EL TRANSISTOR.

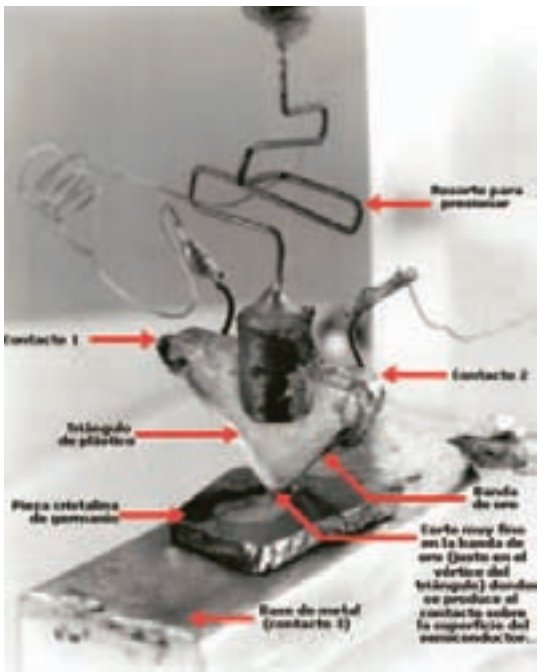
Hemos comentado que el desarrollo del diodo semiconductor fue consecuencia de la válvula diodo, buscando otras ventajas de índole práctico.

En la misma línea y tratando de lograr un equivalente semiconductor del tríodo (válvula termoiónica con ánodo, cátodo y rejilla) se iniciaron investigaciones dando el fruto deseado con el descubrimiento del transistor.

William Bradford Shockley

John Bardeen

Walter Houser Brattain



Imágenes del transistor 1947 fabricado por William Shockley, John Bardeen, y Walter Houser Brattain

Historia del Transistor.

En julio de 1948, John Bardeen, William Shockley y Walter Houser Brattain, continuando con las investigaciones, descubren que al mezclar más elementos o cristales pertenecientes al grupo de los metaloides, midiendo valores resistivos y aplicándoles señales o corrientes, obtenían como resultado una amplificación de éstas.

El nuevo semiconductor, bautizado como transistor, controlaba, polarizando sus uniones, su resistencia interna y esto permitía ser usado como conductor o aislante y especialmente como amplificador de señales.

Sus fundamentos han sido descritos como el fenómeno físico más sorprendente y uno de los avances científicos más grandes de nuestra época, y también el más importante, dentro de la electrónica, después de que, en noviembre de 1904, Fleming, estudiando el efecto Edison, inventó la válvula diodo, que posteriormente perfeccionaron Lee de Forest y Langmuir ideando el tríodo.

El nombre original en inglés de este dispositivo fue de **transfer resistor, transferidor de resistencias,** que abreviado quedó como transistor.

La invención del transistor, anunciada en julio de 1948, fue el resultado de investigaciones básicas en semiconductores que tuvo su inicio en los laboratorios de la Bell Telephon.

Entre 1931 y 1932 fue cuando Becker y Brattain, en sus indagaciones, descubrieron que el efecto rectificador era una propiedad de los semiconductores.

Poco antes del comienzo de la segunda guerra mundial se comprobó que el silicio era un buen semiconductor y se comenzó a usar como rectificador de señal en el radar que se usó durante la contienda.

Al fin de la guerra, se reiniciaron nuevamente las investigaciones con Shockley a la cabeza del grupo.

Éste propuso que podía controlarse el número de portadores de carga cerca de la superficie de un semiconductor mediante la aplicación al mismo de una tensión eléctrica.

Cuando Bardeen y Brattain intentaban mejorar el tiempo de respuesta en una muestra de germanio, descubrieron el efecto transistor.

La aplicación de este efecto para amplificar corrientes fue demostrada, el 27 de diciembre de 1947, colocando dos contactos metálicos separados apenas 0,05mm entre sí sobre la superficie de germanio.

Con pequeñas variaciones de corriente aplicadas a un lado de la muestra, se constataron grandes variaciones en el otro extremo.

Por esta contribución Bardeen, Brattain y Shockley recibieron el premio Nóbel de física en 1956.

A partir de los años 50 la tendencia al uso de circuitos electrónicos incrementó considerablemente su demanda.

Así es como quedó construido el transistor en los primeros años de su fabricación.

El grado de integración de la técnica electrónica en todos los campos de la industria y de la economía es de tal nivel que ha pasado a ser considerada como una tecnología de carácter estratégico para los Estados Unidos, la Unión Europea, Japón y por algunos países en proceso de industrialización como Corea, Taiwán, Singapur, Hong Kong y muy recientemente China.

La tecnología electrónica representa una de las actividades económicas más grandes del mundo (más del 50%) y con una fuerte tendencia a crecer.

Los productos electrónicos tienen un alto valor añadido y en su fabricación se requiere personal con alto nivel de preparación.

Las diez compañías de electrónica más grandes en el mundo son:

IBM, Matsushita Electric, NEC, Philips, SIEMENS, Toshiba, Hitachi, AT&T, Fujitsu y SONY.

ANECDOTARIO.

Es obligado comentar una leyenda relacionada con la invención del transistor.

Nos referimos al **Incidente OVNI de Roswell** que tiene que ver con la supuesta caída de una nave extraterrestre en Roswell, Nuevo México, EEUU, en 1947.

Algunos especialistas en ufología y gran parte del público se han interesado por los acontecimientos de Roswell.

Se han escrito muchos libros y rodado películas sobre los presuntos sucesos, tanto novelas de ficción como informes serios y elaborados.

Los partidarios de la hipótesis extraterrestre consideran el caso Roswell como uno de los acontecimientos ufológicos más importantes, ya que a partir de este suceso comenzó la historia de la ufología moderna.

Los escépticos alegan que la hipótesis que sostiene que en Roswell cayó una nave extraterrestre se apoya en pruebas insuficientes o poco fiables y que presenta demasiadas incoherencias.

Sostienen además que existen otras explicaciones a los sucesos de Roswell que resultan mucho más admisibles que la hipótesis de naves extraterrestres.

Además se debe tomar en consideración el lucro comercial, a través de la venta de libros, entrevistas, etc, que obtienen varios de los principales involucrados que apoyan la hipótesis extraterrestre.

Supuesta autopsia de un extraterrestre que luego se demostró ser un montaje.

