INTRODUCCION A LOS CIRCUITOS DE OSCILACIÓN

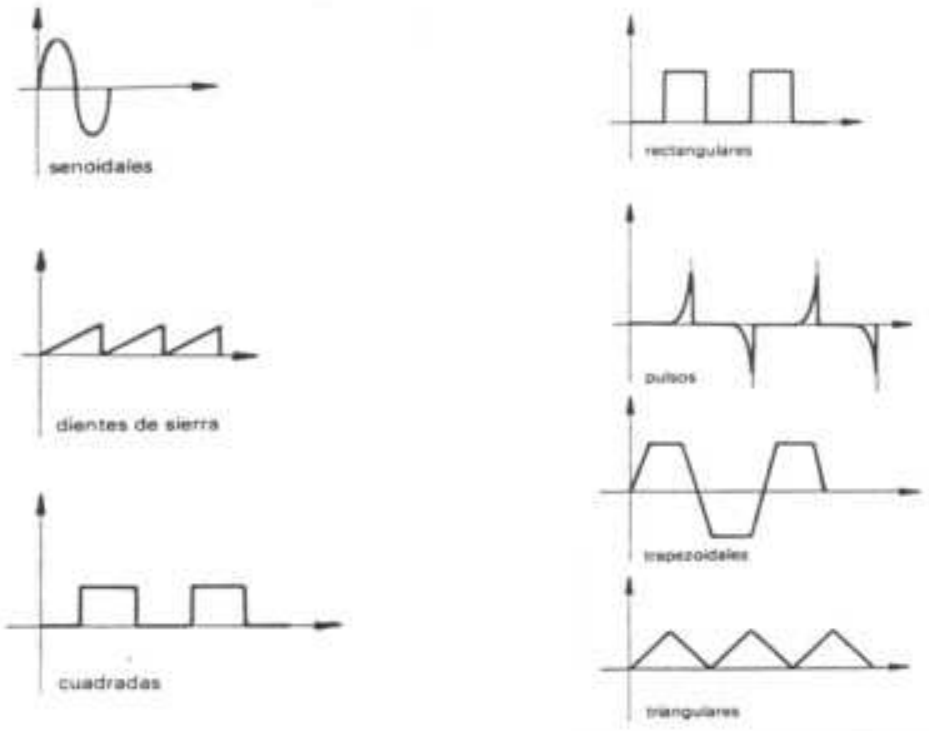
Antes de comenzar con el presente artículo, y con el fin de evitar malentendidos, diré que éste va dirigido a estudiantes y profesionales de la electrónica, ya que para entender su contenido se requieren ciertos conocimientos sobre transistores bipolares, amplificación, realimentación, cómo afectan los condensadores y bobinas a las señales eléctricas y evolución y modelo matemático de la carga y descarga de condensadores. Obviamente no son precisos conocimientos amplios y/o profundos, pero sí son necesarias determinadas nociones para que no le resulte farragoso y críptico al lector.

A mi entender, de los sistemas básicos que se estudian, los más importantes son los que en este artículo trataremos: la generación de ondas senoidales y pulsos. La generación de señales alternas se realiza mediante dos tipos de sistemas: alternadores y osciladores. Para entendernos, consideraremos osciladores aquellos circuitos electrónicos que generan señales alternas, mientras que los alternadores son máquinas rotativas de corriente alterna, cuya frecuencia es función del número de revoluciones y se utilizan para generar señales entre 50 y 400 Hz. Cuando las señales necesarias son de frecuencias altas, superiores a 400 Hz, éstas se obtienen por medio de osciladores.

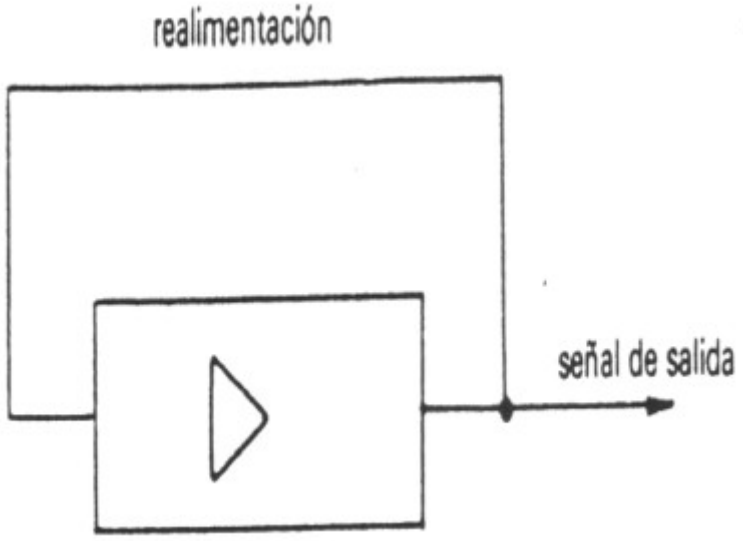
Los osciladores se pueden clasificar en dos grupos, atendiendo a la frecuencia de la señal que generan, también llamada frecuencia de oscilación:

- -Osciladores de baja frecuencia.
- -Osciladores de alta frecuencia.

Se pueden clasificar también, según la forma de la señal generada, a saber:



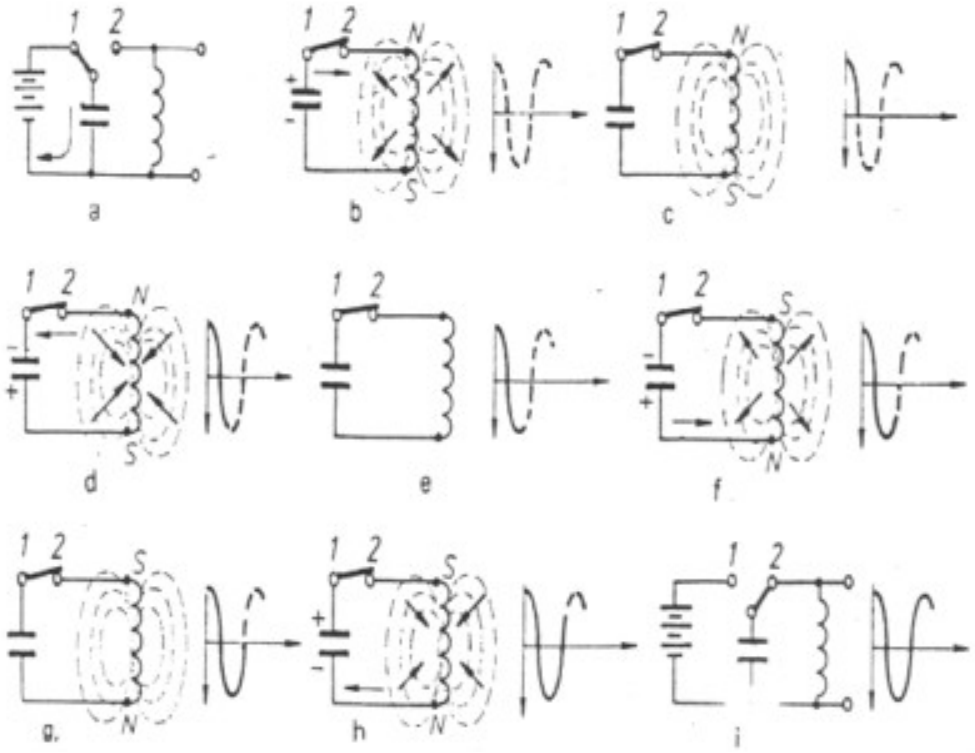
El principio general, para que un circuito electrónico se convierta en un oscilador, es la realimentación. Realimentar es introducir en la entrada parte de la señal que se encuentra en la salida, dicho de otro modo:



