**Operación de un oscilador**

El funcionamiento de un oscilador se divide generalmente en dos fases: el arranque y el funcionamiento en estado estacionario. Un oscilador debe arrancar por sí mismo sin ningún estímulo externo.

Cuando se aplica la alimentación por primera vez, los cambios de tensión en la red de polarización provocan cambios de tensión en la red de filtrado. Estos cambios de tensión excitan la frecuencia natural de la red de filtrado y comienza la acumulación de la señal. La señal desarrollada en la red de filtrado es pequeña. Positivo

La retroalimentación positiva y el exceso de ganancia en el amplificador aumenta la señal hasta que la no linealidad del amplificador limita la ganancia del bucle a la unidad. En este punto el oscilador entra en estado estacionario. El tiempo que transcurre desde el encendido hasta el funcionamiento en estado estacionario es el tiempo del oscilador.

El funcionamiento en estado estacionario del oscilador se rige por el amplificador y el circuito sintonizado del bloque de filtrado.

La ganancia del bucle se mantiene en la unidad debido a la no linealidad del del amplificador. La reactancia del circuito sintonizado se ajustará para cumplir con el requisito de fase de Barkhausen de 2 radianes. Durante el funcionamiento en estado estacionario, nos preocupa la potencia de salida y la carga del circuito sintonizado.

**Amplificador**

El circuito amplificador se implementa normalmente con un transistor de unión bipolar o de efecto de campo (JFET, MOSFET, etc.). Las características lineales del transistor determinan las condiciones de arranque del oscilador.

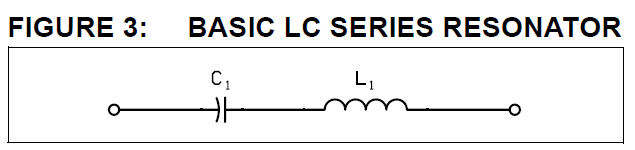
Las características no lineales determinan el punto de funcionamiento del oscilador.

**Circuitos Sintonizados**

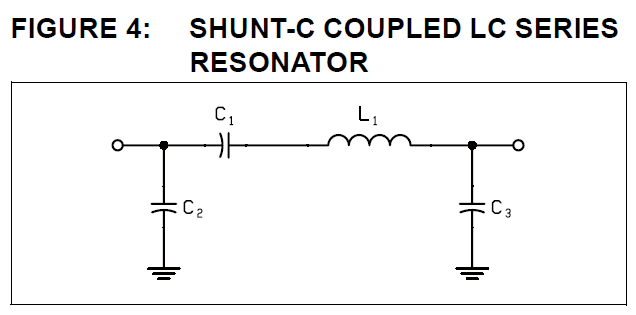
El bloque de filtrado establece la frecuencia con la que el oscilador funcionará. Para ello se utiliza un circuito sintonizado LC (inductor y condensador) o un cristal. Inicialmente, veremos algunos circuitos osciladores básicos que utilizan un circuito sintonizado LC.

Más adelante veremos los fundamentos del cristal y cómo funcionan los osciladores de cristal.

La figura 3 muestra un resonador LC básico en serie que utiliza un inductor y un condensador. Este es un simple filtro pasa banda que en resonancia la reactancia capacitiva y la inductiva son iguales y se cancelan entre sí. Hay un desplazamiento de fase cero y sólo queda la resistencia real.



Dado que utilizamos un amplificador inversor, el bloque de filtrado debe proporcionar un desplazamiento de fase de p radianes (180 grados) para satisfacer el segundo criterio de Barkhausen. La figura 4 muestra un resonador LC en serie de cuatro elementos acoplados que proporciona un desplazamiento de fase y una red de acoplamiento.



