

## Osciladores de radiofrecuencia: Colpitts y Hartley

### 19.1. INTRODUCCION

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.

El objeto de esta práctica es el estudio de los osciladores de radiofrecuencia contruidos con un circuito tanque, es decir, con bobinas y condensadores.

### 19.2. DESCRIPCION BASICA

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 condensadores. Su frecuencia de salida está comprendida dentro de la gama de baja frecuencia.

En la Figura 19.1 se muestra el esquema de principio de un oscilador, en el que se observa un amplificador con una red de realimentación.

Ya conocemos por prácticas anteriores las características de los amplificadores realimentados, en los que la señal realimentada está en contrafase con la señal original de entrada. A tal tipo de realimentación se le llama negativa, siendo la entrada efectiva del amplificador menor que la señal original. Ahora bien, si esta señal realimentada está en



Figura 19.1. Esquema de bloques de un oscilador.

fase con la señal de entrada, el resultado es una señal efectiva mayor, llegando incluso a darse el caso de, 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.

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

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

Ya hemos visto, anteriormente, 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 requisitos se les conoce con el nombre de **condiciones de Barkhausen**, que son las *condiciones necesarias y suficientes para que cualquier amplificador realimentado oscile*.

### 19.3. FUNCIONAMIENTO

#### ■ El circuito tanque

Se conoce con el nombre de circuito tanque al formado por la conexión en paralelo de un condensador y una bobina; el nombre proviene de su capacidad de almacenar energía eléctrica y magnética. En la Figura 19.2 se muestra un circuito tanque típico, que nos va a servir para estudiar su comportamiento.

Suponiendo que  $C$  está inicialmente descargado, conmutamos  $S_1$  a la posición 1, por

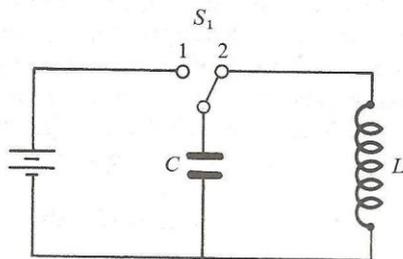
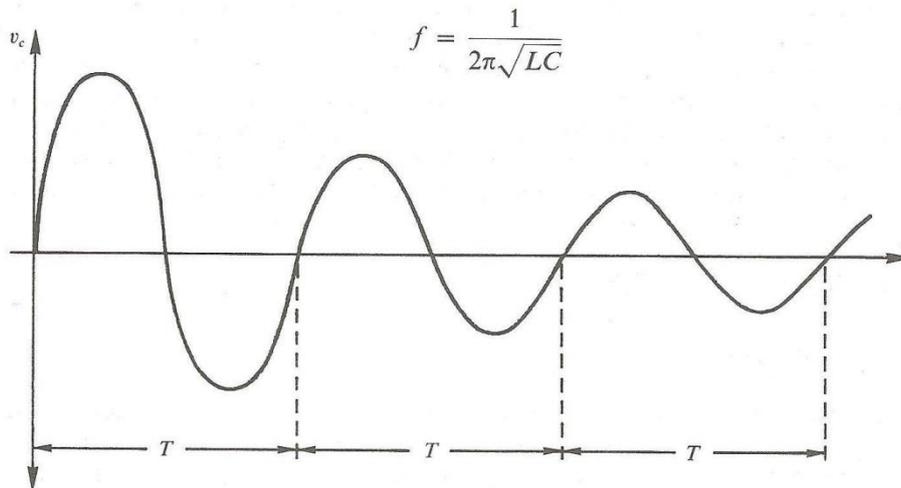


Figura 19.2. Circuito tanque.

lo que circulará una corriente de carga del condensador. 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 condensador 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 19.1 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, sin embargo, 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



Gráfica 19.1. Onda senoidal amortiguada.

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  $S_1$  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 19.3. 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.