Pero lo más sorprendente fue la vinculación de la invención del transistor con la supuesta caída del OVNI…

Vamos a reproducir un texto, extraído de Internet, que se refiere al tema:

"Pero, hablando de noticias basura, Sierra riza el rizo al hacerse eco de las manifestaciones de su colega ***STANTON T. FRIEDMAN,*** *un físico y ufólogo famoso por creerse todo tipo de historias disparatadas [Sierra, 1995d]. Friedman sostiene que el secretismo gubernamental en torno a Roswell tiene su origen en la importancia de la tecnología alienígena. Así, el ufólogo norteamericano se atreve a apuntar que la invención del transistor fue posible a partir del estudio del platillo volante estrellado en Roswell. La prueba es que «el nacimiento oficial del transistor se produce el 23 de diciembre de 1947»,* ***seis meses*** *después del incidente de Nuevo México. La memez de Friedman, para quien en medio año hay tiempo suficiente para entender la tecnología alienígena, adaptarla a las necesidades terrestres y probarla satisfactoriamente, no hace que suene la alarma en la cabeza de Sierra, sino al contrario. El ufólogo alicantino, en su delirio, advierte que los inventores del transistor «tuvieron conexiones políticas y con los servicios de inteligencia al más alto nivel» -¿podía ser de otra forma en plena guerra fría?- y apunta a uno de ellos,* ***WILLIAM B. SHOCKLEY****, como «el científico idóneo para recibir piezas de Roswell para su eventual manufacturación»."*

"La disparatada idea de atribuir el nacimiento del transistor a tecnología alienígena no tiene nada que envidiar a las portadas de ***Noticias del Mundo,*** *en las que es habitual ver al presidente de Estados Unidos pasear por el campo charlando con un extraterrestre. El mismo ufólogo que hace cuatro años criticaba en* ***Más Allá*** *la abundancia de noticias sobre ovnis «basadas en fuentes inexistentes o descaradamente falsas» [Sierra, 1991] se dedica ahora a hacer publicidad de una película cuyo autor se oculta en el anonimato, a dar más credibilidad a un productor televisivo con intereses económicos en el asunto que a patólogos que no tienen nada que ganar, y a propalar las sandeces de un investigador ovni que ve conspiraciones y extraterrestres por todos lados. Este es el auténtico niño prodigio de la ufología española."*

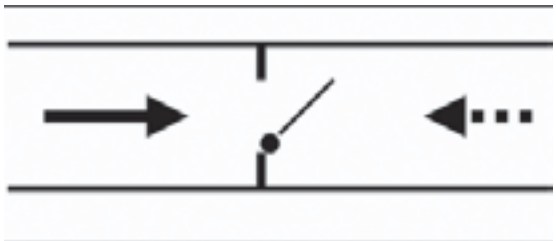
Curioso, ¿no?

Conviene echar una mirada hacia atrás.

Hemos visto, en páginas anteriores, la conducta de los componentes pasivos y también del diodo, cuyo comportamiento se ha descrito de forma bastante exhaustiva hasta el punto de perder casi la noción de qué utilidades puede tener, salvo las descritas y la de ser elemento clave en una fuente de alimentación.

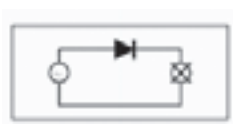
Vamos, por ello, a insistir en ese punto porque nos a servir para desentrañar el comportamiento del transistor.

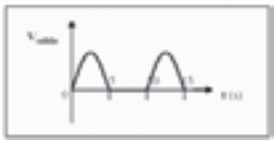
Un diodo es una válvula, valga el símil, una trampilla que situada en una tubería de agua sólo se abate (se abre) en un sentido, quedando cerrada en el otro, es decir:



El sentido del agua es la corriente eléctrica.

Si colocamos un diodo en el circuito de una bombilla observaremos que ésta luce la mitad debido a que el diodo hace desaparecer medio periodo y esto traducido al idioma común significa que el circuito consume aproximadamente la mitad.





Por tal motivo deberemos entender que es posible colocar una bombilla de 125 V en un circuito de 230 V, con un diodo intercalado, sin que se funda.

¿Esto qué nos indica?

Sencillamente:

Utilidades que nos permiten entender el comportamiento del diodo.

Imaginemos una estufa eléctrica de 2000W.

Colocamos dos interruptores, uno que activa los 2000W y dispondremos del calor correspondiente a esa potencia.

En el circuito del otro interruptor intercalamos un diodo y tendremos el calor que pueden emitir los 1000W y... ¡consumiendo la mitad de la potencia total de la estufa!

La mayoría de placas de este estilo funcionan así.

Otra aplicación importante del diodo, no descrita, es su incorporación en los electrodomésticos, en una zona insospechada:

¡En la clavija de alimentación!

Para dotar al aparato de una función, cada día menos necesaria pero no por ello importante:

Que el electrodoméstico en cuestión sea bitensión, es decir, que tenga la posibilidad de conectarlo indistintamente a 230/125 voltios.

Llegados a este punto conviene que nos hagamos toda una serie de preguntas relacionadas con el tema y que no estén condicionadas por la rigidez de un cuestionario.

Se trata de las interrogaciones simples, que se haría cualquier persona al enfrentarse con un elemento nuevo.

- ¿Qué es un transistor?
- ¿Para que sirve realmente?
- ¿Sustituye a algún modelo de componente que se haya quedado anticuado?
- ¿Cómo se identifica?
- ¿Cómo se compra?
- ¿Es caro?
- ¿Se desgasta con el tiempo?
- ¿Tiene incompatibilidades?
- ¿Puede prescindirse olímpicamente de él?

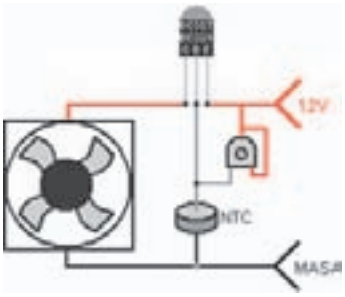
Empecemos…

Al iniciar este apartado se habla de lo significó su descubrimiento, nada menos que tres premios Nobel.

Esto de por sí ya tiene trascendencia porque no van dando este tipo de enaltecimientos todos los días.

La mayor parte de las preguntas que a priori nos hagamos, y muchas más, se irán contestando en los próximos párrafos, pero como ejemplo bastante concluyente vamos a adelantarnos explicando una utilidad que lo define con suficiente precisión:

Se trata de construir un variador de velocidad, o caudal, como queramos definirlo, de un ventilador del modelo que llevan las torres de los ordenadores, donde se ubica la CPU, para que la velocidad del ventilador se ajuste a la necesidad de evacuar el calor del procesador, en función del calor que éste desprenda.



Más adelante podremos entender mejor este montaje, pero ahora la figura nos sirve para justificar la presencia de un transistor en el circuito, del que explicamos someramente su funcionamiento.

El potenciómetro se encarga del ajuste, como casi todos los potenciómetros.

La NTC es quien capta la temperatura del sistema.

Es una resistencia que, como ya vimos, varía negativamente en función de la temperatura, esto es, a mayor temperatura menor resistencia.