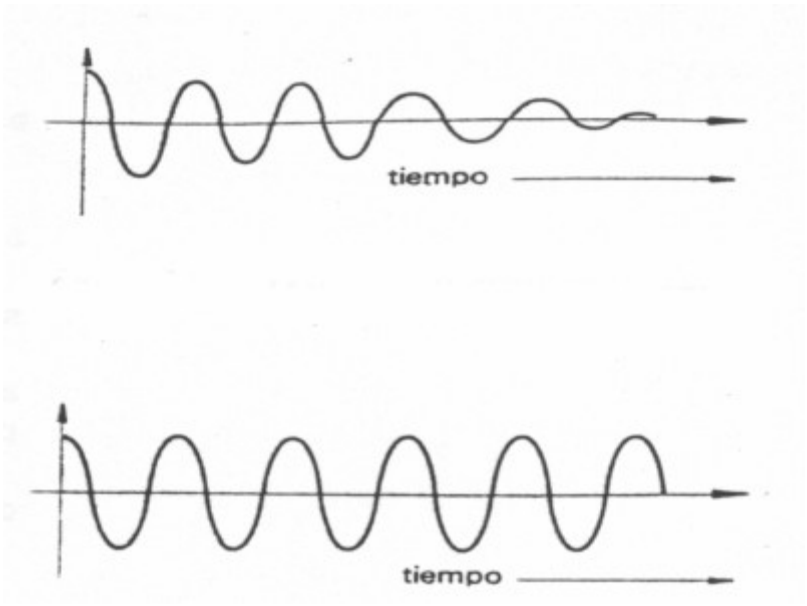
Para entender mejor este concepto, podríamos realizar el siguiente experimento. Con un amplificador de baja frecuencia, en cuya entrada haya un micrófono, acérquese éste al altavoz y podrá oírse un ruido disonante (silbido) producido por la realimentación. Véase que, si se separa el micrófono, cesa el ruido. Hay que tener

presente que, en el instante inicial, no existía ni entrada ni salida, por lo que será necesario que el circuito amplificador tenga alguna red, cuyos efectos transitorios sean característicos, para que resulten amplificados y se produzca la oscilación que buscamos producir.

A continuación, se muestra un circuito oscilador LC, esto es, basado en bobinas y condensadores, con el propósito de ejemplificar un tipo de generación de ondas senoidales. Supóngase que, en el instante inicial, el interruptor S, se encuentra en la posición 1; como consecuencia, el condensador se cargará a su tensión máxima. Cuando esto haya sucedido, se conmuta S a la posición 2. El condensador tenderá a descargarse a través de la bobina, con lo que se creará en ella un campo magnético, almacenando la energía que tenía el condensador. Se podría pensar que la descarga del condensador será exponencial y, como consecuencia, la tensión entre sus extremos será decreciente. Ahora bien, se recordará que las bobinas se oponían a toda variación brusca en las condiciones del circuito y, por lo tanto, la tensión será decreciente; pero mucho más lentamente al principio que después. Cuando el condensador se haya descargado por completo, la bobina será equivalente a un imán (con sus respectivos norte y sur) y tendrá una cantidad de energía almacenada. Un instante después la bobina tenderá a mantener la corriente que existía en el circuito, volviendo a cargar nuevamente el condensador. Este se cargará a su máxima tensión, con lo que la corriente tenderá a ser, de nuevo, nula, invirtiendo el sentido de la misma en ese instante, puesto que, cuando el condensador consiga la máxima tensión (corriente nula), volverá a descargarse sobre la bobina. Este proceso es repetitivo y con él se consigue una señal alterna, cuya frecuencia es la de resonancia del circuito.



Evidentemente este circuito es ideal, ya que no se ha supuesto resistencia alguna o pérdidas energéticas por radiación. Así, si lo montáramos, a través de un osciloscopio solamente observaríamos una señal amortiguada:



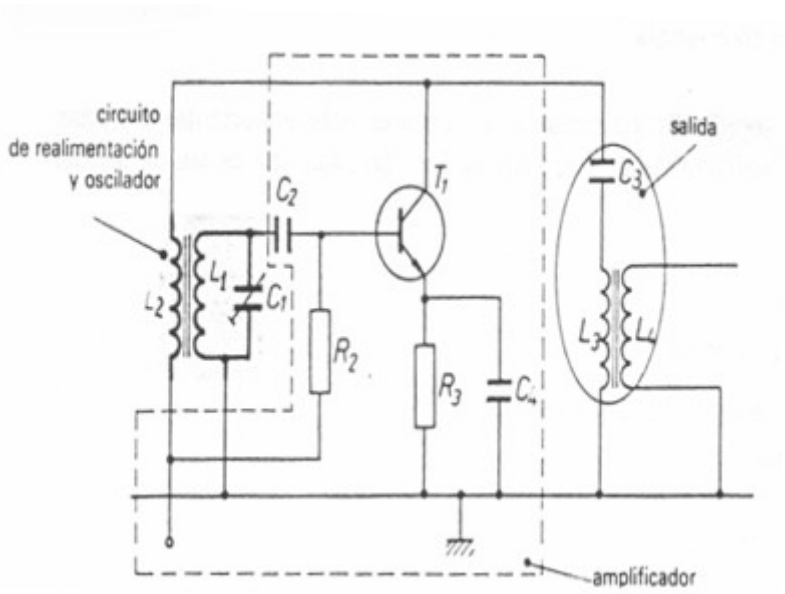
Para conseguir un nivel constante, deberemos utilizar la polarización adecuada del circuito y una realimentación parcial de la señal, como los modelos que a continuación se presentarán como modelos básicos.

