



Unidad Didáctica
Osciladores

FONDO  FORMACION

Programa de Formación Abierta y Flexible

Obra colectiva de FONDO FORMACION

Coordinación *Servicio de Producción Didáctica de FONDO FORMACION
(Dirección de Recursos)*

Diseño y maquetación *Servicio de Publicaciones de FONDO FORMACION*

© FONDO FORMACION - FPE

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otro método, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Depósito Legal *AS -1953-2001*

Unidad Didáctica Osciladores

Un transmisor de radio ha de tener un circuito oscilador para emitir a una frecuencia determinada. Un receptor de radio lleva consigo un circuito oscilador para poder recibir las ondas sonoras.

Un ordenador ha de disponer de un circuito oscilador para generar la señal de reloj que ha de marcar las diferentes frecuencias de sincronismo.

Un simple reloj de pulsera a cuarzo basa su funcionamiento en la base de tiempos de un circuito oscilador a cristal.

Como ves, englobando en el término oscilador a cualquier circuito capaz de generar una señal periódica, podemos afirmar que los osciladores constituyen el bloque central de toda clase de dispositivos electrónicos.

En esta unidad veremos los siguientes contenidos:

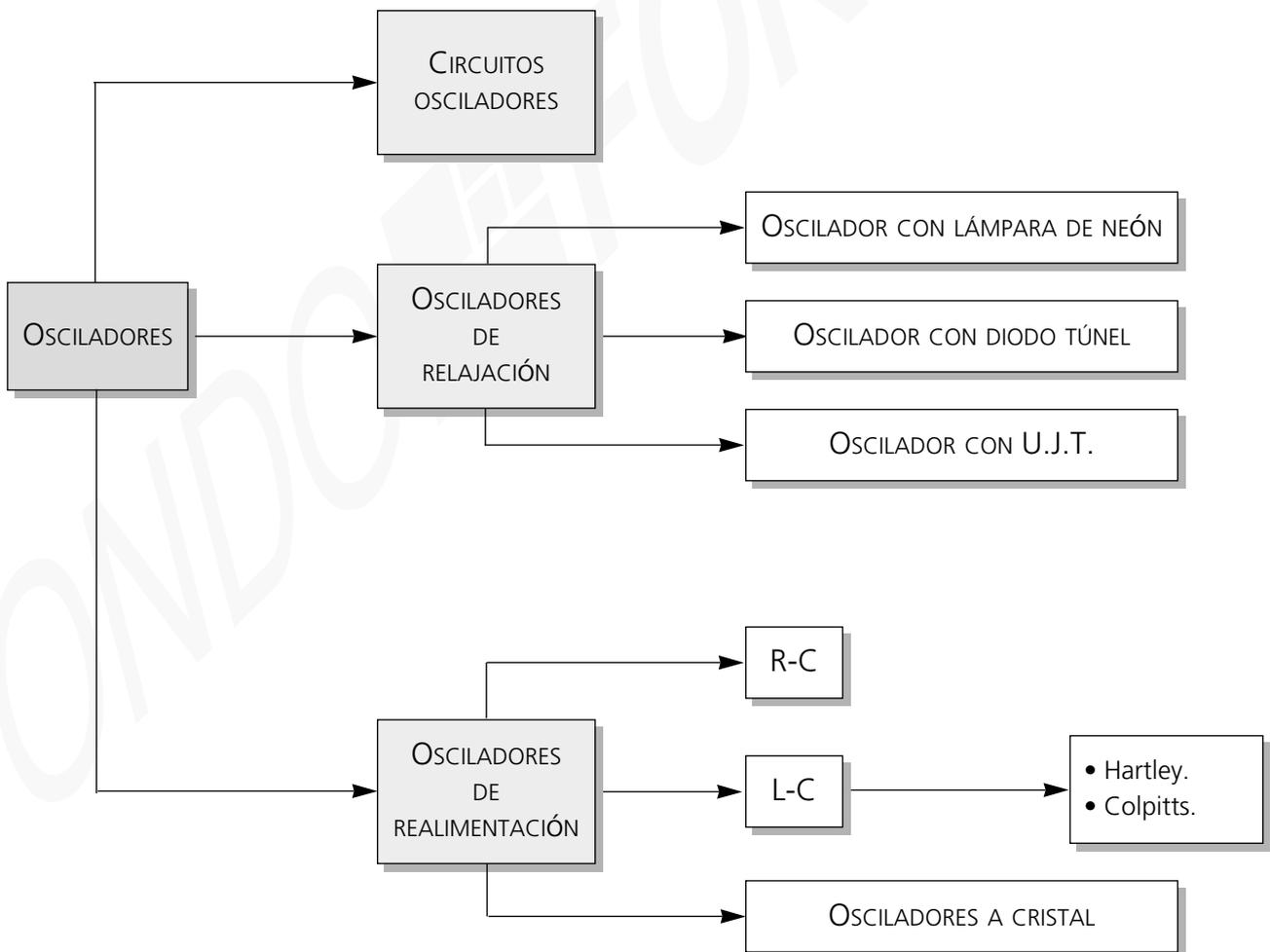
- Circuitos osciladores.
- Osciladores de relajación.
- Osciladores de realimentación.