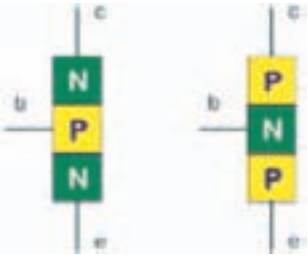
Este montaje nos libera de estar pendientes de un ajuste manual de la velocidad.

Sólo diremos que el calor que absorbe la NTC obliga al transistor a dar paso a mayor o menor intensidad al ventilador.

El Transistor de Unión

Principio de funcionamiento.

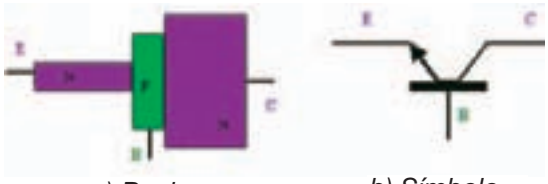
El transistor es un elemento semiconductor que tiene la propiedad de poder gobernar a voluntad la intensidad de corriente que circula entre dos de sus tres terminales, que se llaman emisor y colector, a través de la acción de una pequeña corriente, mucho más baja que la anterior, aplicada al tercer terminal, que recibe el nombre de base.



El transistor dispone de dos uniones semiconductoras, separadas por una finísima capa de material.

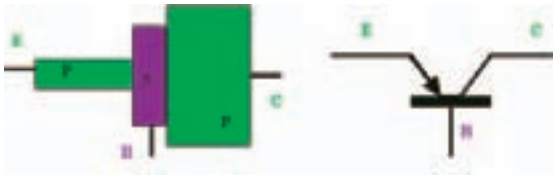
Supongamos que se dispone de una estructura formada por dos zonas de material semiconductor tipo N (formado por germanio o silicio sobre el que se ha difundido o diluido un segundo material que tiene un exceso de electrones, tal como fósforo o arsénico) y entre ellos existe una capa muy delgada de otro, tipo P (formado a partir del mismo material base que el N, con la adición de un segundo que produzca un defecto de electrones, tal como indio o boro).

El conjunto forma dos uniones: una P-N y otra N-P produciéndose entre las tres zonas un movimiento de electrones, similar al que se forma en el diodo, que provoca la aparición de dos regiones de transición en la que se generan unas pequeñas diferencias de potencial, de forma que las dos zonas N quedarán a una tensión ligeramente más positiva que la zona P, intermedia.



a) Regiones *b) Símbolo*

Composición y símbolo del transistor NPN

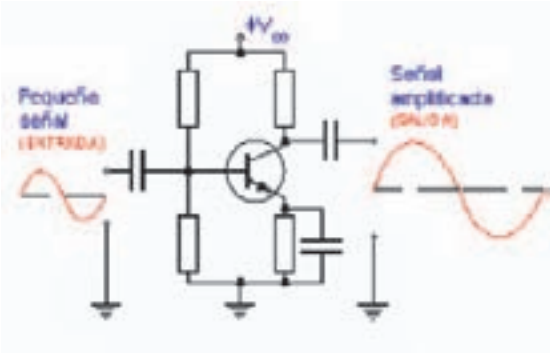


a) Regiones *b) Símbolo*

Composición y símbolo del transistor PNP

El transistor bipolar es el más común de los transistores, y como los diodos, puede ser de germanio o silicio.

El transistor es un amplificador de corriente, esto quiere decir que si le introducimos una cantidad de corriente por una de sus patillas (base), el entregará por otra (emisor), una cantidad mayor a ésta, en un factor que se llama de amplificación.



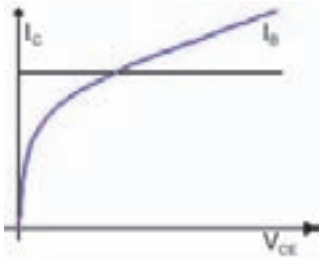
A este factor se le denomina ß (beta) y es un valor propio de cada transistor.

I_C (corriente que pasa por la patilla colector) es igual a ß (factor de amplificación) por I_B (corriente que pasa por la patilla base):

$$I_C = ß \times I_B$$

I_E (corriente que pasa por la patilla emisor) es del mismo valor que I_C, sólo que, la corriente en un caso entra al transistor y en el otro caso sale de él, o viceversa.

Según la fórmula anterior las corrientes no dependen del voltaje que alimenta el circuito (V_{CE}), pero en la realidad si, y la corriente I_B cambia ligeramente cuando cambia V_{CE}, según puede observarse en la figura.



Actualmente el semiconductor utilizado es prácticamente siempre silicio y son mucho más abundantes los transistores N-P-N que los P-N-P.

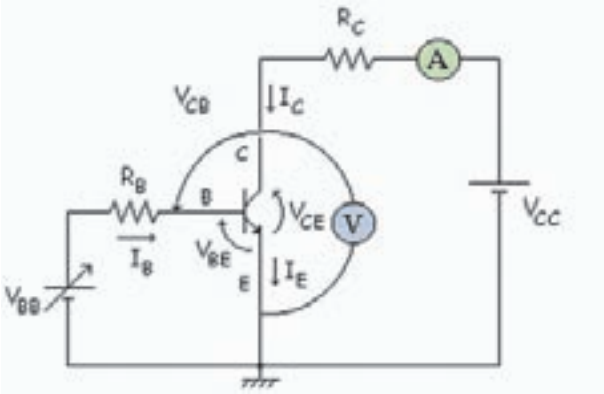
Y para que no olvidemos **nunca** el sentido de la flecha, proponemos un juego de palabras:

*En la unión **PNP, P ("pincha")** (flecha hacia la base).*

*En la unión **NPN, NP ("no pincha")** (flecha hacia fuera).*

Seguimos:

En todo transistor se cumple, respecto a tensiones y corrientes, lo siguiente:



$$V_{CB} + V_{BE} = V_{CE} \qquad I_C + I_B = I_E$$

Además, insistimos, como un parámetro muy importante, tenemos que:

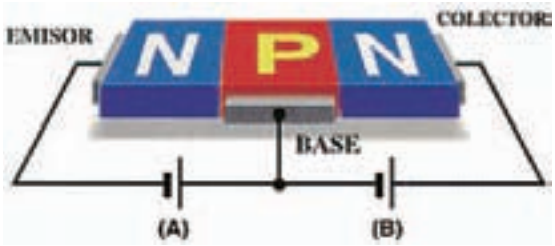
$$ß\ (beta) = I_C/I_B$$

También se utiliza, en lugar de ß, el término hFE .

Ambos, ß ó hFE, representan la ganancia de corriente colector-base cuando la resistencia de carga es nula.