**Factor de Calidad**

Q (factor de calidad) es la relación entre la energía almacenada en un componente reactivo, como un condensador o un inductor, y la suma total de todas las pérdidas de energía. Un circuito ideal sintonizado construido con un inductor y un condensador almacenará energía intercambiando la corriente de un componente a otro. siguiente. En un circuito sintonizado real, la energía se pierde a través de resistencia real. La ecuación de un circuito sintonizado Q es reactancia dividida por la resistencia:

Nos preocupa la Q del circuito porque define el ancho de banda con el que funcionará un circuito sintonizado. El ancho de banda se define como la dispersión de frecuencias entre las dos frecuencias en las que la amplitud de la corriente disminuye hasta 0,707 (1 dividido por la raíz cuadrada de 2) veces el valor máximo. Dado que la potencia consumida por la resistencia real, R, es proporcional al cuadrado de la corriente, la potencia en estos puntos es la mitad de la potencia máxima en la resonancia [2]. Estos puntos se denominan puntos de media potencia (-3dB).

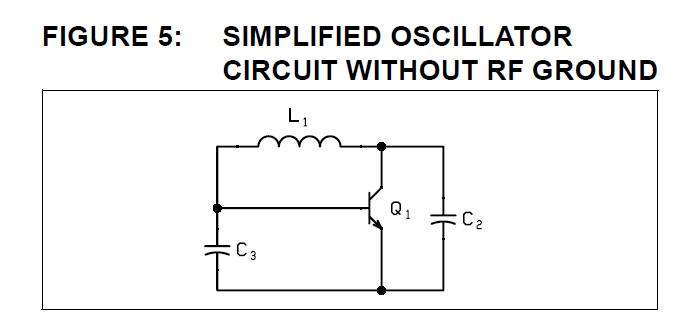
Para valores de Q de 10 o más, se puede calcular el ancho de banda:

Donde f es la frecuencia de resonancia de interés. En términos relativos, un circuito de alto Q tiene un ancho de banda mucho más estrecho que un circuito de bajo Q. Para el funcionamiento del oscilador, nos interesa el Q más alto que se puede obtener en el circuito sintonizado. Sin embargo, hay influencias externas que afectan al Q del circuito.

El Q de un circuito sintonizado se ve afectado por las cargas externas. Por lo tanto, diferenciamos entre Q sin carga y Q con carga. Q sin carga define un circuito que no está influenciado por una carga externa. Q cargado es un circuito influenciado por la carga.

Circuitos Osciladores

Existen ilimitadas combinaciones de circuitos que conforman osciladores. Muchos de ellos adoptan el nombre de sus inventores: Butler, Clapp, Colpitts, Hartley, Meacham, Miller, Seiler y Pierce, por nombrar algunos. Muchos de estos circuitos son derivados unos de otros. El lector de El lector no debe preocuparse por la nomenclatura de un oscilador nomenclatura de un oscilador en particular, sino que debe centrarse en los principios de funcionamiento [4]. Ningún circuito es universalmente adecuado para todas las aplicaciones [5]. La elección del circuito oscilador depende de los requisitos del dispositivo. Ahora vamos a añadir un circuito al diagrama de bloque del oscilador simplificado de la Figura 2. La Figura 5 muestra un circuito oscilador simplificado oscilador simplificado con sólo los componentes de RF, sin resistencias de polarización y sin conexión a tierra [3]. El amplificador inversor de amplificador inversor se implementa con un solo transistor. El mecanismo de retroalimentación depende de la de la referencia de tierra que se elija. De los numerosos tipos de osciladores tipos de osciladores, hay tres comunes: Pierce, Colpitts y Clapp. Cada uno consiste en el mismo circuito excepto que los puntos de tierra de RF están en diferentes lugares.

