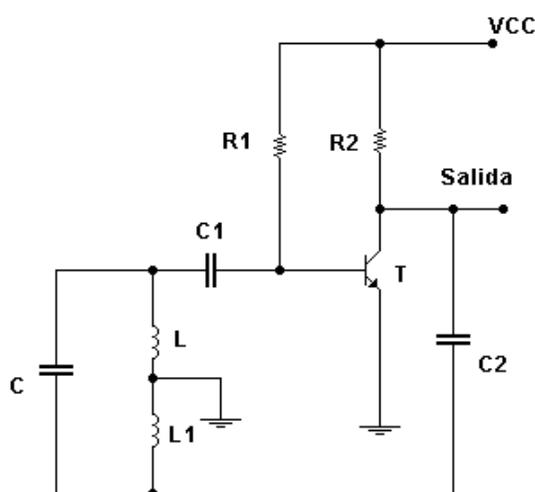
Ahora bien, si mediante algún método se pudiera hacer que, al agotarse el campo magnético, durante el semiperíodo de carga directa de C, el interruptor S1 conmutase durante un breve período de tiempo a la posición 1, se conseguiría reponer la cantidad de energía perdida en las resistencias para, acto seguido, volver a la posición 2 y comenzar un nuevo ciclo. Este es el método empleado por los osciladores de radiofrecuencia, obligando a un transistor que se encuentra cortado a conducir durante un breve período de tiempo para reponer la energía del tanque.

Veamos a continuación dos osciladores típicos de radiofrecuencia que difieren en la forma en que el impulso de mando se aplica al transistor.

OSCILADOR HARTLEY

El circuito de este tipo de oscilador es el mostrado en la figura. En él se observa el circuito tanque con la particularidad de que la bobina está dividida en dos partes; vemos, igualmente, que la corriente continua de polarización no atraviesa el tanque, razón por la cual a este circuito se le llama oscilador Hartley alimentado en paralelo.

Las resistencias R1 y R2 proporcionan la polarización del TBJ, y los capacitores C2 y C1 sirven para acoplar la señal alterna al tanque y a la base e impiden el paso de la corriente continua.



OSCILADOR HARTLEY

El tanque está formado por C y L-L1, haciendo la bobina, además, la función de autotransformador en el circuito de realimentación. El transistor está montado como amplificador en la configuración de emisor común, por lo cual existe un desfase de la señal de 180°, que unidos a los 180° del transformador componen una señal realimentada en fase.

Al conectar la alimentación, el transistor queda polarizado mediante R1, empieza a conducir y disminuye, por tanto, su tensión de colector. Esta

disminución se refleja en la placa de C2 unida a L1, dando lugar a una tensión negativa, que produce una corriente de L1 a C2. Esta corriente induce una tensión en L con una polaridad tal que la tensión de base aumenta y crece, también, la corriente de colector, llegando a la saturación del transistor. Durante este período de tiempo, C se ha cargado a la tensión suma de las tensiones de L y L1. Llegado el momento empieza a descargarse a través de las bobinas y disminuye la tensión entre sus extremos, motivo por el cual C1 refleja una tensión negativa en la base que corta al transistor. Una vez descargado C, el campo magnético de la bobina tiende a mantener la corriente que lo ha creado, provocando la carga de C con una tensión opuesta a la anterior. En estas condiciones, tenemos el transistor cortado, la onda de salida ha aumentado, por tanto, hasta su valor máximo y el capacitor C se encuentra cargado con una tensión que aplica un potencial negativo a la base para, acto seguido, empezar a descargarse, nuevamente, en sentido inverso. El transistor se encuentra trabajando en clase C, por lo que solo conducirá durante un tiempo inferior a un semiciclo, reponiendo las pérdidas del circuito tanque.

La frecuencia de oscilación del circuito corresponde a la propia de resonancia del circuito tanque, influyendo en muy pequeña medida la inducción mutua del autotransformador, razón por la que puede aproximarse a la expresión:

$$f := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(L1 + L) \cdot C}}$$

Ahora bien, como el devanado $L \gg L1$ podemos simplificar la expresión anterior quedando:

$$f := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Es de destacar el hecho de que el número de espiras de ambos devanados no es igual, con lo que un cambio en las conexiones de la bobina impedirá el funcionamiento del oscilador, razón por la que recomendamos comprobar con el óhmetro la resistencia de cada devanado e identificar sus conexiones apoyándonos en que la resistencia de L es mayor que la de L1.

OSCILADOR COLPITTS

Este tipo de oscilador, al igual que el anterior, emplea un circuito tanque generador de oscilaciones, pero a diferencia del oscilador Hartley, es el capacitor el que se encuentra dividido. En la figura se muestra un circuito típico de este tipo de oscilador, en el que el circuito tanque es recorrido por la corriente continua, siendo por tanto, un oscilador Colpitts alimentado en serie.