Polarización

Si ahora se aplica una tensión exterior, procedente de una batería o de cualquier otro circuito de alimentación, a la primera unión N-P, cuyas dos zonas se llaman emisor y base respectivamente, en forma directa o con el negativo aplicado al emisor y el positivo a la base, se producirá una circulación de corriente entre ambas regiones.



Aplicando una segunda tensión externa a la unión P-N restante, formada por la base y una tercera zona denominada colector, en sentido inverso (negativo a la base y positivo al colector) se conseguirá que la corriente de electrones que se generó con la primera tensión aplicada sea atraída por la diferencia de potencial positiva aplicada al colector, a pesar de la fuerte oposición que origina la unión base-colector polarizada en sentido inverso, con lo que la corriente que salió del emisor puede llegar prácticamente en su totalidad al colector, salvo una pequeñísima fracción que saldría por la conexión de base.

Pues bien, esta fracción de corriente es la que es capaz de gobernar a la principal, ya que ésta será siempre un múltiplo de la de base.

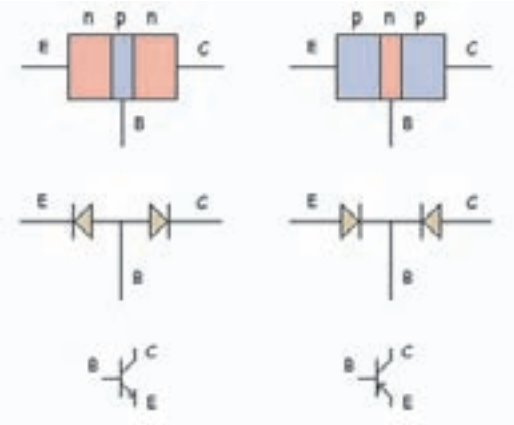
Transistor N-P-N y P-N-P.

Insistimos en la explicación.

Un transistor es similar a dos diodos, el transistor tiene dos uniones: una entre el emisor y la base y la otra entre la base y el colector.

El emisor y la base forman uno de los diodos, mientras que el colector y la base forman el otro.

Estos diodos son denominados: Diodo de emisor (el de la izquierda en este caso) y Diodo de colector (el de la derecha en este caso).

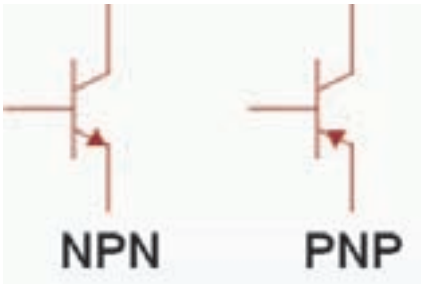


El colector es la parte que recibe “algo”, el emisor la que lo “emite” y la base es la zona intermedia por donde va a pasar.

Este algo va a ser electrones o huecos a través de las uniones P-N, según el tipo de transistor del que hablemos.

La zona de semiconductor que está en medio, es decir, la base, siempre es más pequeña que las dos de los extremos, emisor y colector, bien sea en transistores P-N-P o N-P-N.

Aunque su estructura no sea excesivamente complicada, sería absurdo tener que dibujarla en un circuito cada vez que nos refiriésemos a ellos, así pues, este tipo de transistores se representan esquemáticamente con el símbolo que ya hemos visto.



Para que los transistores actúen es necesario aplicarles una diferencia de potencial externa, que ya hemos leído se llama polarización.

Según se conecte este potencial, vamos a obtener una polarización inversa o directa. Pues bien, ahora, como tenemos dos uniones, todo se multiplica por dos, vamos a tener que conectar dos baterías externas, una por cada unión, y podemos tener cada unión polarizada de una forma, es decir, las dos polarizadas inversamente, las dos directamente, o una inversa y la otra directamente.

Según tengamos polarizadas estas uniones, el transistor se comportará de una manera distinta.

Diremos entonces que estamos trabajando en una u otra zona.

Según como conectemos las dos baterías al transistor podemos conseguir cuatro combinaciones diferentes:

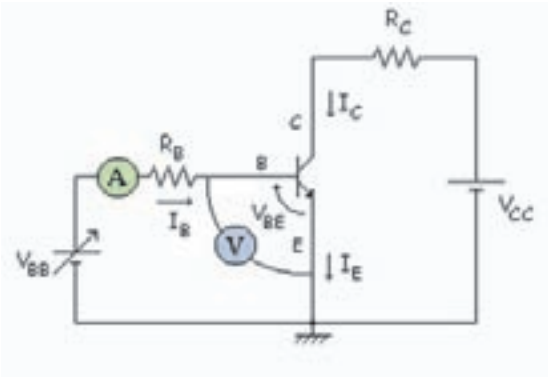
El emisor conectado al borne positivo de la batería 1 y el colector al borne positivo de la batería 2.

Otra combinación sería el emisor al borne positivo de la batería 1 y el colector al borne negativo de la batería 2.

En la tercera combinación tendríamos el emisor al borne negativo de la batería 1 y el colector al borne positivo de la 2 y, por último, el emisor conectado al borne negativo de la 1 y el colector al borne negativo de la 2.

Curvas de un transistor.

Para entender el modo de funcionamiento de un transistor vamos a recordar cómo se comportan las uniones P-N al conectarlas a una batería.



En primer lugar supondremos conectada la batería A (V_{BB}) y desconectada la B (V_{CC}), luego conectaremos la B desconectando la A, para finalizar conectando las dos a la vez.

Si sólo tenemos la batería A con su borne negativo conectado al emisor y el positivo conectado a la base, y dejásemos al colector sin unir a la base (al tener desconectada la batería B), tendríamos una unión P-N, es decir, un diodo, polarizado directamente.

Curva característica de entrada

Si variamos el valor de la pila V_{BB} de la malla de entrada, tomando valores de I_B y V_{BE} podemos obtener la característica de (la malla de) entrada.

Como vemos, es la característica del diodo base-emisor, y tiene una forma exponencial.

Los electrones (portadores mayoritarios) pasan del emisor (N) a la base (P), al ser atraídos por el borne positivo de la batería produciendo una corriente bastante intensa.

Si desconectamos la batería A (que une a la base con el emisor) y sólo conectamos la B (para unir el colector con la base), colocando el borne positivo con el colector y el negativo con la base, tenemos una unión P-N inversamente polarizada y, por tanto, no se produce paso de corriente eléctrica.

Pero ¿qué ocurre al conectar las dos baterías a la vez?