Osciladores de alta frecuencia

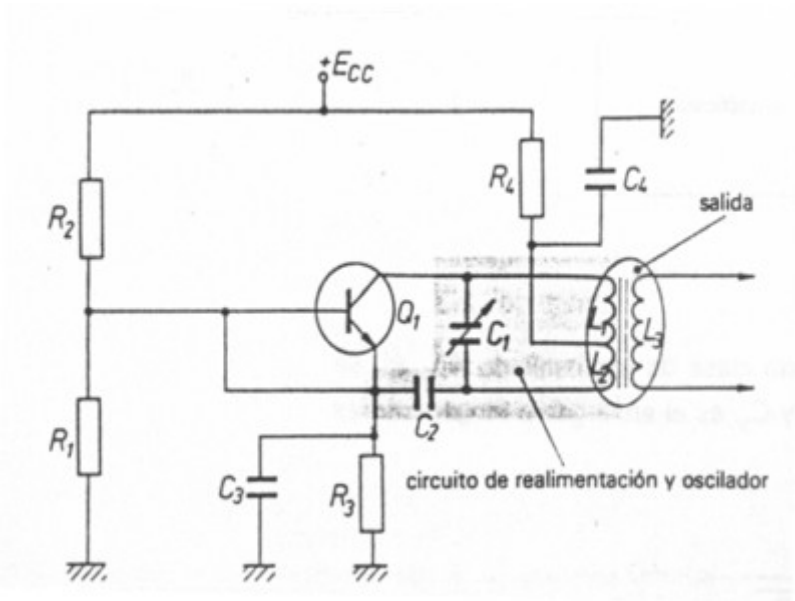
El primer oscilador que se presentará es el Armstrong. En la figura siguiente se muestra un esquema de esta clase de osciladores; en él se puede observar que el circuito tanque, formado por L1 y C1, es el encargado de generar las oscilaciones, cuya frecuencia aproximada será:

$$fo = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L1 \cdot C1}}$$

Nótese que se dice aproximada, porque también influyen L2 y el acoplamiento entre ambas bobinas. La red de realimentación está formada por la bobina L2 y su acoplamiento con L1. El resto de componentes, excepto L3, L4, y C3, forman los circuitos de polarización del amplificador. El condensador C3 y el transformador formado por L3 y L4 constituyen el circuito de salida, hacia la utilización. El funcionamiento es el siguiente: las oscilaciones generadas en el tanque (L1, C1) de la entrada se acoplan, mediante C2, al transistor que lo amplifica y retorna una parte de ella por L2, produciéndose el ciclo reiteradamente. Este amplificador se encuentra polarizado en clase C, esto es, está en el corte durante más de la mitad de la señal. Cabría preguntar entonces cómo se generan las señales. Si se observa el circuito, se verá que L1 y L2 forman un transformador y que, por tanto, sobre L2, se inducirá una señal alterna (la generada en el tanque), la cual pasará a C3 y L3 y desde aquí se pasa a la utilización. En el pequeño intervalo de conducción, C2 se carga y autopolariza al tanque y al dispositivo amplificador. Obsérvese, además, que con C1 se pueden obtener diferentes frecuencias, con sólo variar su valor capacitivo.



Después de este primer ejemplo de oscilador, pasaremos a un segundo, el Hartley.

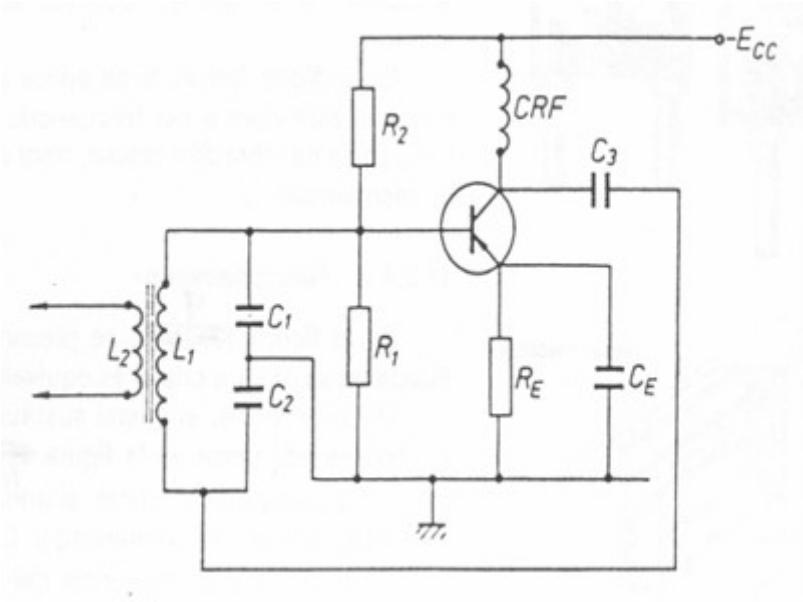


Esta clase de osciladores se caracteriza por utilizar un divisor de tensión inductivo (bobina con toma intermedia). El circuito de realimentación está formado por la autoinducción L2, que proporciona parte de la tensión de salida, y el condensador C2. La red de oscilación está determinada por el circuito resonante, formado por L1, L2, y C1. El resto de los componentes constituyen el circuito de polarización del amplificador. Son de destacar, en estos circuitos, dos componentes singulares, C4 y CRF. El primero, C4 es un condensador de desacoplo, que se encarga de que la señal alterna, presente en el circuito de colector, no pase a la fuente de alimentación Ecc. Esto se consigue haciendo que la reactancia capacitiva, a la frecuencia de oscilación, sea muy pequeña, o sea, un "cortocircuito" a masa para la señal alterna. El segundo componente C.R.F. (acrónimo de Choque de Radio Frecuencia), es una bobina de poca resistencia óhmica, pero de mucha reactancia inductiva para la frecuencia de oscilación (circuito abierto para la señal alterna). De esta forma, las oscilaciones no modificarán la tensión de polarización, siendo la función de ambos componentes idéntica, e impidiendo que la frecuencia generada pueda hacer variar la tensión de la polarización de los circuitos. La frecuencia de resonancia a oscilación será:

$$fo = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(L1 + L2) \cdot C1}}$$

Como tercera alternativa de oscilador veremos el Colpitts y su consecuente mejora el Clapp. La característica fundamental de este