Ejemplo:

T: BC548

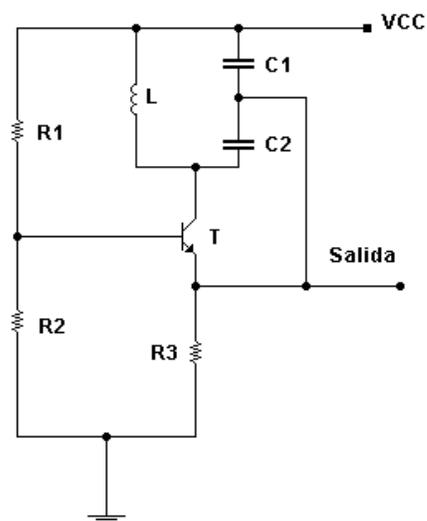
R1: 10K 1/2W

R2: 8K2 1/2W

R3: 100 1/2W

C1: 100nf C2: 47nf

L: 68mH



OSCILADOR COLPITTS

El circuito consta de un transistor en configuración de colector común y polarizado de base mediante el divisor formado por R1 y R2. La bobina L forma la resistencia de colector del transistor. Del punto de unión de los dos capacitores se toma una realimentación a la entrada mediante variación del potencial de emisor. Al estar el transistor en colector común, vemos que no existe desfase entre la señal y la tensión realimentada, cumpliéndose por tanto, las condiciones para la oscilación.

Cuando se conecta la alimentación, el transistor empieza a conducir cargando los capacitores. Esta carga es de tal sentido que en el punto de unión de C1 y C2 se genera un potencial negativo respecto de masa, el cual es enviado al emisor del transistor haciendo, por tanto, que aumente la VBE efectiva, que lleva al transistor a la saturación. En ese momento los capacitores se han cargado al potencial de VCC, impidiendo la conducción del transistor. Obsérvese que C1 está conectado a masa para la corriente alterna, por lo cual la onda de salida será exactamente, la tensión de este capacitor; así pues la

tensión de salida, partiendo de cero, ha llegado hasta su máximo valor negativo.

En estas condiciones los capacitores empiezan a descargarse a través de la bobina, por lo que la tensión de salida disminuye hasta que la descarga se completa. Ahora la bobina mantiene la corriente que ha creado su campo magnético, iniciando la carga de C1 y C2 en sentido inverso. Al aumentar esta carga, la tensión en la unión de los capacitores se hace positiva, lo cual provoca que aumente el potencial de emisor, disminuyendo por tanto la VBE efectiva y provocando el corte del transistor.

Este proceso continúa hasta que se extingue el campo magnético, habiendo cargado los capacitores hasta su máximo valor. En ese momento empezarán, nuevamente, a descargarse repitiéndose todo el proceso. Al igual que en el oscilador anterior, la conducción del transistor que es menor a un semiciclo (amplificación clase C) repone las pérdidas del circuito tanque.

También en este circuito la frecuencia de oscilación será la propia del circuito tanque, pero ahora al estar en serie dos capacitores, es necesario emplear el capacitor equivalente para hallar su frecuencia de oscilación, que responderá entonces a la expresión:

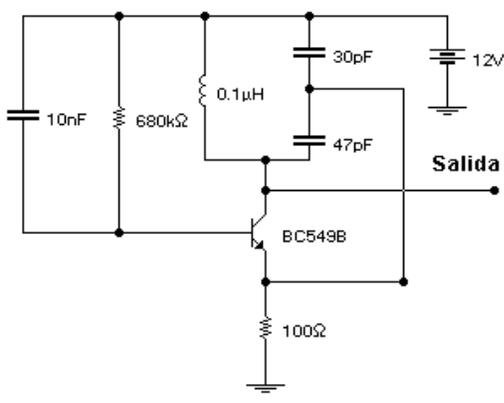
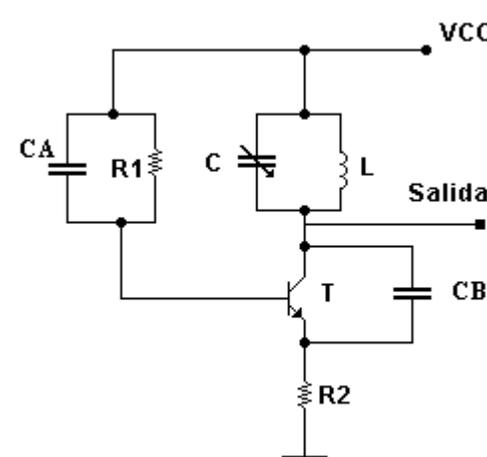
$$f := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2} \cdot L}}$$

Ahora bien, como $C1 > C2$, podemos simplificar la ecuación anterior, considerando que el conjunto serie será menor que cualquiera de los componentes:

$$f := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot L \cdot C2}}$$

Ecuación que nos da, con bastante aproximación, la frecuencia de oscilación del circuito.