Conseguiremos una…

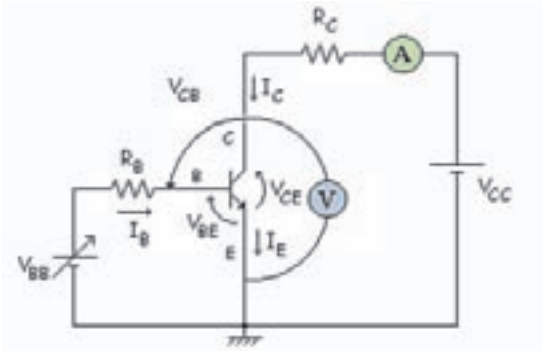
Curva característica de salida

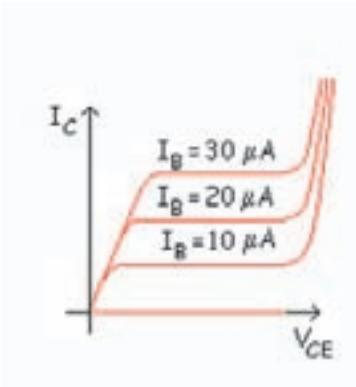
Analizamos la malla de salida y obtenemos distintas curvas para diferentes valores de I_B.

Ajustando V_{BB} fijamos un valor de I_B que vamos a mantener constante (por ejemplo **I_B = 10 µA**).

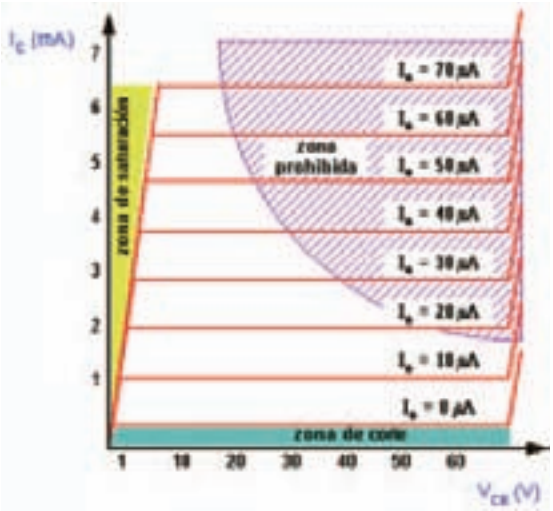
Ahora variando V_{CC} medimos valores de V_{BE} y I_C y obtenemos la correspondiente curva de **I_B = 10 µA**.

Hacemos lo mismo para **I_B = 20 µA**, etc... Y así sucesivamente para diferentes valores de I_B.





Regiones operativas del transistor.



Región de corte:

Un transistor está en corte cuando:

corriente de colector = corriente de emisor = 0

$$(I_C = I_E = 0)$$

En este caso el voltaje entre el colector y el emisor del transistor es el voltaje de alimentación del circuito.

(Como no hay corriente circulando, no hay caída de voltaje, según la Ley de Ohm). Este caso normalmente se presenta cuando la corriente de base = **0 (I_B =0)**

Región de saturación:

Un transistor está saturado cuando: corriente de colector = corriente de emisor = corriente máxima, (**$I_C = I_E = I_{MÁXIMA}$**)

En este caso la magnitud de la corriente depende del voltaje de alimentación del circuito y de las resistencias conectadas en el colector o el emisor o en ambos, según la ley de Ohm.

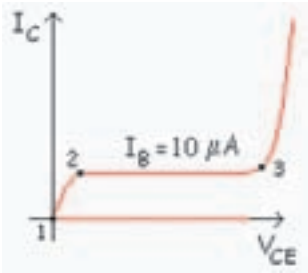
Este caso normalmente se presenta cuando la corriente de base es lo suficientemente grande como para inducir una corriente de colector ß veces más grande.

(Recordar que **$I_C = ß \times I_B$**)

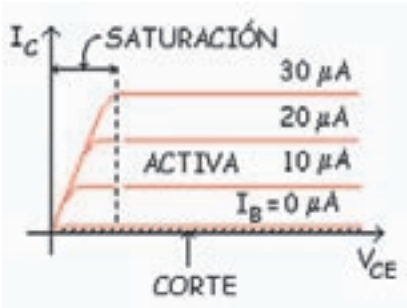
Región activa:

Cuando un transistor no está ni en su región de saturación ni en la región de corte entonces está en una región intermedia, la región activa.

En esta región la corriente de colector (I_C) depende principalmente de la corriente de base (I_B), de ß (ganancia de corriente de un amplificador, es un dato del fabricante) y de las resistencias que hayan conectadas en el colector y emisor).



Esta región es la mas importante si lo que se desea es utilizar el transistor como un amplificador.



Recordar que en la zona activa conociendo el valor de I_B se puede calcular la **I_C ($I_C = ß \times I_B$)**.

La zona de corte es desde **$I_B = 0$** hacia abajo (zona rallada) y no conduce

La unión del emisor con la base (J_E) está polarizada directamente (emisor conectado al borne negativo y la base al borne positivo de la batería A) por lo que la barrera de potencial que hay entre ellos es muy estrecha.

Sin embargo, en la unión base-colector, J_C, al estar polarizado inversamente (colector conectado al borne positivo y base al borne negativo de la batería B), la barrera de potencial es bastante ancha.

Al haber conectado las dos baterías empieza el movimiento, los electrones (portadores mayoritarios en el material tipo N) se empiezan a desplazar desde el emisor (tipo N) a la base tipo (P), aproximándose al colector (tipo N), y consiguen atravesar la unión base-colector gracias a la atracción que les produce el borne positivo de la batería a la que está conectado el colector.

¿Por qué no se recombinan los electrones y los huecos de la base?

La base es mucho más estrecha que el emisor y el colector; también está mucho menos dopada, por lo que los huecos libres (portadores mayoritarios) son muy escasos.

Así que es muy difícil que un electrón encuentre un hueco para recombinarse, por lo que seguirá su camino atraído por el potencial.

La corriente de base va ser pequeña al haber pocos electrones y huecos que se recombinen, la del emisor y el colector serán más grandes al producirse electrones en el borne negativo de la batería unida con el emisor, que van a atravesar a éste, para pasar después por la base y acabarán atravesando al colector para ir a parar al borne positivo de la otra batería.

Según incrementamos la polarización directa va a aumentar el número de electrones del emisor que se desplazan, creciendo a la vez la corriente de colector, emisor y base.

Si disminuimos esta polarización bajarán todas las corrientes hasta llegar a un punto en que el transistor puede quedar cortado y no conducir la corriente.

Al potencial conectado al emisor se le llama V_{BE} y al conectado al colector V_{CE}, aumentando su valor o disminuyéndolo es la forma que tenemos para aumentar o disminuir las polarizaciones.

Los otros transistores que hemos nombrado son los P-N-P, cuyo funcionamiento es muy parecido al de los que acabamos de explicar (N-P-N).