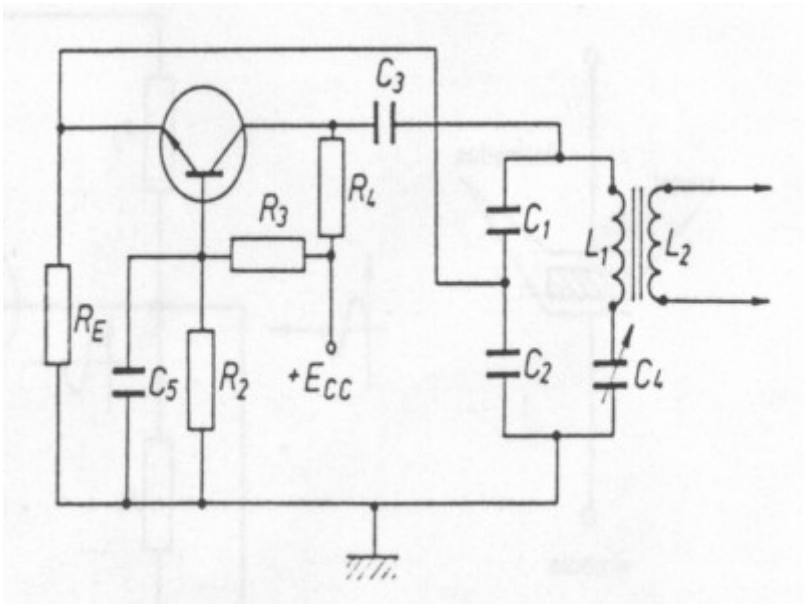
circuito es su divisor de tensión capacitivo, que contrasta con los osciladores Amstrong y Hartley explicados anteriormente:



El circuito de realimentación está compuesto por C2 y C3. El primero C2 proporciona la tensión de radiofrecuencia adecuada, siendo C3 el encargado de realimentar la señal de salida a la entrada. El circuito oscilador es el formado por el tanque resonante, con L1, C1, y C2. Siendo su frecuencia de resonancia determinada por:

$$fo = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L1 \cdot \left(\frac{L1 \cdot C1}{L1 + C1} \right)}}$$

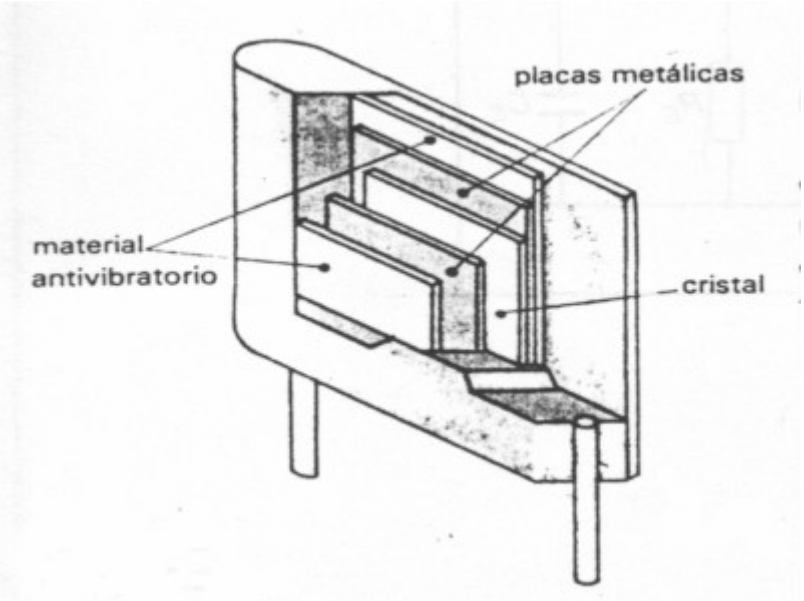
El resto de componentes constituyen el amplificador y sus circuitos de polarización y de desacoplo. Véase en el circuito de salida el choque de radiofrecuencia CRF, para separar la fuente de alimentación del circuito, a los efectos de la señal de oscilación. Una mejora del circuito anterior vendría de la mano del que a continuación se muestra



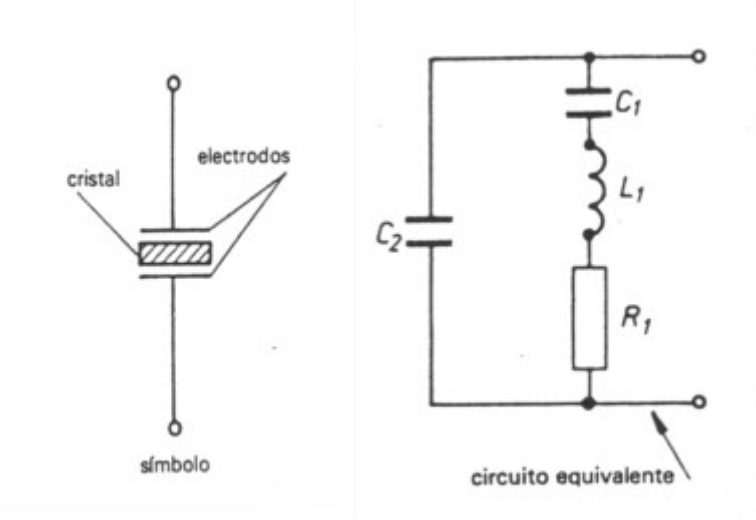
El Clapp, en si es un oscilador Colpitts, con un nuevo condensador variable C4, en serie con L1 cuya misión es mejorar la estabilidad y ajuste de la frecuencia deseada.

Osciladores de cuarzo

En algunas ocasiones, se requiere que el circuito oscilador genere una señal de frecuencia muy estable y, como ya se ha mencionado, los osciladores con circuitos capacitivos e inductivos suelen ser muy inestables en frecuencia. Puede comprobarse que, al acercar la mano a los circuitos explicados en los apartados anteriores, se modifica ligeramente la frecuencia. Por ello, no es raro basarnos en el "efecto piezoeléctrico" que nos proporcionan los cristales de cuarzo. Estos son unas pequeñas plaquitas cuadradas, de cristal de cuarzo, encapsuladas en un recipiente metálico o de plástico.

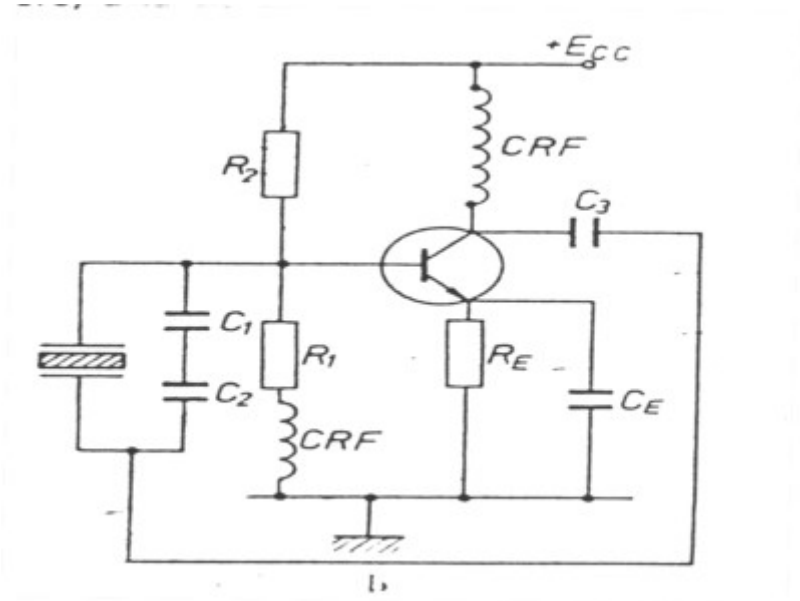


El cuarzo tiene la propiedad piezoeléctrica que, si se comprime o se dilata, genera una tensión entre sus caras. Todos conocemos el típico encendedor de gas, en el que se hace saltar la chispa con un golpe producido sobre un cristal piezoeléctrico, que se encuentra en el interior. De análoga forma, si se aplica al cristal una tensión alterna de una determinada frecuencia, éste vibra a esa frecuencia. Además, en función del espesor del cristal, tiene una frecuencia de vibración propia muy estable; y así cuanto más grueso es, menor es la frecuencia de resonancia. A continuación, se presenta el símbolo de un cristal y su circuito equivalente:



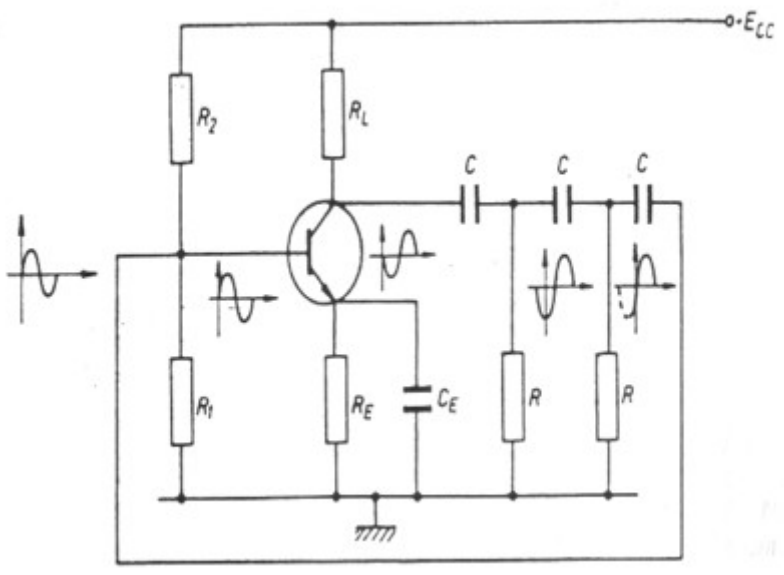
Puede verse que un cristal es equivalente a un tanque resonante. De esta forma, el cristal sustituirá a la red generadora de la

oscilación (tanques). Un ejemplo puede verse seguidamente, donde se muestra un circuito Colpitts a cristal:

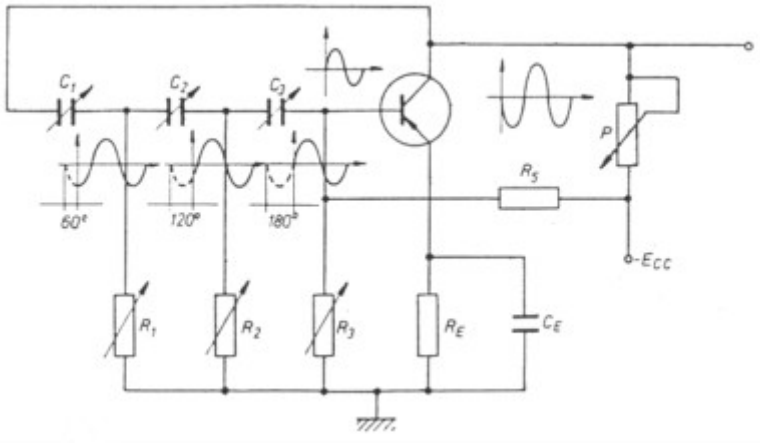


Osciladores de baja frecuencia

En general, los osciladores explicados hasta el momento, son para altas frecuencias y usan, para la generación de la señal, el proceso de oscilación del circuito resonante. Por el contrario, la generación de señales sinusoidales de baja frecuencia, se suele hacer por medio de sucesivas secciones de acoplamiento RC como la sencilla configuración que a continuación se propone:



Dentro de este tipo de osciladores, nos encontramos los que funcionan por desplazamiento de fase, como el que en la figura se muestra:

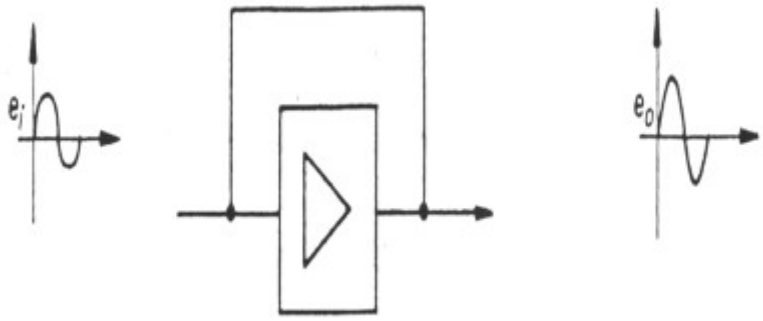


En él puede verse que las redes RC son las que forman el circuito de realimentación. Son ellas, además, los generadores de la frecuencia, cuyo valor será:

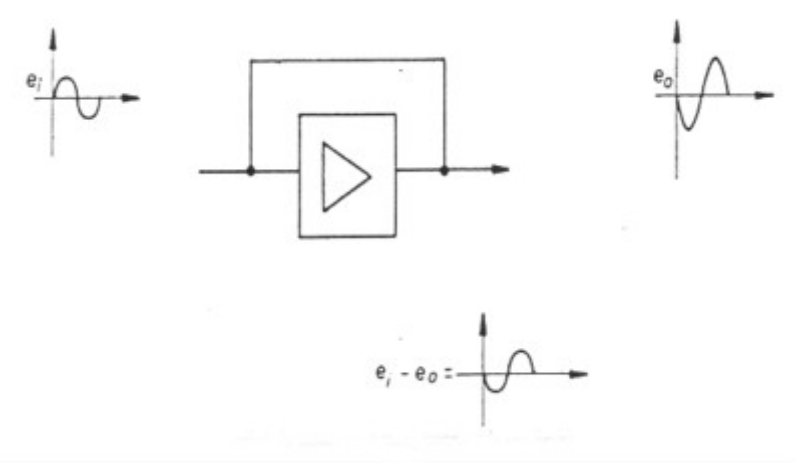
$$fo = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot \sqrt{2 \cdot N}}$$

Donde N es el número de redes RC que existen; en nuestro caso N = 3 por los pares formados C1 R1, C2 R2, C3 R3.