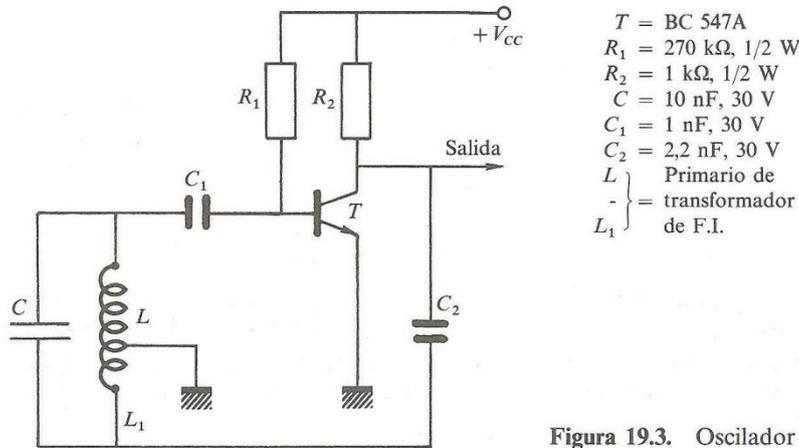


Figura 19.3. Oscilador Hartley.

Las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  proporcionan la polarización a la base y el colector, respectivamente, y los condensadores  $C_2$  y  $C_1$  sirven para acoplar la señal alterna al tanque y a la base e impiden el paso de la corriente continua. El tanque está formado por  $C$  y  $L-L_1$ , haciendo la bobina, además, la función de autotransformador en el circuito de realimentación. Por último, el transistor está montado como amplificador en la configuración de emisor común, por lo cual existe un desfase de la señal de  $180^\circ$ , que unidos a los  $180^\circ$  del transformador componen una señal realimentada en fase.

Al conectar la alimentación, el transistor queda polarizado mediante  $R_1$ , empieza a conducir y disminuye, por tanto, su tensión de colector. Esta disminución se refleja en la placa de  $C_2$  unida a  $L_1$ , dando lugar a una tensión negativa, que produce una corriente de  $L_1$  a  $C_2$ . 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  $L_1$ . Llegado el momento empieza a descargarse a través de las bobinas y disminuye la tensión entre sus extremos, motivo por el cual  $C_1$  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 condensador  $C$  se encuentra cargado con una tensión que aplica un potencial negativo a la base para, acto seguido, empezar a descargarse, nuevamente, en sentido inverso.

Según hemos visto, el transistor se encuentra trabajando en clase C, por lo que sólo 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

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L) \cdot C}}$$

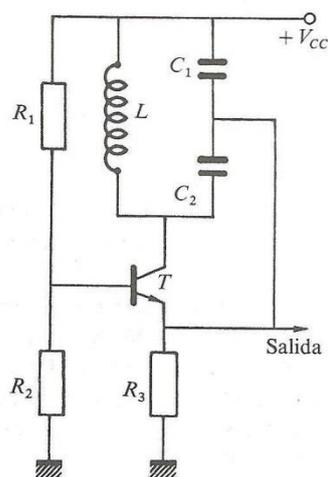
ahora bien, como el devanado  $L \gg L_1$ , podemos simplificar la expresión anterior quedando

$$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

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  $L_1$ .

### ■ 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 condensador el que se encuentra dividido. En la Figura 19.4 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.



$T = \text{BC 548}$   
 $R_1 = 10 \text{ k}\Omega, 1/2 \text{ W}$   
 $R_2 = 8 \text{ k } 2 \Omega, 1/2 \text{ W}$   
 $R_3 = 100 \Omega, 1/2 \text{ W}$   
 $C_1 = 100 \text{ nF}, 30 \text{ V}$   
 $C_2 = 47 \text{ nF}, 30 \text{ V}$   
 $L = 68 \text{ mH}$

Figura 19.4. Oscilador Colpitts.

El circuito consta de un transistor en configuración de colector común y polarizado de base mediante el divisor formado por  $R_1$  y  $R_2$ . La bobina  $L$  forma la resistencia de colector del transistor. Del punto de unión de los dos condensadores 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 condensadores. Esta carga es de tal sentido que en el punto de unión de  $C_1$  y  $C_2$  se genera un potencial negativo respecto de masa, el cual es enviado al emisor del transistor haciendo, por tanto, que aumente la  $V_{BE}$  efectiva, que lleva al transistor a la saturación. En ese momento los condensadores se han cargado al potencial de  $V_{CC}$ , impidiendo la conducción del transistor. Obsérvese que  $C_1$  está conectado a masa para la corriente alterna, por lo cual la onda de salida será, exactamente, la tensión de este condensador; así pues, la tensión de salida, partiendo de cero, ha llegado hasta su máximo valor negativo.

En estas condiciones los condensadores 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  $C_1$  y  $C_2$  en sentido inverso. Al aumentar esta carga, la tensión en la unión de los condensadores se hace positiva, lo cual provoca que aumente el potencial de emisor, disminuyendo por tanto la  $V_{BE}$  efectiva y provocando el corte del transistor.