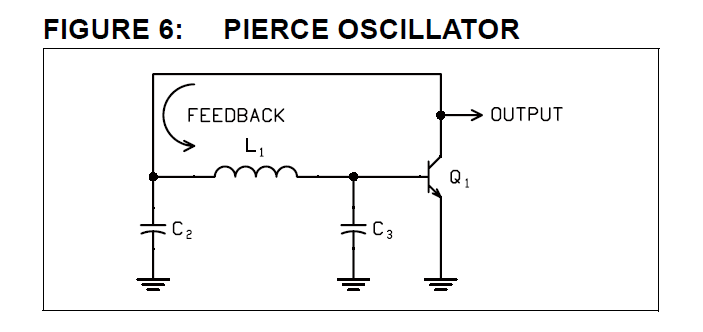


El tipo de oscilador que aparece en el microcontrolador PICmicro es el Pierce y el tipo implementado en el transmisor rfPIC12C509AG/509AF es el Colpitts.

**Oscilador Pierce**

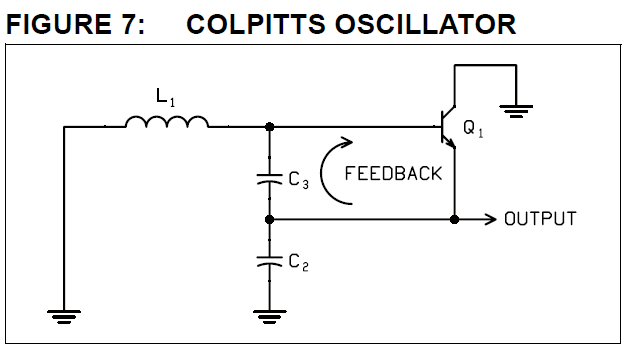
El oscilador Pierce (Figura 6) es un circuito resonante en serie sintonizado en serie. Los condensadores C2 y C3 se utilizan para estabilizar la cantidad de retroalimentación para evitar la sobrecarga del amplificador de transistores.

El oscilador Pierce tiene muchas características deseables. Funcionará en una amplia gama de frecuencias y tiene muy buena estabilidad a corto plazo [6].



**Oscilador Colpitts**

El oscilador Colpitts (Figura 7) utiliza un circuito resonante paralelo sintonizado en paralelo. El amplificador es un seguidor de emisor. La retroalimentación se proporciona a través de un divisor de tensión divisor de tensión (C2 y C3). Los condensadores C2 y C3 forman un divisor de tensión capacitivo que acopla parte de la energía del emisor a la base.

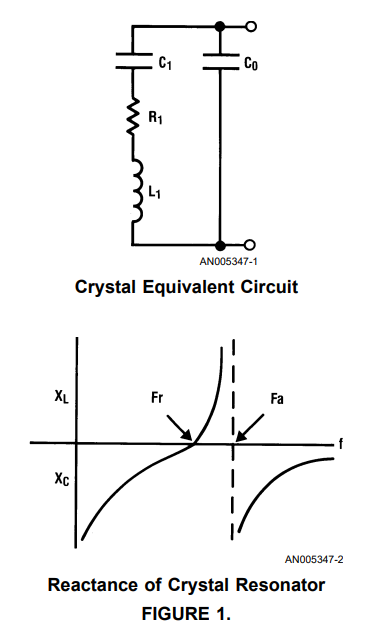


El oscilador Colpitts funciona de forma diferente al oscilador Pierce. La diferencia más importante está en la disposición de la polarización. Las resistencias de polarización de los transistores pueden aumentar la resistencia efectiva del circuito sintonizado (LC o cristal), reduciendo así su Q y disminuyendo la ganancia del bucle [5].

El circuito resonante paralelo formado por L1 en paralelo con C2 y C3 determina la frecuencia del oscilador.