En los P-N-P el emisor es un semiconductor de tipo P, por lo que sus portadores mayoritarios van a ser los huecos en vez de los electrones, la base es del tipo N (portadores mayoritarios los electrones) y el colector es de tipo P (portadores mayoritarios los huecos).

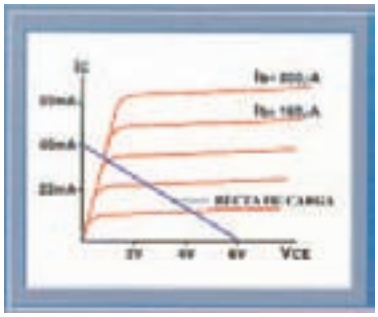
Las baterías también van a estar colocadas de distinta forma, el borne positivo de una batería va a estar unido al emisor, y el borne negativo de esta misma batería va a estar unido a la base, por lo que esta unión va a estar polarizada directamente; por otro lado el colector y la base van a estar unidos por otra batería con su borne negativo conectado al colector y el positivo a la base, aquí la polarización va a ser inversa.

El funcionamiento en estos transistores es prácticamente igual al de los anteriores, la diferencia más notable es que en el P-N-P lo que se está moviendo son los huecos, en lugar de los electrones, desde el emisor, atravesando la base hasta llegar al colector, por tanto el sentido de la corriente exterior va a ser inverso al ser inversos los sentidos del movimiento de huecos y de electrones.

En los P-N-P también nos encontramos con que la base es muy estrecha y está muy poco dopada, por lo que la recombinación de huecos y electrones vuelve a ser pequeña y, en consecuencia, la corriente de base también lo será.

Sin embargo, las corrientes de emisor y colector son grandes, como en el caso anterior.

Recta de carga estática



La recta que atraviesa la curva se denomina **recta de carga** y se compone de los lugares que puede ocupar el punto de trabajo del transistor.

Responde a la siguiente fórmula, que sería la ecuación de la malla de salida.

$$V_{CC} = V_{CE} + R_C \times I_C \longrightarrow \text{ecuación de la recta de carga}$$

Toda recta se determina mediante dos puntos.

Si $I_C = 0$ ⟶ transistor en corte

entonces

$V_{CC} = V_{CE}$ (punto en abscisas).

No hay intensidad de colector, por tanto no hay caída de tensión en la R_C y toda la tensión de alimentación está entre colector y emisor.

Si $V_{CE} = 0$ ⟶ transistor en saturación

entonces

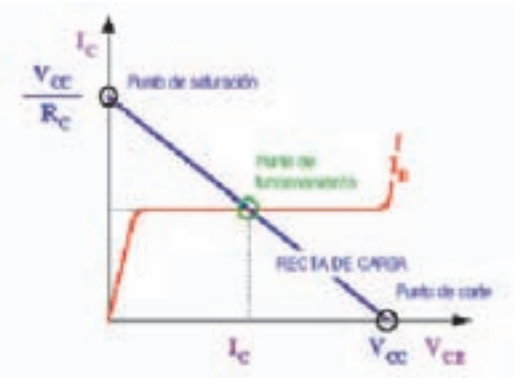
$Ic = V_{CC}/R_C$ (punto en ordenadas)

El transistor conduce a tope.

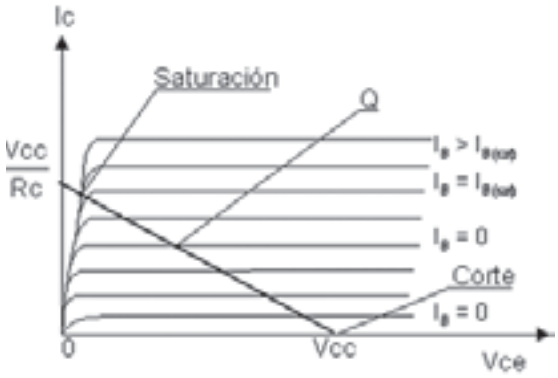
Toda la tensión de alimentación cae en la resistencia de carga.

Los transistores en emisor común suelen trabajar como amplificadores (zona activa) o como conmutadores (zonas de corte saturación).

El modo en que queramos que trabajen determinará el circuito de polarización del mismo que utilicemos.



Punto de trabajo Q



Siempre está situado en la recta de carga y dentro de alguna curva, especificando una cierta corriente de colector I_C y una determinada tensión colector-emisor V_{CE}.

Para obtener el punto de trabajo Q plantearemos tres ecuaciones:

La de la malla de base, la de la malla de colector y por último la ecuación del transistor:

Malla de base:

$$V_{CC}-V_{BE} = I_B R_B+(I_C+I_B)R_E$$

Malla de colector:

$$V_{CC}-V_{CE} = I_C R_C+(I_C + I_B)R_E$$

Ecuacion del transistor

$$I_C = ß \times I_B$$

Modos de trabajo del transistor.

Puesto que el transistor tiene dos uniones, existen cuatro combinaciones según estén en polarización directa o inversa.

A cada una de estas combinaciones la llamamos modo de trabajo.

Tenemos, por tanto, cuatro modos de trabajo, según estén las polarizaciones de cada unión.

En el modo activo directo, la unión emisor base está directamente polarizada y la colector base inversamente polarizada.

En este modo, el transistor se comporta como una fuente de corriente controlada. Decimos que se trata de una fuente de corriente controlada porque podemos controlar las corrientes que fluyen por el transistor.

La corriente del colector, I_C, depende del valor de la corriente del emisor, I_E, es decir, si le aumenta también lo hará I_C y, por el contrario, una disminución en le provocará una disminución en I_C.

Así pues, controlando I_E, automáticamente controlaríamos I_C.

El control de I_E se lleva a cabo con el potencial base emisor.

Este modo se podría asemejar a un grifo normal y corriente por el que fluye agua.

El agua sería la corriente de colector y abrir o cerrar un poco el grifo equivaldría a variar el potencial V_{BE}.

El resultado sería un aumento o disminución en el chorro de agua que en el transistor se traduciría en un aumento o disminución de la corriente del colector, I_C.

De ahí que se diga que el transistor cuando trabaja en modo activo director se comporta como una fuente de corriente controlada.

El segundo modo se denomina de corte, que se produce cuando las dos uniones están polarizadas de forma inversa.

Podemos imaginamos dos diodos colocados de forma opuesta al paso de la corriente. Como ya sabemos, en este caso no circula corriente apreciable, razón por la que se llama modo de corte.

Se puede decir que, en este caso, el transistor se comporta como un interruptor abierto.

Si, por el contrario, tenemos las dos polarizaciones de forma directa diremos que el transistor está en modo de saturación.

Aquí, las corrientes circulan como si prácticamente no existiese transistor alguno.

El transistor en, este caso, se comporta como un circuito cerrado.

Los modos de corte y saturación son comportamientos interruptor que, serán utilizados en electrónica digital debido a esta cualidad.