VARIANTES DEL COLPITTS

<p>Ejemplo:</p> 	<p>Ejemplo:</p>  <p>Oscilador empleado en el TP de FM</p>
---	---

Nota: Se puede demostrar experimentalmente que frecuencias altas el capacitor CA es necesario para asegurar la oscilación.

Ejemplo1: Se ensayo en un Colpitts con $C1 = 100\text{nf}$, $C2 = 10\text{nf}$, $L = 0.7\text{mHy}$, $R1 = R2 = 100\text{K}$, $R3 = 100$ y se verifico f calculada = 63091Hz - $f_{\text{medida}} = 56818\text{Hz}$. La bobina fue medida por un método experimental y el ensayo se realizo en un protoboard.

Ejemplo2: $C1 = 89\text{pf}$, $C2 = 47\text{pf}$, $L = 12$ espiras sobre BIC, $CA = 47\text{pf}$, $R1 = R2 = 100\text{K}$, $R3 = 100$ - $f_{\text{medida}} = 25\text{MHz}$

Osciladores a Cristal de Cuarzo (Recopilado de Internet)

Introducción a los Cristales de Cuarzo

El cristal de cuarzo es utilizado como componente de control de la frecuencia de circuitos osciladores convirtiendo las vibraciones mecánicas en voltajes eléctricos a una frecuencia específica.

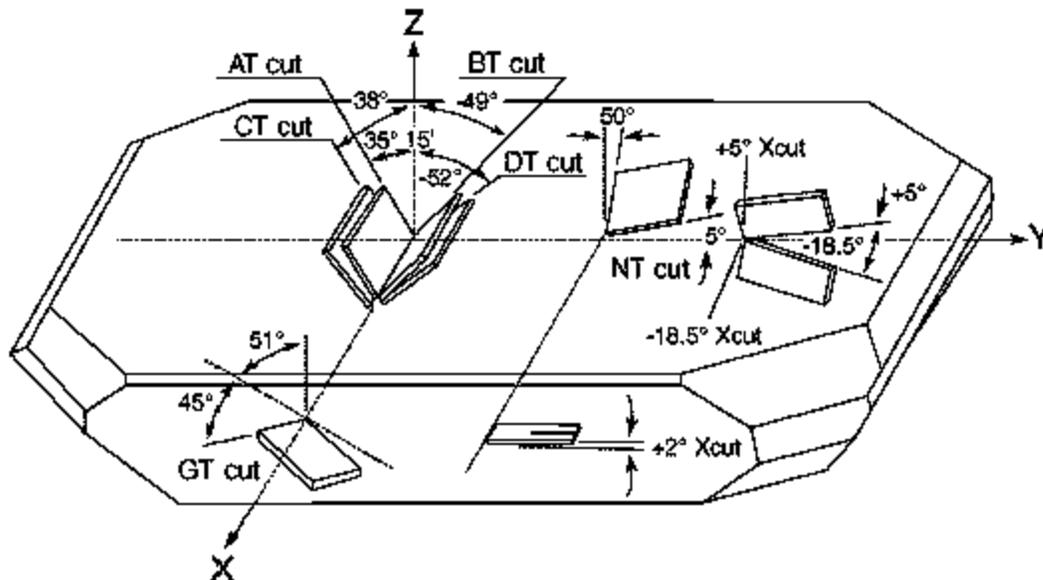
Esto ocurre debido al efecto "piezoeléctrico". La piezo-electricidad es electricidad creada por una presión mecánica. En un material piezoeléctrico, al aplicar una presión mecánica sobre un eje, dará como consecuencia la creación de una carga eléctrica a lo largo de un eje ubicado en un ángulo recto respecto al de la aplicación de la presión mecánica.

En algunos materiales, se encuentra que aplicando un campo eléctrico según un eje,

produce una deformación mecánica según otro eje ubicado a un ángulo recto respecto al primero.