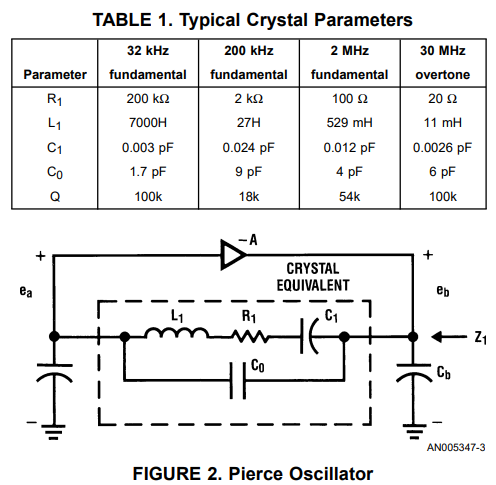
**HCMOS Oscilador a Cristal**

Con la llegada de los circuitos HCMOS de alta velocidad, es posible construir sistemas con velocidades de reloj superiores a 30 MHz. Los conocidos circuitos osciladores de puerta utilizados a bajas frecuencias funcionan bien a frecuencias más altas y se pueden utilizar resonadores L-C o de cristal en función de la estabilidad requerida. Por encima de 20 MHz, resulta caro fabricar cristales en modo fundamental fundamental, por lo que se utilizan los modos de sobretono.



**Teoría básica del oscilador**

En la figura 1 se muestra el circuito equivalente de un cristal de cuarzo y sus características de reactancia con la frecuencia. La frecuencia FR se llama la frecuencia resonante y es donde L1 y C1 están en resonancia en serie y el cristal parece una pequeña resistencia R1. La frecuencia FA es la frecuencia antirresonante y es el punto en el que L1-C1 parecen inductivos y resuenan con CO para formar la frecuencia de resonancia paralela FA, FR y FA suelen tener una diferencia inferior al 0,1%. Al especificar los cristales, la frecuencia FR es la frecuencia de oscilación del cristal en un circuito en modo serie, y FR es la frecuencia de resonancia en paralelo. En un circuito en modo paralelo, la frecuencia de oscilación estará ligeramente por debajo de FA donde el componente inductivo del brazo L1 - C1 resuena con CO y la capacitancia del circuito externo. La frecuencia exacta suele ser corregida por el fabricación del cristal a una capacitancia de carga especificada, generalmente 20 o 32 picofaradios.

****

El oscilador Pierce es uno de los circuitos más populares, y es la base de casi todos los osciladores de puerta única que se utilizan hoy en día. En este circuito, Figura 2, la señal de la entrada a la salida del amplificador está desfasada 180 grados. El cristal aparece como un gran inductor ya que está operando en el modo paralelo, y en conjunto con CA y CB, forma una red pi que proporciona 180 grados adicionales de desplazamiento de fase desde la salida a la entrada. CA en serie con CB más cualquier capacitancia adicional forman la capacitancia de carga para el cristal. En este circuito, CA se suele hacer del mismo valor que CB, y el valor total de ambos condensadores en serie es la capacitancia de carga del cristal que generalmente se elige de 32 pF, haciendo que el valor de cada condensador sea de 64 pF. Las ecuaciones de aproximación de la impedancia de carga, Z1, presentada a la salida del amplificador del oscilador de cristal por la red de cristal es:



Donde XC=-j/ωCB y RL es la resistencia en serie del cristal como se muestra en la Tabla I. También ω=2πf donde f es la frecuencia de oscilación.

La relación entre la tensión de entrada de la red de cristal y su tensión de salida viene dada por:



CA y CB se eligen de forma que su capacidad combinada en serie sea igual a la capacidad de carga especificada por el fabricante, es decir, 20 pF o 32 pF como se ha mencionado. Para poder oscilar el desplazamiento de fase a la frecuencia deseada alrededor del bucle del oscilador debe ser de 360˚ y la ganancia del bucle del oscilador debe ser mayor o igual a uno, o:

(AA)(AF)≥1

Donde AA es la ganancia del amplificador y AF es la tensión de la red de cristal ganancia de la red de cristal π: eA/e B. Por tanto, no sólo debe elegirse la combinación en serie de CB y CA. La relación de los dos puede ajustarse para ajustar la ganancia del bucle del oscilador. Por ejemplo, si se requiere un oscilador de 2 MHz. Entonces R L=100Ω Tabla 1. Si eA/eB=1 y el cristal requiere una carga de 32 pF entonces CB=64 pF y entonces CA se convierte en 64 pF también. El carga que presenta la red del cristal es ZL= (1⁄2π (2 MHz)(64 pF)2 )/100=16 kΩ.