Tus objetivos

Al finalizar el estudio de esta unidad, deberás ser capaz de:

- Comprender el término de oscilación.
- Distinguir diferentes tipos de osciladores.
- Entender el procedimiento de los osciladores de relajación.
- Diferenciar diversos osciladores de realimentación.
- Representar el circuito equivalente de un cristal.
- Identificar nuevos símbolos de componentes.

Esquema de estudio



Circuitos osciladores

Se denomina **oscilador** a todo circuito que es capaz de proporcionar una salida alterna sin que haya aplicada señal alguna a la entrada.

Según el margen de frecuencias, hablaremos de **osciladores de baja frecuencia** y **osciladores de alta frecuencia**.

Por su forma de onda, pueden ser **osciladores senoidales** y **no senoidales**.

Por su constitución, podemos clasificarlos en **osciladores de relajación** y **osciladores de realimentación***.

Osciladores de relajación

Este tipo de osciladores se realiza aprovechando la característica no lineal de algunos componentes para la obtención de una señal alterna a su salida. La onda generada por este tipo de osciladores no es senoidal.

1. Oscilador con lámpara de neón

En la figura 1 puedes ver un circuito oscilador con lámpara de neón.

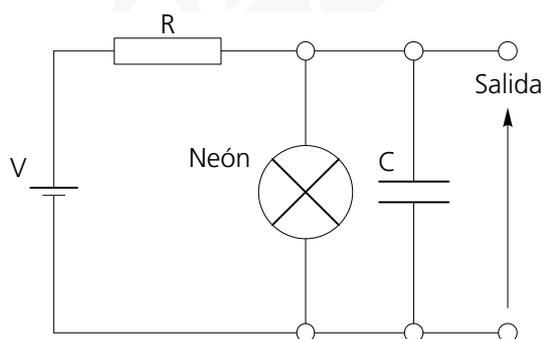


Fig. 1: Oscilador con neón.

La lámpara de neón es una ampolla de vidrio que contiene un gas inerte (neón) y dos electrodos. Cuando la tensión en extremos supera una determinada tensión, el neón se ioniza y la lámpara se ilumina.

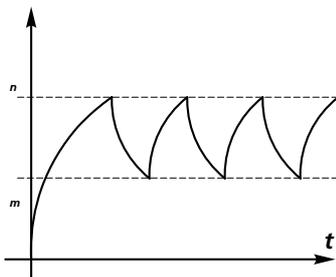


Fig. 2
Respuesta del oscilador con lámpara de neón.

Su funcionamiento es el siguiente:

Al aplicar alimentación al circuito, el condensador empieza a cargarse a través de la resistencia (R). Cuando la tensión en el condensador alcanza un nivel igual al de ignición de la lámpara (V_n), ésta se ioniza y su resistencia disminuye de tal modo que el condensador empieza a descargarse a su través.

Cuando la tensión cae hasta un nivel determinado (V_m), la lámpara se desioniza y se apaga presentando nuevamente una resistencia elevada. En este momento, el condensador vuelve a cargarse a través de la resistencia R.

El ciclo se repite ininterrumpidamente, obteniéndose en salida una señal de una frecuencia que depende de los valores de la resistencia del condensador y de la propia lámpara. Puedes verlo en la figura 2.

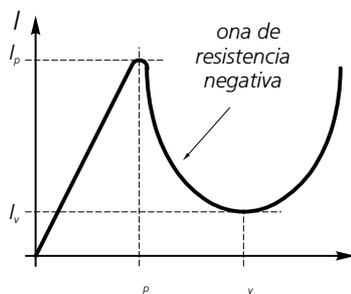


Fig. 3
Característica del diodo túnel.

2. Oscilador con diodo túnel

El diodo túnel presenta en su característica una región de **resistencia negativa***, según podemos apreciar en la figura 3. Es un dispositivo controlable por tensión, ya que a una corriente determinada pueden corresponderle tensiones diferentes.

El circuito de aplicación ha de hacer que la recta de carga corte a la característica del dispositivo en un solo punto de la zona de resistencia negativa, por lo que, al ser un punto inestable, hará que el circuito oscile. Observa que hay una zona donde al aumentar la tensión la corriente disminuye. Lo que se hace es aprovechar esta característica inherente del componente para realizar el circuito oscilador.

3. Oscilador con UJT

El UJT es otro componente con característica diferencial negativa en el que también se puede aprovechar esta circunstancia para diseñar circuitos osciladores. Para ello, el circuito de aplicación ha de hacer que la recta de carga corte a la característica del dispositivo en un solo punto de la zona de resistencia negativa. Observa que hay una zona donde al aumentar la corriente la tensión disminuye.