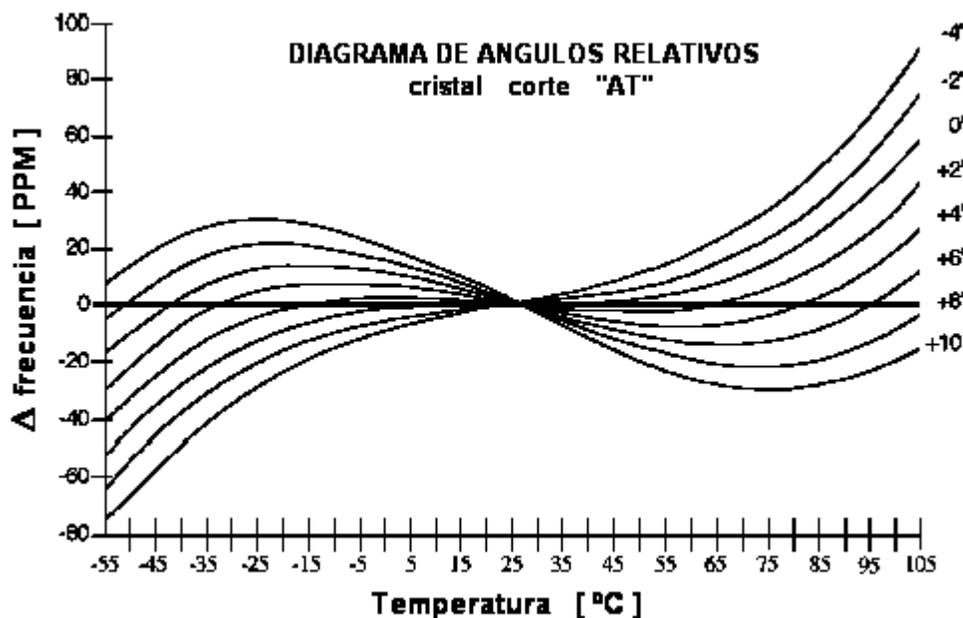
Por las propiedades mecánicas, eléctricas, y químicas, el cuarzo es el material más apropiado para fabricar dispositivos con frecuencia bien controlada.

La siguiente figura muestra la ubicación de elementos específicos dentro de una piedra de cuarzo



De los cortes que se pueden hacer, el corte "AT" es el más popular y es fabricado hasta frecuencias relativamente altas, mostrando una excelente estabilidad de frecuencia frente a las variaciones de la temperatura.

La siguiente gráfica muestra la variación en partes por millón (PPM) con respecto a la temperatura.



Frecuencia Fundamental vs. Frecuencia de Sobretono

Esto es de importancia cuando se especifica un cristal. Cuando se incrementa la frecuencia solicitada, el espesor del cuerpo del cristal disminuye y por supuesto existe un límite en el proceso de fabricación. Alrededor de 30MHz, el espesor de la placa del cristal comienza a ser muy delgado.

Debido a que el corte "AT" resonará a números enteros impares múltiplos de la frecuencia fundamental, es necesario especificar el orden del sobretono deseado para cristales de altas frecuencias.

Potencia de trabajo (Drive Level): Es la potencia disipada por el cristal. Está normalmente especificada en micro o miliwatts, siendo un valor típico 100 microwatts.

Tolerancia en la frecuencia: La tolerancia en la frecuencia se refiere a la máxima desviación permitida y se expresa en partes por millón (PPM) para una temperatura especificada, usualmente 25°C.

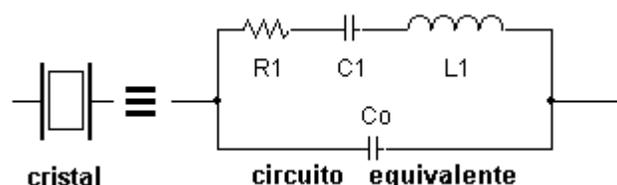
Estabilidad de la frecuencia: La estabilidad de la frecuencia se refiere a la máxima desviación en PPM, en un determinado rango de temperatura. La desviación esta tomada con referencia a la frecuencia medida a 25°C.

Envejecimiento: El envejecimiento se refiere a los cambios acumulativos en la frecuencia del cristal con el transcurrir del tiempo. Los factores que intervienen

son: exceso en la potencia disipada, efectos térmicos, fatiga en los alambres de armado y pérdidas en la elasticidad del cristal.
El diseño de circuitos considerando bajas temperaturas ambientales y mínimas potencias en el cristal reducirán el envejecimiento.