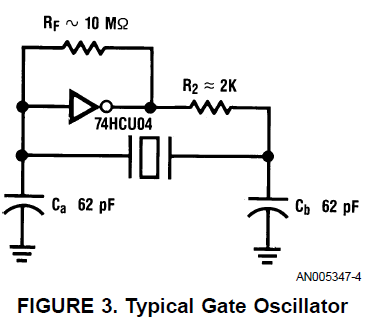
**El oscilador de puerta CMOS**

Una puerta CMOS se aproxima lo suficiente al amplificador ideal mostrado arriba que puede ser utilizado en casi el mismo circuito. Una revisión de las hojas de datos de los fabricantes revelará que hay dos tipos de puertas CMOS inversoras:

1. 1. Sin amortiguación: puertas compuestas por una sola etapa inversora. Ganancia de tensión de cientos.

2. 2. Buffered: compuertas compuestas por tres etapas inversoras en serie. Las ganancias de tensión son superiores a diez mil.

Las puertas CMOS deben estar diseñadas para manejar cargas relativamente grandes y deben suministrar una cantidad de corriente bastante grande. En una estructura de estructura de una sola puerta que está polarizada en su región lineal para que ambos dispositivos están encendidos, la corriente de alimentación será alta. Las puertas amortiguadas están diseñadas con la primera y la segunda puerta para que sean mucho más pequeñas que la puerta de salida y disiparán poca energía. Dado que la ganancia es tan alta, incluso una pequeña señal conducirá la salida alta o baja y se disipa poca energía. De este modo, las puertas sin búfer disiparán más energía que las puertas con buffer. Tanto las compuertas con buffer como las sin buffer pueden utilizarse como osciladores de cristal con sólo ligeros cambios en el diseño de los circuitos.



En este circuito, RF sirve para polarizar la puerta en su región lineal, asegurando la oscilación, mientras que R2 proporciona una impedancia para añadir un desplazamiento de fase adicional junto con CB. También sirve para evitar oscilaciones espurias de alta frecuencia y la salida de la puerta de la red de cristal para obtener una onda cuadrada limpia de la salida de la puerta. Su valor se elige para ser aproximadamente igual a la reactancia capacitiva de CB a la frecuencia de oscilación, o el valor de la impedancia de carga ZL calculada anteriormente. En este caso, hay habrá una pérdida de tensión de dos a uno desde la salida de la puerta hasta la entrada de la red de cristal debido al efecto divisor de tensión de R 2 y ZL. Si CA y CB se eligen iguales, la tensión a la entrada de la puerta será la misma que la de la entrada a la red de cristal o la mitad de la tensión a la salida de la puerta. En este caso, la puerta debe tener una ganancia de tensión de 2 o más para oscilar. Excepto a frecuencias muy altas, todas las puertas CMOS tienen ganancias de tensión muy superiores a 10 y el funcionamiento debería ser satisfactorio.

La teoría y el experimento demuestran que las puertas sin búfer son más estables como osciladores en una proporción de hasta 5 a 1. Sin embargo, las puertas sin búfer consumen más energía si se utilizan en el mismo circuito que una puerta con buffer. El consumo de energía puede minimizarse aumentando la retroalimentación, lo que obliga a la puerta a funcionar durante menos tiempo en su región lineal.