Es un dispositivo controlable en corriente, ya que a una misma tensión pueden corresponderle diferentes valores de corriente.

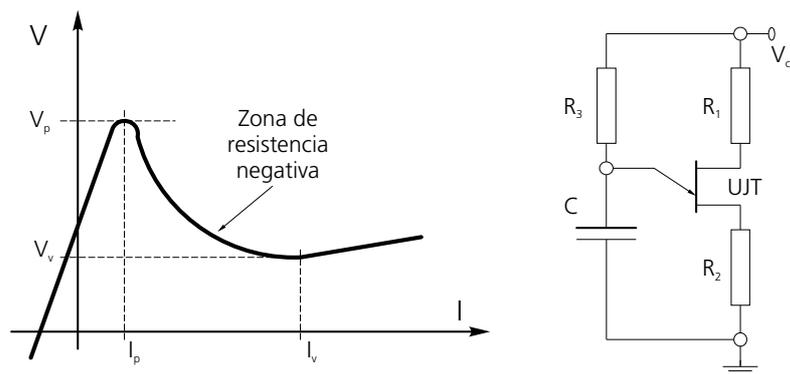


Fig. 4: Característica del UJT y circuito oscilador.

En la figura 4 puedes ver su curva característica y un oscilador realizado con UJT.

El circuito funciona de la siguiente manera:

Al inicio se carga C hasta alcanzar el valor V_p . Entonces el UJT entra en conducción y empieza a descargarse hasta que la corriente se hace menor que la de mantenimiento; en consecuencia, el UJT se corta y el condensador vuelve a cargarse iniciando un nuevo ciclo.

Osciladores de realimentación

Un oscilador de realimentación funciona aplicando en fase una parte de la señal de salida a su entrada. Está formado por un **amplificador** y un **circuito de realimentación positiva**.

Las condiciones para que un amplificador realimentado se convierta en oscilador son:

- A. Que la señal de realimentación esté en fase.
- B. Que la ganancia en bucle cerrado sea mayor o igual a 1.

Para que la señal de realimentación esté en fase con la señal de entrada, es necesario desplazarla 360° ; pero como un amplificador típico produce una inversión de señal, es decir, un desplazamiento de fase de 180° , el circuito de realimentación debe desplazar otros 180° .

1. Osciladores RC

Son osciladores que producen un desplazamiento de fase mediante células resistencia-condensador. Este tipo de osciladores suelen emplearse para baja frecuencia.

En la figura 5 puedes ver la célula básica de este tipo de osciladores realimentados.

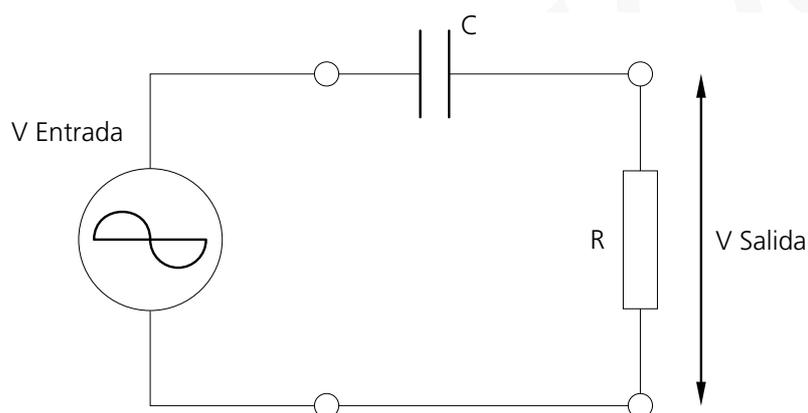


Fig. 5: Célula RC básica.

La intensidad del circuito está desfasada respecto a la tensión de entrada. Este desfase es el de un ángulo que es dependiente de la frecuencia de la señal de entrada y de los componentes R y C.

El desfase viene dado por la fórmula:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{X_c}{R} = \operatorname{arctg} \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R \cdot C}$$

Si añadimos varias células R-C, los desfases se van sumando y, como en la práctica, el desfase del condensador no llega a ser de 90° , necesitaremos tres células para obtener un desfase total de 180° donde cada una de ellas desfase 60° .

Sabemos que la tangente de 60° es $\sqrt{3}$. Por tanto:

$$\sqrt{3} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R \cdot C}$$

El resultado es que la frecuencia de oscilación de la célula básica para un desfase de 60° es:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{3} \cdot R \cdot C}$$

Si añadimos dos células idénticas más, el desfase total introducido será de 180° . En la práctica esto no va a ser así, dado que habrá diferencias entre los componentes; pero, de todas formas, siempre habrá una frecuencia para la cual el desfase total será de 180° .