Con el fin de entender cómo realiza la oscilación este circuito, se deberá tener en cuenta que la realimentación de la entrada a la salida tiene que estar en fase, a saber:

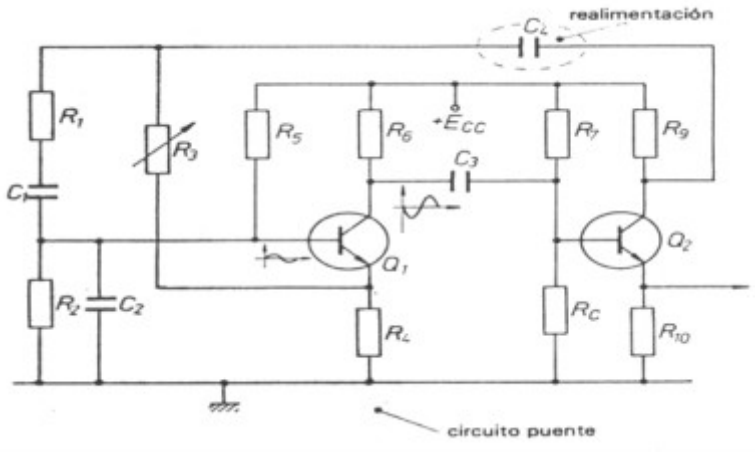


Supóngase que no se encuentran en fase la señal de entrada y la de salida, sino que están en contrafase, tal y como se muestra a continuación:



Como lo que sucede es que se suman las señales en la entrada, al estar desfasadas, la señal de entrada es disminuida, llegando a desaparecer la oscilación. Hay que recordar que en un circuito RC, la corriente se adelanta respecto a la tensión. Por eso, en el último circuito mostrado, es necesario que cada red modifique la tensión 60°, para que la entrada del amplificador reciba una señal en fase, de forma que, para nuestro caso 60° x 3 = 180° la inversión se produce por efecto del amplificador. El proceso de oscilación se puede apreciar mediante los gráficos de las ondas inscritas en el circuito y con R1, R2, C1, C2, y C3 se varían los valores de éstas, para conseguir que el desfase de cada red sea de 60° justos. El transistor trabaja en clase A para no introducir distorsiones. Las resistencias R5, RE son resistencias de polarización del circuito amplificador. El condensador CE es el desacoplo de emisor para conseguir mayor ganancia. El potenciómetro P6 se encarga, además de polarizar el transistor, de sacar una señal adecuada, reduciendo o aumentando el nivel de ella, según se desee.

El último oscilador sinusoidal que describiré será el que funciona por puente de Wien que también se trata de otro circuito oscilador por acoplamiento RC. Se consigue con dos etapas amplificadoras, ya que la primera realiza una inversión de fase y la segunda también, volviendo a reinyectar a la entrada, mediante C4 y el divisor de tensión formado por R3 y R4.

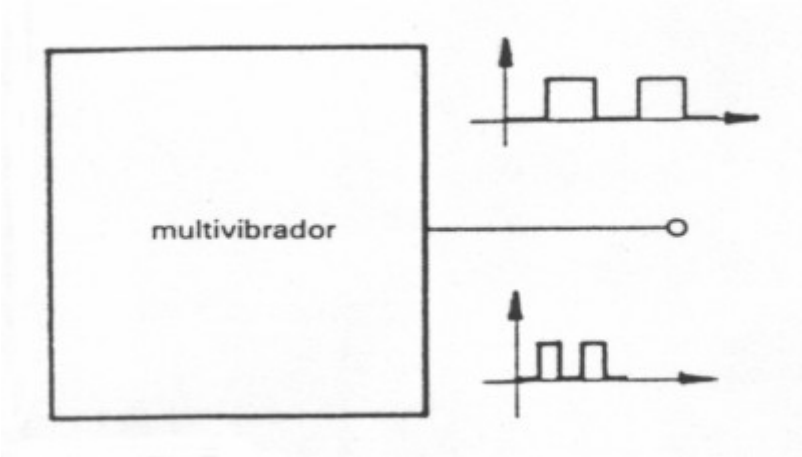


El circuito de realimentación es el condensador C4 y el divisor R3. Por otro lado, R4 se encarga de generar la señal alterna del circuito mixto serie paralelo formado por R1, C1, R2 y C2, siendo su frecuencia la determinada por la siguiente expresión:

$$fo = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{R2 \cdot R1 \cdot C1 \cdot C2}}$$

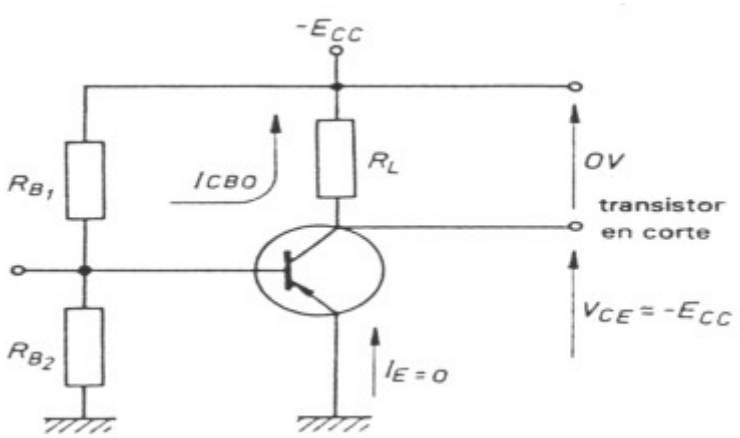
Multivibradores

Los circuitos que a continuación trataremos son los multivibradores. Reciben este nombre los osciladores, que generan señales cuadradas o impulsos, a saber:

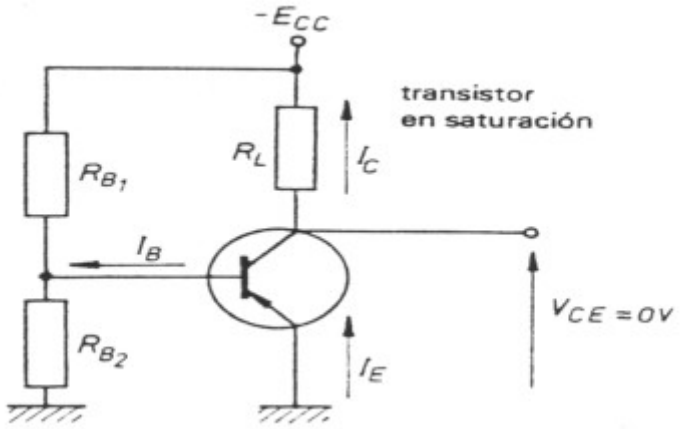


Estos circuitos son básicamente dos amplificadores conectados con acoplamiento RC y que, debido a su polarización y a los fenómenos transitorios, generan las señales comentadas. Para entender más claramente el funcionamiento de los multivibradores, recordaremos, a continuación, dos estados característicos de la conducción de un transistor bipolar: Saturación y Corte.