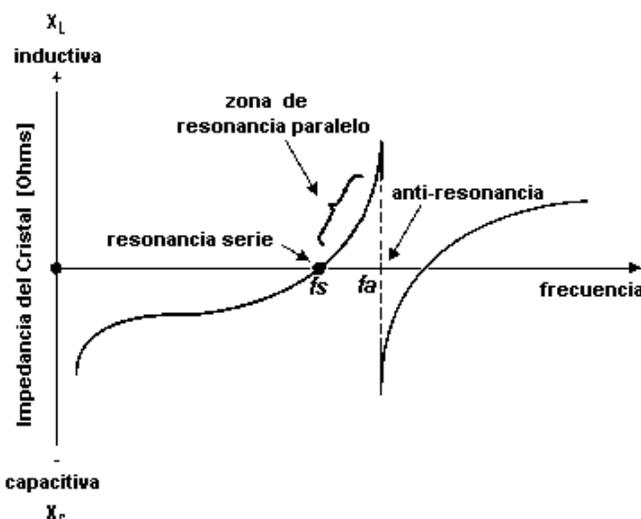
Circuito Eléctrico Equivalente: El circuito eléctrico equivalente que se muestra a continuación es un esquema del cristal de cuarzo trabajando a una determinada frecuencia de resonancia. El capacitor C_0 o *capacidad en paralelo*, representa en total la capacidad entre los electrodos del cristal más la capacidad de la carcasa y sus terminales. R_1, C_1 y L_1 conforman la rama principal del cristal, donde:

- L_1 representa la masa vibrante del cristal.
- C_1 representa la elasticidad del cuarzo.
- R_1 representa las pérdidas que ocurren dentro del cristal.



Curva de Impedancia:

Un cristal tiene dos frecuencias de resonancia, como se ven en la siguiente figura. La más baja es la frecuencia de Resonancia Serie indicada como f_s . En éste punto el cristal se comporta como una resistencia en el circuito, la impedancia está en un mínimo y la corriente que circula es la máxima. A medida que se incrementa la frecuencia, el cristal pasa por la zona de resonancia paralelo y llega a la frecuencia de Antiresonancia f_a en la cual la impedancia es máxima, y las reactivancias de la L_1 y la C_0 se cancelan. En éste punto, la corriente que circula por el cristal es la mínima.
En la mayoría de los cristales la frecuencia paralelo (f_a) varía menos de 1% por encima de la frecuencia serie.

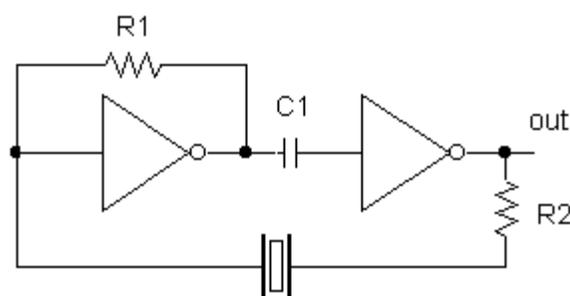


Factor de Calidad (Q): El factor de calidad (Q) es una medida de la eficiencia de la oscilación. La máxima estabilidad obtenible de un cristal depende del valor de "Q". En la figura de la impedancia del cristal, la separación entre las frecuencias serie y paralelo se llama *ancho de banda*. Cuanto más pequeño el ancho de banda mayor es el "Q". Cambios en la reactivancia del circuito externo tienen menos efecto en un cristal de alto "Q" por lo tanto la frecuencia es en definitiva más estable. Típicamente en los cristales "Q" va de varios cientos de miles a algunos millones. Recordar que $Q = X_L/R$.

Circuitos Osciladores con cristal

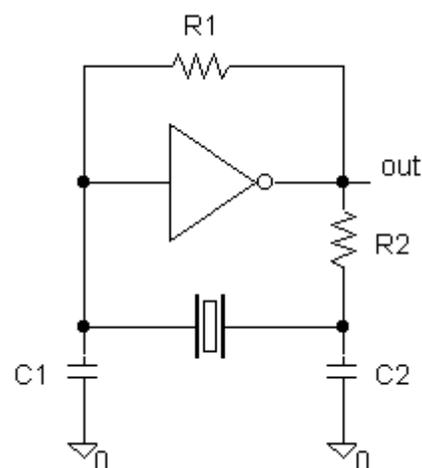
Circuitos Osciladores Serie

Un circuito básico oscilador resonante serie, utiliza un cristal que está diseñado para oscilar en su frecuencia resonante serie natural. En éste circuito no hay capacitores en la realimentación. Los circuitos resonantes serie son usados por la baja cantidad de componentes que se utilizan, pero estos circuitos pueden tener componentes parásitos que intervienen en la realimentación y en el caso que el cristal deje de funcionar oscilarán a una frecuencia impredecible. La figura muestra el esquema de este oscilador. De la figura del circuito básico del oscilador resonante serie se ve que no existen componentes para ajustar la frecuencia de oscilación. R_1 es utilizado para polarizar el inversor en su región lineal de operación y además provee realimentación negativa al inversor. C_1 es un capacitor de acople para bloquear la componente de continua. R_2 está para controlar la potencia que se entrega al cristal, limitando la corriente a través de él.