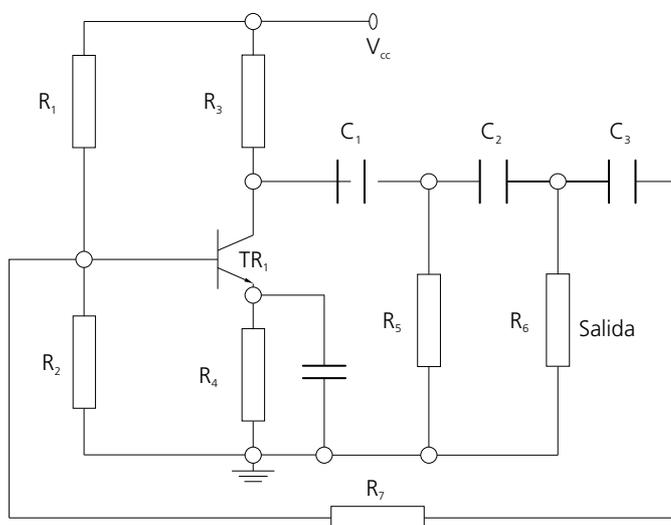


Fig. 6: Oscilador R-C.

En la figura 6 puedes ver un circuito oscilador realizado con tres células R-C básicas.

Se suele hacer que los valores de los componentes de las células R-C sean iguales. En el caso de la figura 5 tenemos:

$$C_1 = C_2 = C_3 = C$$

$$R_5 = R_6 = R_7 + R_{e(T)} = R$$

Se ha puesto así, dado que en el valor de la resistencia de la tercera célula entra en juego también la resistencia de entrada del propio transistor $R_{e(T)}$.

Matemáticamente, y realizando las aproximaciones oportunas, se puede demostrar que la frecuencia de oscilación del circuito es:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{2} \cdot N}$$

donde N es el número de células.

En la figura 7 puedes ver otro tipo de oscilador denominado **de doble T** con células R-C.

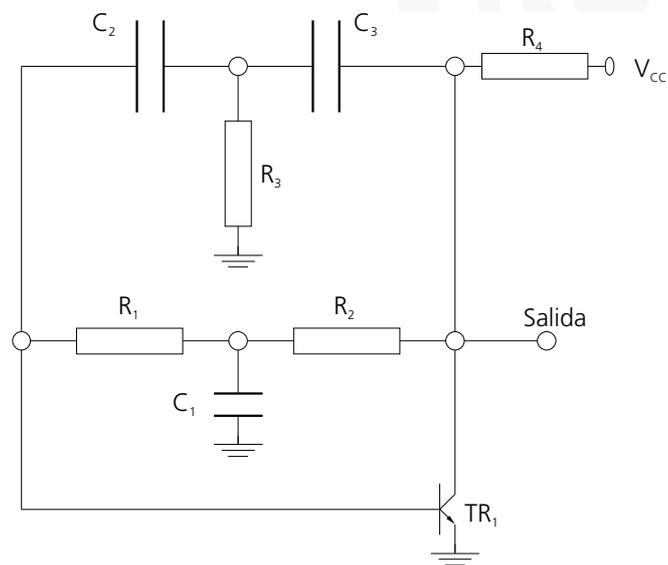


Fig. 7: Oscilador R-C de doble T.

Está compuesto por dos células en forma de T: una formada por dos condensadores en serie y una resistencia en paralelo, y la otra por dos resistencias en serie y un solo condensador en paralelo.

Para valores dados como:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C$$

la frecuencia de oscilación es aproximadamente:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

ACTIVIDAD 1

Completa el texto con las siguientes palabras:

positiva, entrada, relajación, oscilador, realimentación.

Un es un circuito electrónico que es capaz de generar una señal alterna sin que haya aplicada señal a la

Los osciladores de se realizan aprovechando la característica no lineal de algunos componentes.

Los osciladores de están formados por un amplificador y un circuito de realimentación

2. Osciladores L-C

Este tipo de osciladores se suelen emplear para frecuencias elevadas.

Se basan en el empleo de células L-C. En la figura 8 puedes ver un circuito L-C básico, también llamado **circuito tanque** o **circuito oscilante**, que está formado por un condensador en paralelo con una bobina.

Sabemos que el condensador puede almacenar energía electrostática y la bobina energía electromagnética; así, si aplicamos energía inicial al circuito, veremos que dicha energía pasa alternativamente del condensador a la bobina, y viceversa, a una frecuencia determinada.

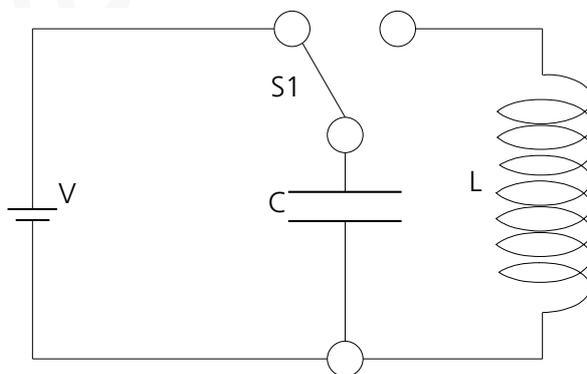


Fig. 8: Circuito oscilante básico.