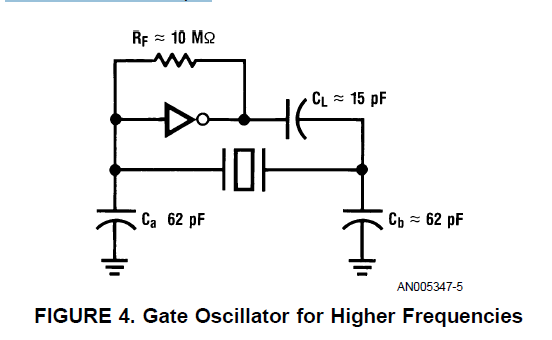
Cuando se diseña con puertas amortiguadas, el valor de R2 o CB puede aumentarse en un factor de 10 o más. Esto aumentará la pérdida de voltaje alrededor del bucle de retroalimentación, lo cual es deseable ya que la ganancia de la puerta es considerablemente mayor que la de una puerta sin búfer. CA y CB forman la capacitancia de carga para el cristal. Muchos cristales están cortados para una capacitancia de carga de 20 a 32 picofaradios. Esta es la capacitancia que hará que el cristal oscile a su frecuencia nominal. Variando esta capacitancia variará la frecuencia de oscilación. Por lo general, los diseñadores trabajan con los fabricantes de cristales para seleccionar el mejor valor de capacitancia de carga para su aplicación, a menos que se seleccione un cristal que se haya elegido un cristal de serie.

**Efectos de alta frecuencia**

El desplazamiento de fase a través de la puerta puede estimarse considerando su tiempo de retardo:

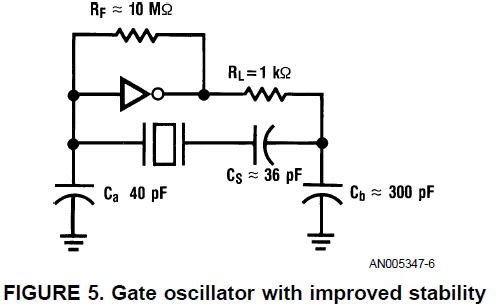
Desplazamiento de fase = Frecuencia X Tiempo de retardo X 360°

El "típico oscilador de puerta" funciona bien a bajas frecuencias donde el desplazamiento de fase a través de la puerta no es excesivo. Sin embargo, por encima de 4 MHz, donde 10 nseg de retardo de tiempo representa 14,4° de exceso de desplazamiento de fase, R2 debe ser cambiado por un pequeño condensador para evitar el desplazamiento de fase adicional de R2. El valor de este condensador es aproximadamente 1/wC donde w=2pf, pero no menos de unos 20 pF.



**Mejora de la estabilidad del oscilador**

La puerta CMOS es un oscilador mediocre en comparación con un transistor o un FET. comparado con un transistor o un FET: consume más energía y es generalmente menos estable. Sin embargo, suele haber puertas adicionales y a menudo se utilizan como osciladores. Si se requiere una mayor estabilidad mejorada, especialmente de los osciladores de puerta con buffer, se puede utilizar un enfoque que se muestra en la Figura 5.



En este circuito, CA y CB se hacen grandes para amortiguar los efectos de la temperatura y el cambio de la tensión de alimentación en la puerta de entrada y salida. Un pequeño condensador en serie con de cristal actúa como carga de cristal y aísla el cristal del resto del circuito.

**Osciladores de cristal de sobretono**

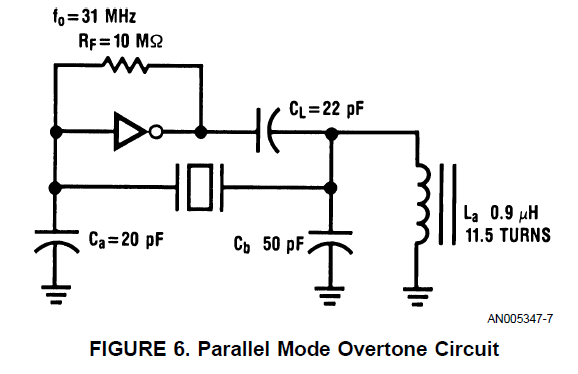
A frecuencias superiores a los 20 MHz, resulta cada vez más difícil cortar o trabajar con piezas en bruto de cristal, por lo que generalmente se utiliza un cristal en su modo de sobretono. Además, los cristales del modo fundamental por encima de esta frecuencia tienen menos estabilidad y mayores de envejecimiento. Todos los cristales mostrarán las mismas características de reactancia frente a la frecuencia en las frecuencias de sobretono impares que en la frecuencia fundamental. Sin embargo, las resonancias de sobretono no son múltiplos exactos de la fundamental, por lo que un cristal de sobretono debe especificarse como tal.