Circuitos Osciladores Paralelo

Un circuito oscilador paralelo utiliza un cristal que está diseñado para operar con un valor específico de capacidad de carga. Esto resultará en un cristal que tendrá una frecuencia mayor que la frecuencia resonante serie, pero menor que la verdadera frecuencia resonante paralelo. Este circuito básico se muestra en la figura. Un circuito utiliza un **inversor** simple para hacer el oscilador, donde R1 y R2 cumplen las mismas funciones que en el circuito del oscilador resonante serie, con dos capacitores en la realimentación, que componen la capacidad de carga y en conjunto con el cristal darán lugar a la frecuencia a la cual oscilará el circuito.



O sea que ajustes en los capacitores de carga, darán lugar a una variación pequeña en la frecuencia de oscilación, permitiendo un ajuste fino de la misma. El cristal es resonante paralelo, especificado para trabajar con una determinada capacidad de carga a la frecuencia deseada y con la tolerancia y estabilidad deseadas. La capacidad de carga (CL) para el cristal en este circuito puede ser calculada con la siguiente fórmula:

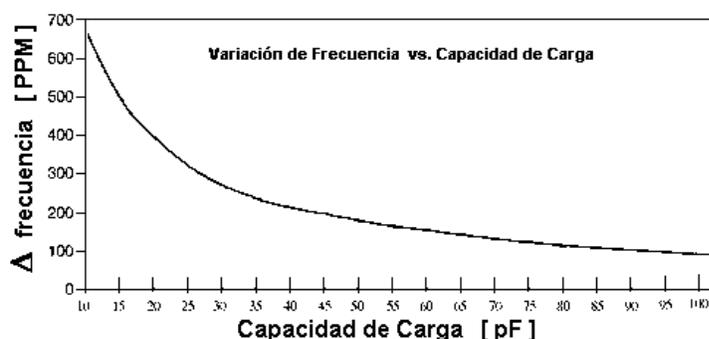
$$CL = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2} + Cs$$

Donde para inversores de las familias lógicas CMOS de alta velocidad:

- Cs es la capacidad parásita del circuito y normalmente se estima entre 3pf a 10pf.
- R1 es del orden de 8.2 MOhm a 10 MOhm
- R2 es del orden de 470 Ohm a 2200 Ohm
- Valores típicos de C1 y C2 son del orden de 62 pf

Capacidad de ser Cargado (Pullability)

Son los cambios de frecuencia de un cristal, en función de la capacidad de carga. En la siguiente figura se muestra la variación de frecuencia en función de la capacidad de carga, expresada en PPM.

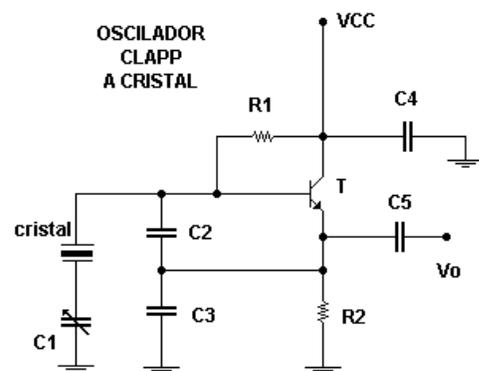


Ejemplo: Se ensayo con R1=2,2M, R2=2,2K , C1=47pf, C2=47pf, VCC=12V XTAL= 4Mhz, CD4069, OSC punta X10, AC.

Oscilador CLAPP a cristal

En este puede verse el cristal como elemento de realimentación determinante de la frecuencia de oscilación, sobre un amplificador en la configuración C.C. El trimmer sirve para hacer un ajuste fino de la frecuencia de oscilación.

Al conectar la alimentación se polariza la base del TBJ a través de R1, con lo cual este conducirá aumentando la tensión de salida. Esta tensión cargará al C3 y al C2 a través de R1. Este proceso continua hasta la saturación del TBJ, momento en 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 C2 y C3, el cristal al continuar vibrando, genera una tensión que carga a los capacitores con polaridad inversa a la anterior, provocando la disminución de la polarización del TBJ y la consiguiente disminución de la tensión de salida. Este proceso continua porque la conducción del TBJ permite reponer las pérdidas de la vibración del cristal, resultando un oscilador de una gran estabilidad y pureza espectral. El C4 sirve como filtro de radiofrecuencia, evitando que la corriente alterna afecte a otros circuitos, a través de la fuente de alimentación. C5 es un capacitor de acople de la señal senoidal al circuito de utilización.