Veamos cómo funciona el circuito:

Con el condensador completamente cargado pasamos el interruptor a la posición 2; por tanto, C se descarga a través de la bobina creando ésta un campo magnético.

La bobina L se carga e induce una corriente de carga en el condensador C de sentido contrario; así, el condensador queda ahora cargado inversamente y empieza a descargarse otra vez a través de la bobina L y se repite el ciclo. El proceso se repetiría indefinidamente si no fuera por las resistencias internas de los componentes que hacen que el proceso vaya degenerando hasta que la oscilación cesa.

En la figura 9 puedes ver la forma de onda.

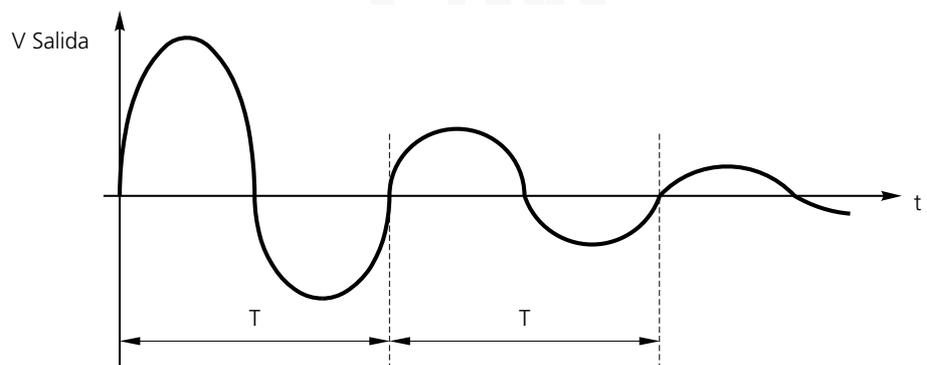


Fig. 9: Onda amortiguada.

Como puedes observar, la onda generada es una **señal amortiguada**; es decir, la señal va menguando su amplitud a cada ciclo, debido a que los componentes, por no ser ideales, presentan una resistencia que -por efecto Joule- hace que la energía vaya disminuyendo a cada ciclo.

La frecuencia de la onda presente, cada vez que se inicia la oscilación al actuar sobre S_1 , responde a la expresión:

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

Dependiendo de los componentes que conforman el circuito tanque, tenemos diferentes tipos de osciladores L-C.

1. Oscilador Hartley

En la figura 10 puedes ver este tipo de oscilador. El circuito tanque lo forman un condensador (C_1) y dos bobinas (L_1 y L_2), y la frecuencia de oscilación se puede aproximar a la expresión siguiente:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(L_1 + L_2) \cdot C}}$$

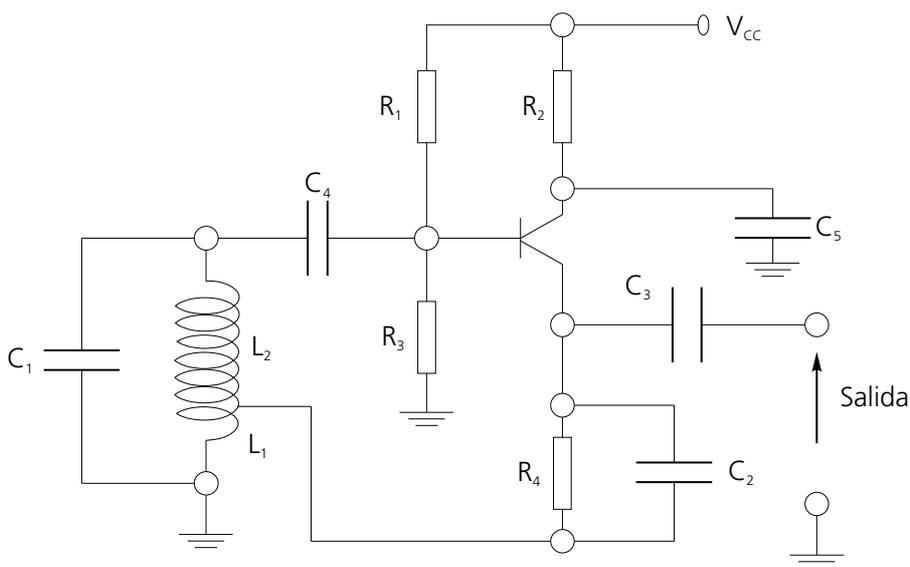


Fig. 10: Oscilador Hartley.

2. Oscilador Colpitts

El circuito tanque de este tipo de osciladores lo forman una bobina (L_1) y dos condensadores (C_3 y C_2), como puedes ver en la figura 11.