En el diseño de un oscilador de cristal de sobretono, es muy importante suprimir el modo fundamental, o el circuito intentará de oscilar allí, o peor, tanto en el fundamental como en el fundamental y en el sobretono con poca predictibilidad en cuanto a cuál. Básicamente, esto requiere que la red de retroalimentación de cristal tiene más ganancia en la frecuencia de sobretono que la fundamental. Esto se suele hacer generalmente con una red selectiva de frecuencia como un circuito sintonizado.

El circuito de la figura 6 funciona en el modo paralelo igual que el oscilador Pierce anterior. El circuito resonante LA-CB es un cortocircuito efectivo en la frecuencia fundamental, y está sintonizado algo por debajo de la frecuencia de sobretono del cristal diferido.

Además, CL se elige para suprimir el funcionamiento en el modo fundamental.

La bobina LA puede ser sintonizada para producir la máxima salida y afectará ligeramente a la frecuencia de oscilación. El cristal debe especificarse de manera que se obtenga la frecuencia adecuada a nivel de salida máximo de la puerta.



**Algunos consejos prácticos de diseño**

En los circuitos anteriores, se pueden hacer algunas generalizaciones respecto a la selección de los valores de los componentes.

RF: Establece el punto de polarización, debe ser tan grande como sea práctico.

R1: Aísla la red de cristal de la salida de la puerta y proporciona un exceso de desplazamiento de fase que disminuye la probabilidad de oscilación espuria a altas frecuencias. El valor debe ser aproximadamente igual a la impedancia de entrada de la red de cristal o la reactancia del CB a la frecuencia del oscilador. Si se aumenta el valor disminuirá la cantidad de retroalimentación y mejorará la estabilidad.

CB: Parte de la carga de la red de cristal. A menudo se elige el doble del valor de la capacitancia de carga del cristal. Al aumentar el valor aumentará la retroalimentación. CA: Parte de la red de carga del cristal. A menudo se elige para que sea el doble del valor de la capacitancia de carga del cristal. del valor de la capacitancia de carga del cristal. Si se aumenta el valor aumentará la retroalimentación.

CL: Se utiliza en lugar de R1 en aplicaciones de alta frecuencia. Reactancia debe ser aproximadamente igual a la impedancia de entrada de la red de cristal de entrada de la red de cristal.

El diseño del oscilador es un arte imperfecto en el mejor de los casos. Deben combinarse las técnicas de diseño técnicas de diseño teóricas y experimentales. experimentales.

1. No diseñe para una cantidad excesiva de ganancia alrededor de el bucle de retroalimentación. Una ganancia excesiva conducirá a la inestabilidad y puede resultar en que el oscilador no sea controlado por el cristal.

2. Asegúrese de realizar el diseño en el peor de los casos. Se puede añadir una resistencia resistencia en serie con el cristal para simular el peor de los casos. de los cristales. El circuito no debe oscilar en ninguna frecuencia con el cristal fuera del circuito.

3. Una comprobación rápida del rendimiento del oscilador consiste en medir la estabilidad de la frecuencia con variaciones de la tensión de alimentación. Para puertas HCMOS, un cambio de la tensión de alimentación de 2,5 a 6 voltios debe dar lugar a menos de 10 PPM de cambio en la frecuencia.

Los cambios en el valor del circuito deben ser evaluados para mejoras en la estabilidad.