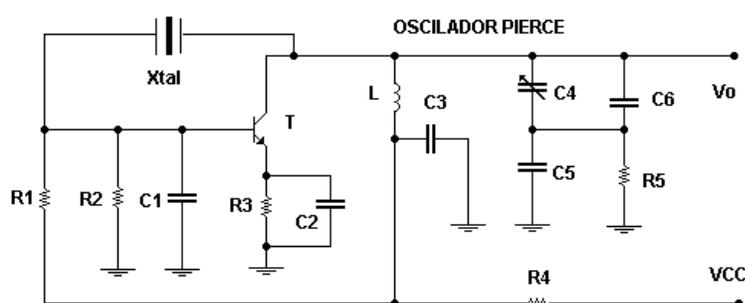


Ejemplo:
 cristal = 1 a 20 MHz T = BC548
 R1= 220K 1/2 W R2= 1K 1/2 W
 C1= 50pf C2= 82pf C3= 1nf C4= 100nf
 C5= 100pf
 VCC = 10V

Oscilador Pierce: Es un oscilador de tipo Colpitts en el cual se ha reemplazado el inductor por un Cristal.

R4 es la RC del TBJ.
L -C3 es un filtro de radiofrecuencia.
R1 Y R2 divisor de tensión de polarización para la base del TBJ.
R3 es la resistencia de estabilización térmica del emisor, C2 la desacopla en alterna.

C4 - C5 - C6 pueden considerarse como un solo capacitor C0 para la frecuencia de oscilación del circuito. El cristal (Xtal) en el camino de la realimentación de colector a la base, ofrece 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 TBJ, esto no sucede porque el conjunto formado por C0 - C1 y Xtal forman un



circuito sintonizado, divisor de tensión, que permite un desfase adicional de 180° para la f del cristal, variando bruscamente este desfase para cualquier otra frecuencia.

Ejemplo

- Xtal= 1 a 10 MHz
- T= BC548 L= 3.3uH
- R1=10K R2=10K R3=4.7K R4=3.9K R5=47
- C1= 150pf C2= 3.3nf C3= 10nf C4= 22pf
- C5= 390pf C6= 39pf

CONSIDERACIONES GENERALES

Debido al altísimo "Q" del cristal y a las altas frecuencias de oscilación, a la hora de montar circuitos se debería 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 cual se monte el circuito.
- ✓ Reducir al mínimo el camino al cristal.
- ✓ Utilizar al medir con el osciloscopio una punta de prueba adecuada, para no introducir impedancias indeseadas.
- ✓ Acceder a la salida de los circuitos con capacitores de valor bajo, para no introducir cargas excesivas, ya que una carga demasiado baja podría someter al cristal a esfuerzos mecánicos muy altos que podrían deteriorarlo.

RESUMEN:

Entonces, un cristal sometido a un voltaje de corriente alterna genera vibraciones mecánicas. 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 continúa vibrando, y al hacerlo, genera 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 y de la frecuencia eléctrica de excitación. Si se excita un cristal con un voltaje de corriente alterna de la misma frecuencia que la natural, se produce un fenómeno de resonancia, estableciéndose vibraciones de gran amplitud y el cristal genera un voltaje de corriente alterna relativamente grande. Pero si la frecuencia de excitación es diferente (aunque sea en poca medida) a la frecuencia natural de vibración del cristal, el voltaje generado por este será muy poco perceptible debido a la poca vibración mecánica.

La frecuencia de un cristal depende de las dimensiones, de la orientación de las superficies respecto de los ejes y como esta montado el cristal sobre los electrodos de contacto. El margen de frecuencias va desde unos pocos KHz hasta varios MHz.

Típicos parámetros de un cristal (del circuito equivalente)
Tomados de la nota de aplicación AN-340 de National.

Parámetro	32KHz Fundamental	200KHz Fundamental	2MHz Fundamental	20MHz Sobretono
R1	200K	2K	100	20
L1	7000H	27H	529mH	11mH
C1	0.003pf	0.024pf	0.012pf	0.0026pf
C0	1.7pf	9pf	4pf	6pf
Q	100K	18K	54K	100K

OSCILADORES RC

Para frecuencias menores que 100 kHz, se trata de evitar el uso de bobinas, surgiendo así los osciladores RC. Entre ellos están:

- a) Osciladores por rotación de fase. b) Osciladores con puente de Wien.

Nosotros estudiaremos: oscilador por rotación de fase

Consiste en utilizar un elemento activo inversor y una cascada de células RC que producen rotaciones de fase que sumadas proporcionan los 180° requeridos por el criterio de Barkhausen. Dado que una célula RC produce un máximo defasaje de 90°, se requieren al menos tres células para que en alguna frecuencia se alcancen los 180°.