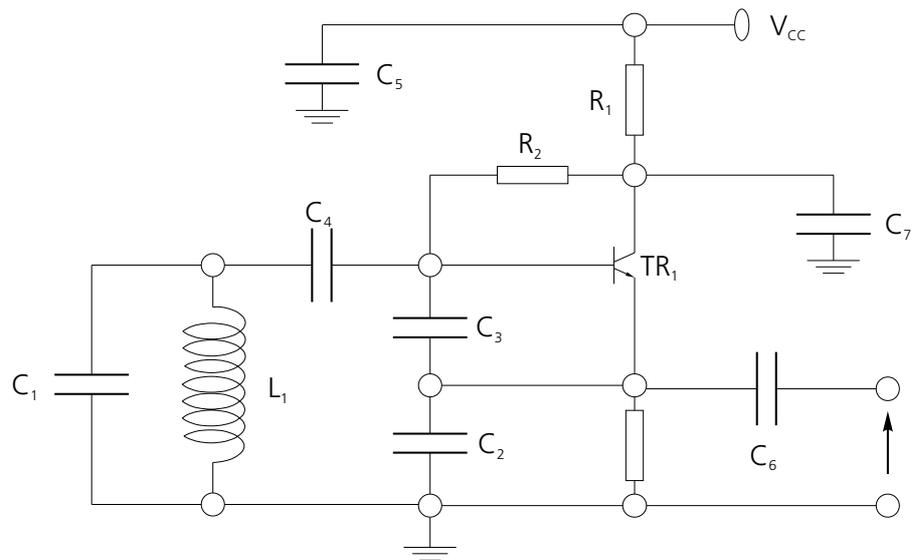


Fig. 11: Oscilador Colpitts.

La frecuencia de oscilación se puede aproximar a la expresión siguiente:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{C_3 \cdot C_2}{C_3 + C_2} \cdot L_1}}$$

ACTIVIDAD 2

Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas.

- a. El circuito tanque del oscilador Hartley consta de dos condensadores y una bobina.
- b. El circuito tanque del oscilador Colpitts consta de una bobina y dos condensadores.
- c. El circuito tanque del oscilador Colpitts consta de dos bobinas y un condensador.

| V | F |
|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

3. Osciladores a cristal

Los osciladores basados en el circuito tanque no presentan una gran estabilidad en frecuencia debido a factores múltiples como pueden ser la temperatura, la humedad, el ruido, etc. Cuando se necesita una gran precisión, se recurre al cristal de cuarzo; los osciladores así formados se denominan **osciladores a cristal**.

Se basan en el efecto piezoeléctrico* que aparece en algunos materiales. La **piezoelectricidad** está relacionada con la estructura cristalina. Entre los materiales piezoeléctricos naturales, los de uso más frecuente son el cuarzo y la turmalina.

En la figura 12 puedes ver el aspecto exterior de un cristal de cuarzo.

El cristal se comporta como si fuera un circuito resonante serie compuesto por una bobina (L) y un condensador (C_1). Debido al amortiguamiento mecánico, es necesario agregar una resistencia adicional en serie (R_1). La influencia de la envoltura mecánica hace que aparezca un condensador adicional en paralelo al circuito serie (C_2). Con todo ello, el circuito equivalente de un cristal queda como en la figura 13.

La **frecuencia de oscilación** de un cristal es muy estable en comparación con la frecuencia de un oscilador convencional, construido con una bobina, un condensador y una resistencia. Los factores que determinan la frecuencia mecánica de oscilación de un cristal son, entre otros, el **tamaño físico del cristal** y el **tipo de corte**.

Los cristales para el rango de bajas frecuencias tienen grandes dimensiones, mientras que los cristales destinados a altas frecuencias son muy pequeños y finos. El cristal puede trabajar a la frecuencia de resonancia serie o paralelo.

Según el circuito equivalente de la figura 14, la frecuencia serie de oscilación es:

$$f_s = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_1}}$$

Y la frecuencia paralelo:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{C_3 \cdot C_2}{C_3 + C_2} \cdot L}}$$

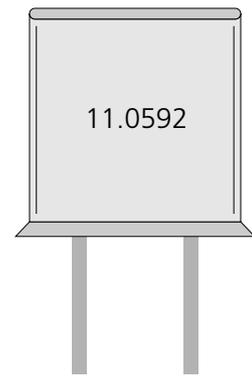


Fig. 12
Aspecto físico de un cristal de cuarzo.

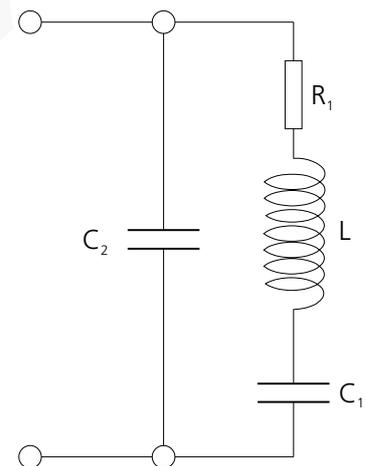


Fig. 13
Circuito equivalente de un cristal.