POLARIZACION DE LA UNION

MODO	COLECTOR-BASE	EMISOR-BASE
ACTIVO-DIRECTO	INVERSA	DIRECTA
CORTE	INVERSA	INVERSA
SATURACION	DIRECTA	DIRECTA
ACTIVO-INVERSO	DIRECTA	INVERSA

Propiedades del transistor

Hay cuatro conceptos muy importantes, que son:

Amplificación, impedancia, fase y frecuencia.

Los dos primeros hacen referencia tanto a circuitos de corriente alterna como de corriente continua, mientras que la fase y la frecuencia son fenómenos producidos en la corriente alterna.

La amplificación, como su nombre indica, consiste en aumentar el valor de una cantidad.

"En un transistor podemos hablar de amplificación de corriente, de tensión y de potencia."

La impedancia es la resistencia, es decir, la oposición al paso de corriente.

Respecto a la amplificación, habrá que determinar si el transistor produce amplificación o no.

En caso de producir amplificación, hay que saber si ésta es de tensión, de corriente o de ambas, es decir, de potencia, y

cuánto vale.

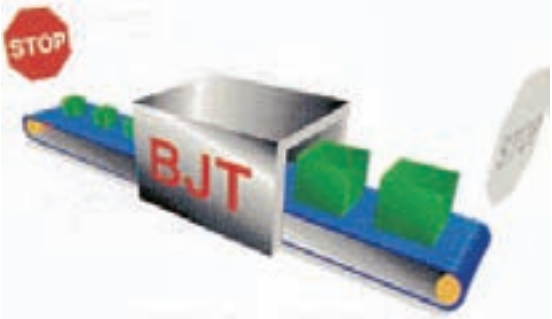
Respecto a la impedancia, hemos de saber qué impedancia ofrece a la entrada y a la salida.

Igualmente, con **la fase** tendremos que ver si los valores de la tensión a la entrada y a la salida coinciden o existe algún desfase entre ellos.

De existir desfase, hemos de poder determinar su valor.

Y, por último, respecto a **la frecuencia,** habrá que ver si el circuito es válido para una sola frecuencia o para un margen determinado.

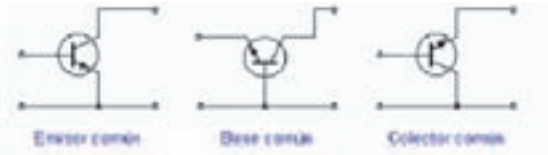
Y qué comportamiento presenta frente a frecuencias altas, medias y bajas.



El transistor polarizado

Además de lo comentado si se conectan fuentes de tensión externas para polarizar al transistor, se obtienen resultados nuevos e inesperados.

Hay 3 configuraciones:



- Base común (BC).
- Emisor común (EC).
- Colector común (CC).

Cada una de estas configuraciones a su vez puede trabajar en 4 zonas diferentes:

Zona ACTIVA:

U_E en Directa y U_C en Inversa. AMPLIFICADORES

Zona de SATURACIÓN:

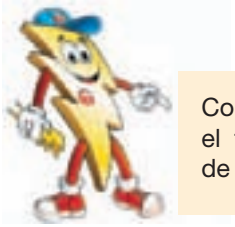
U_E en Directa y U_C en Directa. CONMUTACIÓN

Zona de CORTE:

U_E en Inversa y U_C en Inversa. CONMUTACIÓN

Zona ACTIVA INVERTIDA:

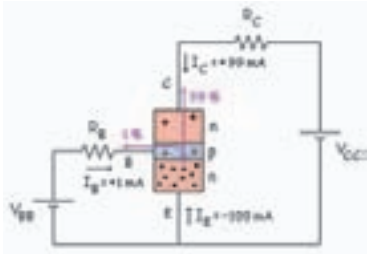
U_E en Inversa y U_C en Directa. SIN UTILIDAD



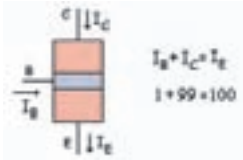
Con esto comprobamos que el transistor puede trabajar de 12 formas diferentes.

Emisor común.

Esta configuración es la más utilizada.



Sólo el 1 % se recombina y el 99 % no se recombina.



Ganancia de corriente β_{CC}:

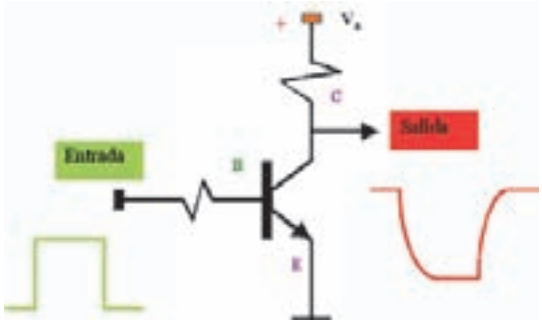
$$\beta_{cc} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{99}{1} = 99$$

A veces (casi siempre) se desprecia la I_B, por ser muy pequeña, en comparación con la I_C.

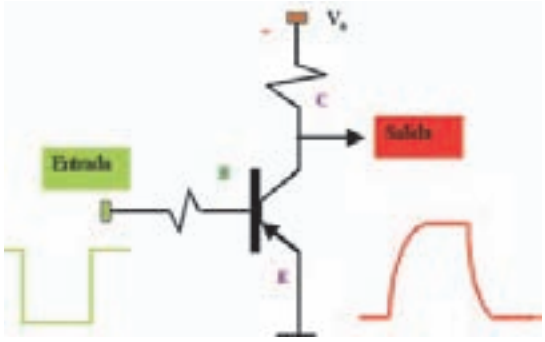
$$\left.\begin{array}{l} I_B + I_C = I_E \\ 1 + 99 = 100 \end{array}\right\} \quad I_C \simeq I_E$$

En ella, el transistor actúa como un amplificador de corriente y de tensión.

Aparte de los efectos de amplificación, también se invierte la tensión de señal, es decir, si la tensión es tendente a positiva en la base pasa a ser tendente a negativa en el colector.



Emisor común en un NPN



Emisor común en un PNP

En un transistor NPN cuando la entrada es baja, por el colector no pasa corriente y por lo tanto la salida es alta.

Cuando la entrada es alta, circula una corriente elevada por la resistencia de colector y por lo tanto la salida es baja.

Es decir, el transistor se comporta como una puerta NO (ver puertas lógicas en el capítulo correspondiente).

Y en un PNP, cuando la entrada es alta, por el colector no pasa corriente y por lo tanto la salida es baja.

Cuando la entrada es baja, circula una corriente elevada por la resistencia de colector y por lo tanto la salida es alta.