En la figura 1 se presenta la estructura genérica de un oscilador por rotación de fase, cuyo lazo abierto se muestra en la figura 2. La salida se obtiene de la salida del elemento activo.

ESTRUCTURA DE UN OSCILADOR POR ROTACIÓN DE FASE

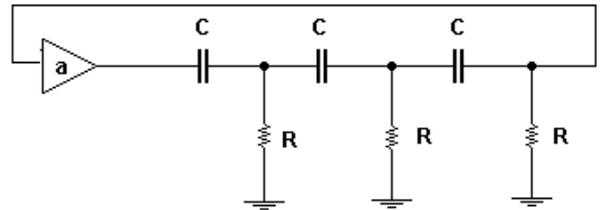
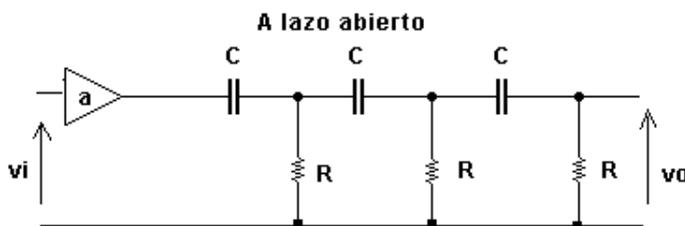


Figura 1



Para que el circuito oscile debe ser

$$\text{Im}\left(\frac{v_i}{v_o}\right) = 0$$

lo cual ocurre cuando

$$\omega_0 := \frac{1}{\sqrt{6 \cdot R \cdot C}}$$

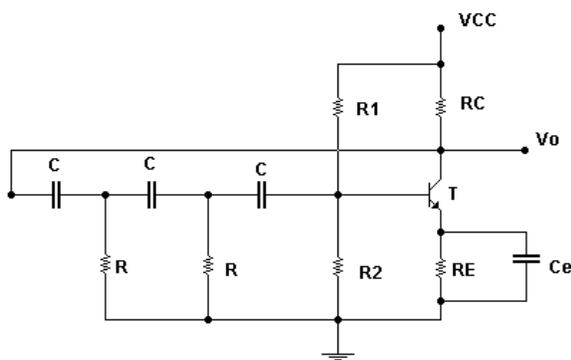
Puede verificarse por cálculo directo que $AV = v_o / v_i$ es:

$$\frac{a \cdot (\omega \cdot R \cdot C)^3}{(\omega \cdot R \cdot C)^3 - 5 \cdot (\omega \cdot R \cdot C) - j \cdot [6 \cdot (\omega \cdot R \cdot C)^2 - 1]}$$

A esa frecuencia, la ganancia es:

$$AV := -\frac{a}{29}$$

El circuito oscilará si esta ganancia es mayor que 1, es decir, si la ganancia del amplificador satisface $-a > 29$. Por lo tanto debe ser un amplificador inversor con ganancia mayor que 29.



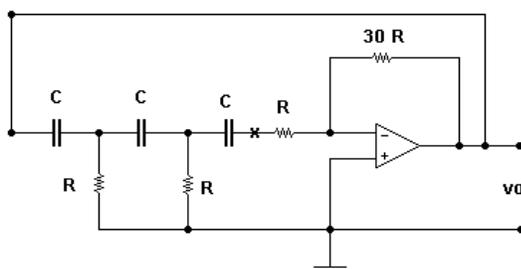
En las figuras siguientes se muestran ejemplos con transistor bipolar (TBJ) y con amplificador operacional.

En el ejemplo con TBJ debe ser:

$$R1 // R2 // r_{pi} = R$$

de lo contrario, si bien oscilará, la frecuencia será distinta de la calculada. La señal senoidal se toma de la salida Vo.

Ej: C=47nf, Ce=10uf, R=330 RC=220, RE=22, R1=R2=100K, BC548, VCC=10V -fmedida= 3.3K



En el ejemplo con amplificador operacional, la resistencia R conectada al terminal inversor cumple una doble función: es la resistencia de terminación de la red RC (ya que el terminal inversor está a masa virtual) y como resistencia de entrada para el amplificador inversor. Obsérvese que se la ha dado una ganancia -30, apenas superior en valor absoluto a la requerida (aunque por problemas de tolerancia puede convenir un valor un poco mayor).

NOTA: Sería posible, en principio, usar una red pasabajos RC en lugar de la pasaaltos utilizada. Sin embargo, la distorsión es menor en la que se ha adoptado, ya que el punto de menor contenido armónico es su entrada (es decir, la salida del oscilador). En el caso de la red RC pasabajos, el menor contenido armónico se da a la salida de la red, es decir, a la entrada del amplificador, lo cual no es conveniente.