La frecuencia de resonancia paralelo es varios kHz mayor que la frecuencia de resonancia serie.

Para obtener frecuencias muy elevadas, el cristal es operado a una frecuencia armónica impar, en general, la tercera o la quinta.

Cuando un cristal es operado a una frecuencia armónica, se utiliza únicamente resonancia serie.

Si se desea asegurar la oscilación a una frecuencia armónica, el cristal debe ser especialmente fabricado con tal propósito.

En el rango de frecuencias comprendido entre la frecuencia de resonancia serie y la frecuencia de resonancia paralelo, la impedancia del cristal es **inductiva**; y, fuera de ese margen, la impedancia del cristal es **capacitiva**.

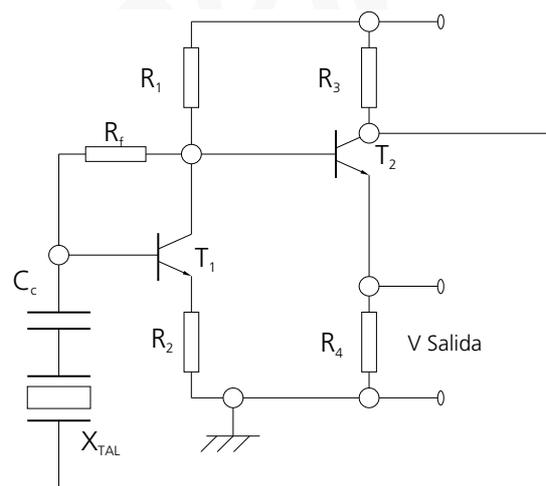


Fig. 14: Oscilador a cristal a la frecuencia serie.

En la figura 14 puedes ver un oscilador a cristal, preparado para trabajar a la frecuencia de resonancia serie.

El amplificador oscilará a la frecuencia de resonancia serie del cristal, ya que a esa frecuencia la impedancia del cristal es mínima y la amplitud de realimentación es máxima.

Se produce un desplazamiento de fase de 360° entre la base del transistor T_1 y el colector del transistor T_2 . La tensión de colector del transistor T_2 es realimentada a través del cristal a la base de T_1 .

La frecuencia de resonancia depende únicamente del cristal, a pesar de que, en caso de no ser el desplazamiento de fase del amplificador exactamente 360° , se producirá una pequeña variación de la frecuencia de oscilación.

Con el fin de obtener una baja impedancia en la rama del cristal, la impedancia de entrada de T_1 y la impedancia de salida de T_2 deben ser pequeñas.

A fin de impedir la influencia de la carga externa sobre la frecuencia de oscilación, se utiliza el emisor de T_2 como salida del sistema. La función del condensador C_c es bloquear la tensión de continua del cristal.

ACTIVIDAD 3

Dibuja el circuito equivalente de un cristal.



En la figura 15 puedes ver un circuito oscilador a cristal preparado para trabajar a la frecuencia de resonancia paralelo.

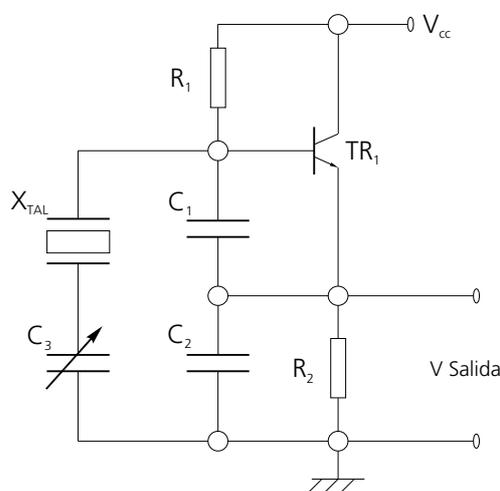


Fig. 15: Oscilador Clapp.

Es la forma más habitual de funcionamiento para hacer trabajar al cristal a la frecuencia fundamental. El circuito básico es un oscilador Colpitts, en el cual la bobina se reemplaza por un cristal.

La **frecuencia de resonancia** estará comprendida entre las frecuencias de resonancia serie y paralelo. La razón de ello está en que en el rango indicado la impedancia del cristal es inductiva y puede ser utilizada en un oscilador Colpitts, en lugar de la bobina.

Muchos cristales son diseñados de modo que su frecuencia nominal se obtiene sólo cuando la capacidad paralela externa tiene un valor particular. Todo cambio en el valor de la capacidad externa produce pequeñas variaciones de la frecuencia.

El método más conveniente de variar ligeramente la frecuencia del oscilador es mediante un **condensador de ajuste** (trimmer).

C_1 y C_2 son seleccionados de modo que la relación de sus valores asegure la oscilación y que sus valores sean mucho más grandes que las capacidades parásitas* del transistor TR_1 .