Este proceso continúa hasta que se extingue el campo magnético, habiendo cargado los condensadores 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 condensadores, es necesario emplear el condensador equivalente para hallar su frecuencia de oscilación, que responderá entonces a la expresión

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \cdot L}}$$

Ahora bien, como  $C_1 > C_2$ , podemos simplificar la ecuación anterior, considerando que el conjunto serie será menor que cualquiera de los componentes

$$f \simeq \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{2}{3} L \cdot C_2}}$$

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

## 19.4. PROCESO OPERATIVO

1. Conectar el circuito de la Figura 19.3. Alimentarlo a una  $V_{CC} = 10\text{ V}$ .
2. Dibujar las formas de onda en la base y en el colector del transistor.
3. Medir con el frecuencímetro la frecuencia de salida del oscilador. Con el dato obtenido, calcular la inductancia de la bobina. Anotarlos en la Tabla 19.1.
4. Añadir una resistencia de emisor de  $470\ \Omega$ . Repetir los puntos 2 y 3.
5. Conectar el circuito de la Figura 19.4. La tensión  $V_{CC}$  será en este caso de  $5\text{ V}$ .
6. Repetir los puntos 2 y 3. Comparar el resultado obtenido de la bobina con el circuito anterior.

Tabla 19.1.

Frecuencia	$L$

## CUESTIONES

1. ¿Qué se conoce en electrónica con el nombre de oscilador?
2. ¿Qué son las condiciones de Barkhausen? Explicarlas.
3. ¿Qué es un oscilador de radiofrecuencia?
4. ¿Cuál es el circuito tanque? Explicar su funcionamiento.
5. ¿Qué diferencia existe entre un oscilador alimentado en serie y otro paralelo?
6. Dibujar y explicar el funcionamiento de un oscilador Colpitts alimentado en serie.

## CONCLUSIONES

- Se conoce con el nombre de oscilador a todo circuito capaz de convertir la corriente continua en alterna, independientemente de su forma de onda, aunque, tradicionalmente, los osciladores generan ondas senoidales.
- Las condiciones necesarias y suficientes para que un amplificador oscile son:
  - Ganancia de bucle  $\geq 1$ .
  - Realimentación positiva.
- Un circuito tanque es capaz de generar una onda senoidal, pero, debido a las pérdidas por calor, esta onda es amortiguada con el tiempo.
- Los osciladores de radiofrecuencia emplean un circuito tanque o un cristal de cuarzo como elemento oscilador, reponiendo las pérdidas de energía que se producen en los elementos.
- Los osciladores Hartley se caracterizan porque constan de un circuito tanque con una bobina derivada. Pueden ser alimentados en serie o en paralelo, indistintamente.
- El oscilador que consta de un tanque con capacidad dividida se conoce con el nombre de oscilador Colpitts y puede ser, igualmente, alimentado en serie o en paralelo.

**INFORMACION ADICIONAL**

El siguiente Cuadro 19.1 muestra una división de las ondas en función de su frecuencia.

**Cuadro 19.1.**

Denominación	Desde	Hasta
<b>Ondas sonoras</b>		
Audio-frecuencia	20 Hz	20 kHz
Frecuencias ultrasónicas	20 kHz	30 kHz
<b>Ondas electromagnéticas</b>		
VLF (muy baja frecuencia)	3 kHz	30 kHz
LF (baja frecuencia)	30 kHz	300 kHz
MF (media frecuencia)	300 kHz	3 MHz
HF (alta frecuencia)	3 MHz	30 MHz
VHF (muy alta frecuencia)	30 MHz	300 MHz
UHF (ultra alta frecuencia)	300 MHz	3 GHz
SHF (super alta frecuencia)	3 GHz	30 GHz
EHF (extra-altas frecuencias)	30 GHz	300 GHz
Rayos infrarrojos	300 GHz	$4 \cdot 10^{12}$ Hz
Luz visible	$4 \cdot 10^{12}$ Hz	$8 \cdot 10^{12}$ Hz
Rayos ultravioleta	$8 \cdot 10^{12}$ Hz	$1 \cdot 10^{14}$ Hz
Rayos X	$1 \cdot 10^{14}$ Hz	$3 \cdot 10^{17}$ Hz
Rayos gamma	$3 \cdot 10^{17}$ Hz	$5 \cdot 10^{18}$ Hz
Rayos cósmicos	$5 \cdot 10^{18}$ Hz	Sin límite