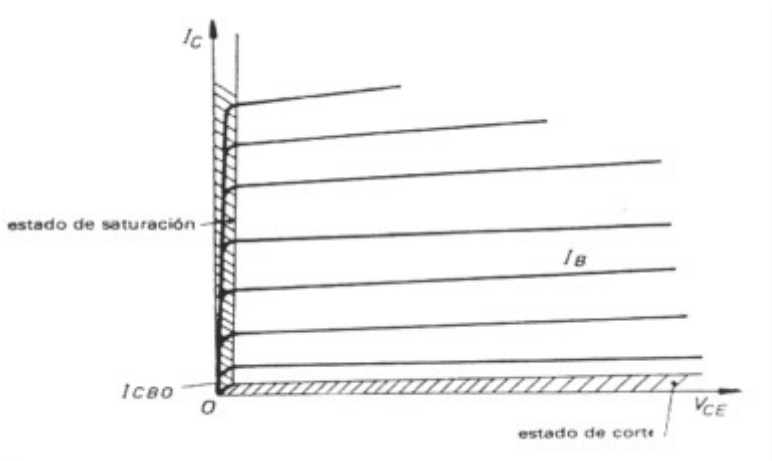
Se dice que un transistor se encuentra en estado de saturación cuando la corriente de colector-base lc es debida tan sólo a la tensión de colector Vc, siendo casi independiente de la corriente de base Ib.



Se dice que un transistor se encuentra en corte, cuando la corriente de colector es igual a Icso, o sea la corriente de fuga que es prácticamente nula, siendo en este caso independiente de la tensión colector-emisor Vce.



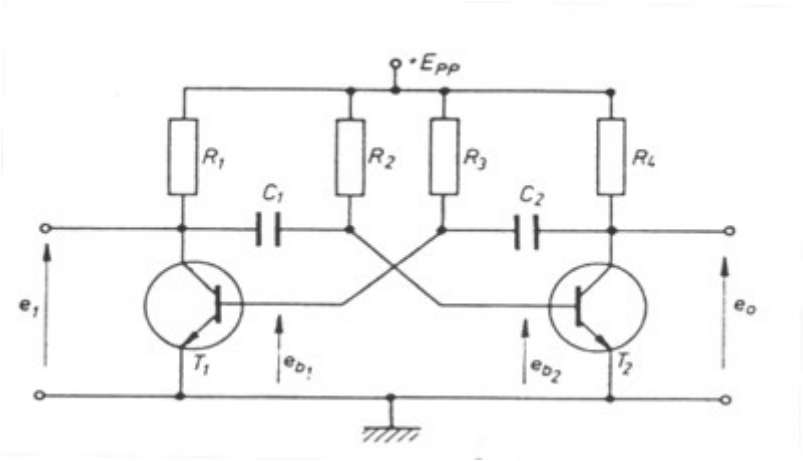
De manera gráfica, atendiendo a las curvas características de un transistor bipolar genérico:



En la práctica, un transistor se encuentra en estado de saturación, cuando la caída de tensión colector-emisor es casi nula. Por el contrario, se dice que un transistor se encuentra en el corte, cuando la tensión colector-emisor es próxima a la de alimentación.

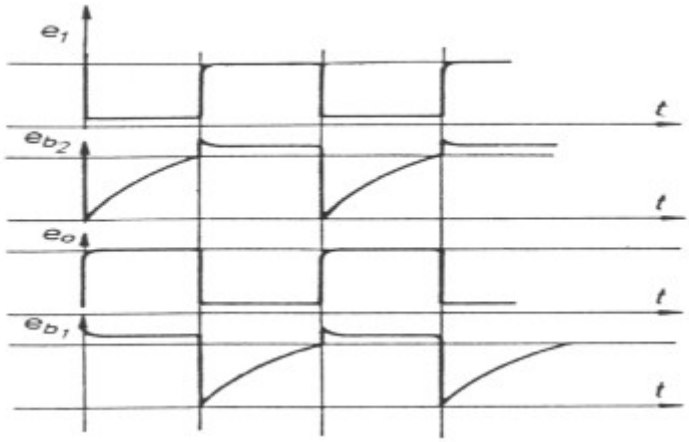
Así las cosas, después de este pequeño inciso y volviendo a los multivibradores, podemos decir que dichos circuitos utilizan estos dos estados de conducción de un transistor para funcionar como estábamos indicando en un principio. Los multivibradores se clasifican en: astables, monoestables y biestables.

Los multivibradores astables son aquellos circuitos que, sin señal extrema aplicada, generan una señal propia, llevando al corte y a la saturación, alternativamente, a los transistores que lo constituyen. La frecuencia de la señal generada es función de las constantes de tiempo RC del circuito.



Al aplicar la tensión de polarización, los dos transistores T1 y T2 iniciarán su conducción y, como éstos no son idénticos, (uno tiene más impurezas que otro), habrá una tensión diferente en cada colector, con lo que se cargarán C1 y C2 a diferentes tensiones.

Supóngase que C1 adquiere una carga suficiente para llevar al corte el transistor T1 (por efecto de la polarización inversa elevada, del diodo colector-base). Si T1 se encuentra en el corte, la tensión de colector del mismo se elevará hasta un valor cercano a Ecc, con lo que se cargará C2 que llevará a T2 al corte. Al mismo tiempo que C2 se carga, el condensador C1 se descarga, a través de T2. Por tanto, cuando T2 entre en el corte, T1 pasará al estado de saturación. Todo esto se puede resumir con los siguientes gráficos de tensiones en el circuito:



Este proceso es repetitivo y es función de las constantes de tiempo. Si, como sucede, generalmente, R1 = R4, R2 = R3 y C1 = C2, la constante de tiempo de carga será:

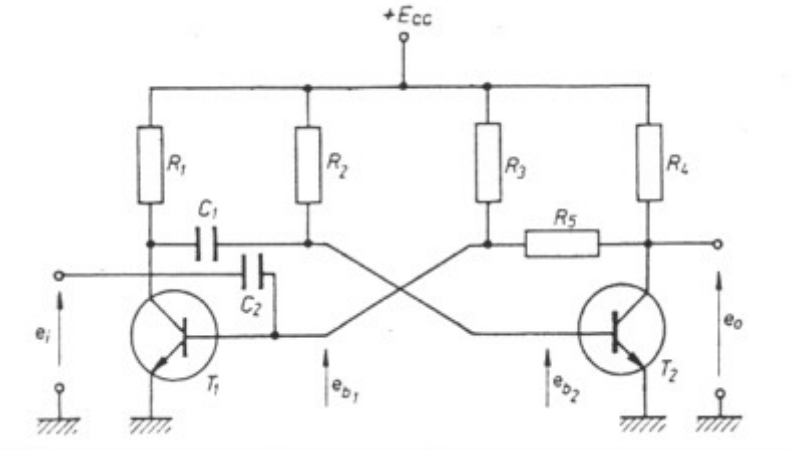
$$\tau c = R1 \cdot C2 = R4 \cdot C1$$

Y la de descarga:

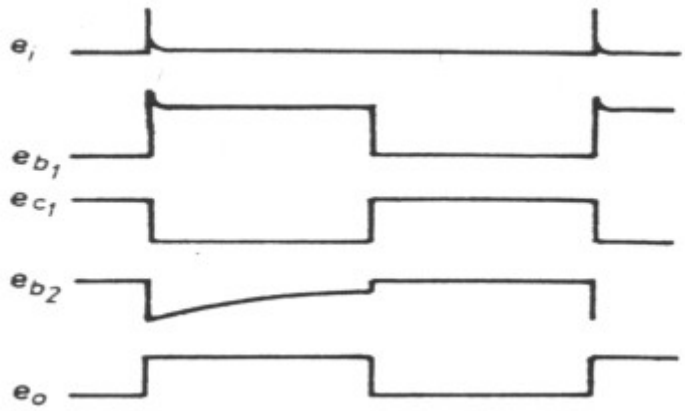
$$\tau d = R2 \cdot C1 = R3 \cdot C2$$

A estos resultados se llega a partir de unas ecuaciones diferenciales sobre la carga y descarga de los condensadores que aquí obviaremos, ya que no considero que éste sea el escenario adecuado para este tipo de desarrollos.

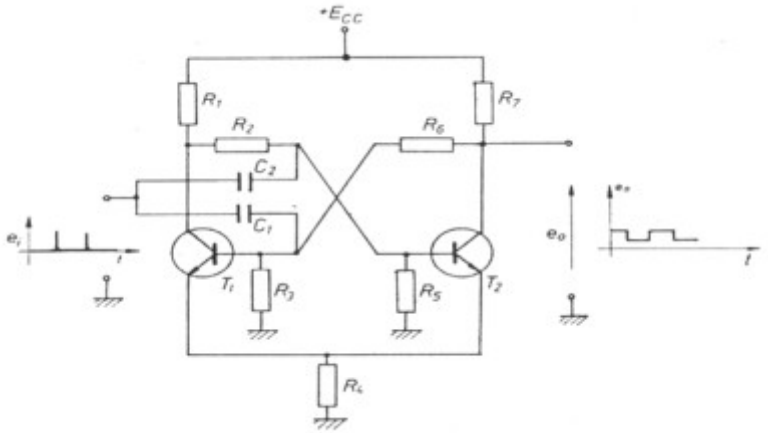
El segundo tipo de multivibrador que expondremos es el monoestable. Se llaman así porque mantienen un estado bien de saturación o bien de corte. Para conseguir que los transistores cambien su estado, es necesario que se aplique una señal externa, y, transcurrido un tiempo determinado por la constante RC, vuelve al estado inicial del que partimos. A continuación se muestra un circuito típico en esta clase de multivibradores. Obsérvese el cambio de un condensador por una resistencia R5:



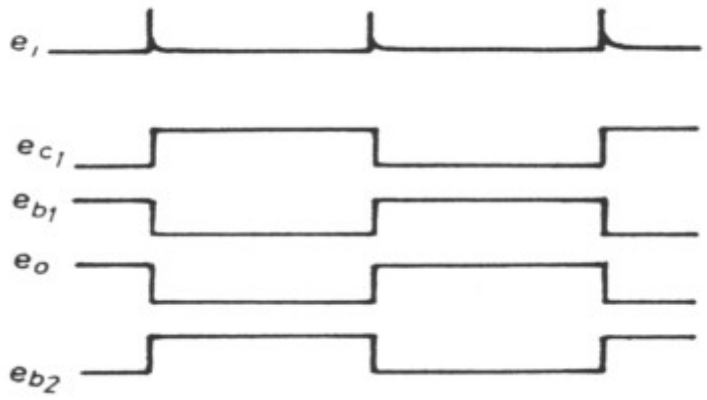
En reposo, el transistor T1 se encuentra en el corte y T2 conduce en estado de saturación. De esta forma, al aplicar los disparos de entrada a la base de T1, éste conduce, haciendo que la tensión de colector se haga casi nula y, por tanto, C1 se descargue bruscamente, a través de T1 y R2, provocando el corte T2. Seguidamente, C1 inicia una carga lenta, a través de R2, hasta que la tensión de base en T2, sea suficiente para llevarle a la saturación, instante en que T1 pasará al corte. Las resistencias R3, R4, y R5 proporcionan la polarización adecuada a la base de T1. El tiempo aestable o de carga vendrá definido de manera análoga, a lo expuesto en el anterior circuito para la descarga. Una manera de ver todo el proceso anteriormente descrito es mediante las gráficas de tensiones en el circuito:



El último multivibrador que trataremos es el biestable. En el circuito anterior, si se sustituye el condensador C1 por una resistencia, ya no habrá nada que haga salir del corte al transistor T2, por lo que sería necesario aplicar un nuevo disparo en la base de éste, para conseguirlo. El circuito del que estamos hablando es:



Como se puede comprender, este circuito tiene dos estados estables de conducción; permanecerá en uno, hasta que se le aplique un disparo externo, y no se saldrá de él, hasta la aplicación de otro nuevo disparo. Cuando se conecta el circuito, los transistores T1 y T2 se polarizan con los divisores respectivos. La base de T2, a través de R1, R2 y R5 y la base de T1, a través de R7, R6 y R3; la resistencia de emisor R4 es común a los dos transistores y además R1 y R7 las usamos como resistencias de carga de cada circuito de colector. Debido al desequilibrio de las impurezas en los transistores, uno conducirá más que otro, y este último irá progresivamente al corte. Si se supone, por ejemplo, que T1 conduce más, la tensión de colector será menor (por mayor caída sobre R1) y, por tanto, la tensión de base de T2 disminuirá, haciendo que decrezca la corriente de colector Ic2, y en consecuencia, la tensión de base de T1 hará que éste conduzca todavía más. Este es un proceso reiterado que culmina con el corte de T2. Si se aplica un disparo a la entrada, éste pasará a las bases a través de C1 y C2. Si bien, en la base de T1 no hará más que aumentar la tensión negativa; en la base de T2 el disparo provoca que T2 pase al estado de conducción, volviéndose a repetir el proceso acumulativo, hasta que T1 se encuentre en el corte A la llegada de un nuevo disparo, T2 pasará al corte, y T1 a la saturación. Una manera de ver todo el proceso anteriormente descrito es mediante las gráficas de tensiones en el circuito:



Conclusión

Esperamos que al lector no le haya resultado demasiado farragoso el tema. Aunque, en un principio, está diseñado el artículo para "algo iniciados", obviando las referencias técnicas, un neófito puede sacar una conclusión bastante ilustrativa de lo que significa el mundo de los osciladores, omnipresentes en nuestros hogares hoy día.