A este tipo de oscilador se le denomina **oscilador Clapp**.

Si consideras que has terminado el estudio de esta unidad, intenta responder a las siguientes cuestiones de autoevaluación.

Cuestiones de autoevaluación

1

Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

V F

a. Los osciladores de relajación generan ondas senoidales.

b. Los osciladores R-C suelen ser para altas frecuencias.

c. Los osciladores L-C suelen ser para altas frecuencias.

2

Completa el texto con las palabras siguientes:

precisión, frecuencia, piezoeléctrico, cristal, cuarzo.

Los osciladores L-C no presentan una gran estabilidad en , debido a la temperatura, la humedad, el ruido, etc. Cuando se necesita una gran se recurre a los osciladores a que se basan en el efecto de algunos materiales como son el y la turmalina.

3

Explica por qué son necesarias, como mínimo, tres células básicas en los osciladores R-C.

R

ACTIVIDAD 1

Un **oscilador** es un circuito electrónico que es capaz de generar una señal alterna sin que haya aplicada señal a la **entrada**.

Los osciladores de **relajación** se realizan aprovechando la característica no lineal de algunos componentes.

Los osciladores de **realimentación** están formados por un amplificador y un circuito de realimentación **positiva**.

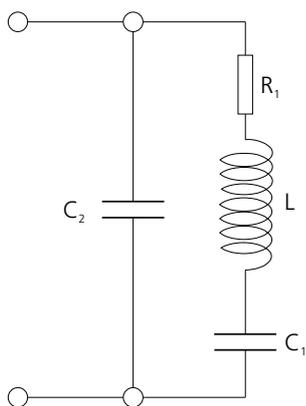
R

ACTIVIDAD 2

- Falsa:** el circuito tanque del oscilador Hartley consta de dos bobinas y un condensador.
- Verdadera.**
- Falsa:** el circuito tanque del oscilador Colpitts consta de una bobina y dos condensadores.

R

ACTIVIDAD 3



Respuestas a las cuestiones de autoevaluación

- a. **Falsa:** los osciladores de relajación generan ondas no senoidales.
- b. **Falsa:** los osciladores R-C suelen ser para bajas frecuencias.
- c. **Verdadera.**

1

Los osciladores L-C no presentan una gran estabilidad en **frecuencia** debido a la temperatura, la humedad, el ruido, etc.

2

Cuando se necesita una gran **precisión** se recurre a los osciladores a **crystal**, que se basan en el efecto **piezoeléctrico** de algunos materiales como son el **cuarzo** y la turmalina.

Se necesitan tres células básicas R-C como mínimo, debido a que en la práctica cada una de ellas no llega a desfazar 90°.

3

Resumen de Unidad

Un oscilador es un circuito que genera una señal periódica.

Oscilador de relajación Se realiza aprovechando la característica no lineal de algunos componentes como son el diodo túnel o el UJT.

Oscilador de realimentación Está formado por un amplificador y un circuito de realimentación positiva.

Un amplificador realimentado para que se convierta en oscilador debe cumplir ciertas condiciones:

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

Hay osciladores de realimentación formados a base de células resistencia-condensador; éstos se suelen emplear para baja frecuencia.

También los hay basados en el empleo de células L-C básicas que forman un circuito oscilante denominado **circuito tanque**.

Dependiendo de los componentes que conforman dicho circuito tanque, tenemos el **oscilador Hartley** o el **oscilador Colpitts**.

Los osciladores basados en el circuito tanque presentan problemas de estabilidad en frecuencia. Cuando se necesita una gran precisión, se recurre al empleo de **osciladores a cristal**.

Osciladores a cristal Se basan en el efecto piezoeléctrico que aparece en algunos materiales como son el cuarzo y la turmalina.

El cristal puede trabajar a la frecuencia de resonancia serie o paralelo.

En el rango de frecuencias comprendido entre la frecuencia de resonancia serie y la frecuencia de resonancia paralelo, la impedancia del cristal es **inductiva**; y, fuera de ese margen, la impedancia del cristal es **capacitiva**. Uno de los más importantes circuitos osciladores a cristal es el **oscilador Clapp**.

Notas

Vocabulario

Parásitas: se refiere a las capacidades internas que presenta cualquier transistor.

Piezoeléctrico: consiste en la aparición de una polarización eléctrica en un material al deformarse bajo la acción de un esfuerzo. Es un efecto reversible, de modo que al aplicar una diferencia de potencial eléctrica entre dos caras de un material piezoeléctrico, aparece una deformación.

Realimentación: se dice así al hecho de llevar hacia la entrada una porción de la señal de salida. Cuando están en fase se habla de realimentación positiva.

Resistencia negativa: un dispositivo se dice que presenta resistencia negativa cuando dicho dispositivo, por un mecanismo de realimentación interna, presenta en su curva característica una zona inestable de pendiente negativa.



FONDO  FORMACION