El valor de la corriente de base va a depender del valor de la resistencia R_B, la corriente que circula por el colector, I_C, depende de la corriente de base, I_B, como hemos visto con la formula **$I_C = ß \times I_B$;** I_C es mucho más grande que I_B y ese aumento viene dado por ß.

Al pasar la corriente por R_C se va a producir una caída de potencial; luego, la tensión que obtengamos a la salida, también va a depender del valor de esta resistencia. Podemos colocar una resistencia en el emisor, que llamaremos R_E, que va a perjudicar mucho la amplificación de tensión, pero va a hacer que el transistor sea mucho más estable y no le afecten los cambios de la temperatura.

Aumentando o disminuyendo los valores de las tres resistencias podemos conseguir corrientes y tensiones diferentes en los tres terminales.

Por ejemplo, si aumentamos la resistencia de base el valor de la corriente I_B será menor, lo que implicará que Ic también sea menor, y al pasar una corriente de colector menor a través de R_C, el potencial que se obtendrá a la salida será mayor; pero si disminuimos R_B aumenta I_B y con ella la corriente de colector, y la tensión de colector disminuirá.

Disminuyendo mucho la resistencia de base podemos llegar a un punto en el que pasemos de la zona de activa a la de saturación, es decir, que la unión colector-base, que está inversamente polarizada en activa, pase a estar directamente polarizada y, por lo tanto, en saturación.

Esto se produce porque I_B aumenta y, en consecuencia, I_C también aumenta.

Si un circuito está trabajando en zona activa, el transistor se comporta de forma lineal. Es decir, que a iguales variaciones de la corriente de base, I_B, se producen iguales variaciones de la corriente de colector, I_C.

El primer punto en el cual al aumentar I_B ya no aumenta Ic pertenece a la zona de saturación.

También podemos modificar los valores de la corriente de base, de colector y de la

tensión de salida jugando con la tensión de entrada o con la resistencia de colector.

Una característica muy importante dentro de un circuito es determinar su punto de funcionamiento.

La corriente continua, y la tensión en cada terminal del transistor determinan el punto de funcionamiento de un circuito.

Este punto de funcionamiento, Q, ya hemos visto que se encuentra situado en la recta de carga.

Valores máximos de un transistor que no deben superarse.

Se definen para cada tipo de transistor, un conjunto de valores máximos en sus características que nunca deberán ser superados durante el funcionamiento.

Son los siguientes:

- $V_{CE\ MAX}$ para $I_B = 0$
- $V_{BE\ MAX}$
- $I_{C\ MAX}$
- Potencia máxima disipada P_D ó P_{TOT}

La última característica se obtiene multiplicando I_C por V_{CE}.

Se puede dibujar una curva de máxima disipación de potencia sobre las curvas características de salida, separando así la zona a partir de la cual no puede hacerse trabajar al transistor sin riesgo de dañarle.

Criterio para el sentido de la corriente.

Siempre se considera a la corriente para un transistor NPN como entrante por el colector y la base y saliente por el emisor.

Hemos visto que otra forma de construir transistores, manteniendo las mismas bases funcionales, es empleando materiales tipo P para colector y emisor y N para la base.

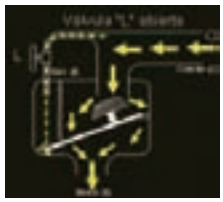
Así el elemento resultante es el transistor PNP.

Sus únicas diferencias con el modelo NPN estriban en que las corrientes que le atraviesan son exactamente de sentido contrario siendo necesario utilizar tensiones exteriores de polarización de signo opuesto.

Símil hidráulico.

Nos puede ayudar a comprender el funcionamiento de un transistor.

Comprobamos que si no hay suficiente flujo de corriente en la válvula L el sistema permanece estable pero cuando la pequeña circulación es capaz de abrir la base se producirá la apertura del colector y agua fluirá sumándose las dos corrientes de agua.



Conexionado y Patillaje

La forma de conexionar un transistor es diferente según el modelo.

Para poder identificar sus patillas es necesario consultar la hoja de características del fabricante o bien los numerosos libros de equivalencias que existen en el mercado.

Los transistores son elementos muy versátiles.

Hemos visto que podemos conectarlos dentro de un circuito de muy diferentes maneras, obteniendo distintos comportamientos.

Por ejemplo se puede conseguir ganancia en tensión, en intensidad o en ambas, según la clase configuración.

Hemos visto que hay tres tipos de configuraciones básicas del transistor BJT: emisor común, colector común y base común.

Recordemos que…

El nombre de común se le da al terminal del transistor que es compartido por la entrada y la salida.

Es evidente que los transistores no se utilizan como elemento único en los circuitos sino que forman parte de una red más o menos complicada de elementos unidos entre sí.

Un transistor en el seno de un circuito se ve afectado por las distintas intensidades de corriente que lo atraviesan y por las tensiones a las que están sometidos sus terminales.

Corriente constante.

Una propiedad muy interesante del transistor es su capacidad para entregar una intensidad de corriente fija y constante a una resistencia en una forma independiente del valor de ésta, por lo tanto, las variaciones de corriente obtenidas por la acción de la base, producirán sobre la resistencia unas variaciones de tensión que podrán ser calculadas aplicando la ley de Ohm, y dependerán por lo tanto de la corriente de base y del valor de la resistencia R que se sitúe en el colector, dando valores mayores cuanto más alta sea esta R, estando el limite fijado, obviamente, por la tensión externa de alimentación.

El resultado de todo ello, será una amplificación de tensión, calculada como la relación entre la tensión, obtenida sobre la resistencia, denominada de carga, y la tensión que se aplicó en la unión base-emisor para generar la corriente que se ha llamado de base.

Formas de polarizar un transistor.

La polarización básicamente tiene dos misiones, primero se trata de fijar un punto de trabajo sobre la recta de carga y segundo, mantener la estabilidad del mismo.

No se consigue nada con un punto de trabajo que sufre variaciones importantes sin modificar a voluntad el tipo de trabajo que del mismo se exige.

Otra cuestión importante sería la que supone utilizar dos pilas, una para cada unión.

En la práctica se recurre a emplear una sóla, de manera que con la incorporación de las resistencias adecuadas puedan polarizarse todos los terminales.

Todavía se plantearía una cuestión más grave si un montaje tuviera varios transistores y cada uno necesitara un par de pilas.

Todo ello obligaría a cambios continuos en el circuito, debido a que las diferentes etapas de los circuitos no tienen el mismo consumo.

Así, una sola fuente de alimentación deberá ser capaz de alimentar el transistor dándole a cada terminal la tensión adecuada, por ello, hoy día se ha generalizado la autopolarización o polarización automática del terminal de control o base, mientras que la batería de alimentación se aplica sobre el circuito de salida de la señal.

En un transistor NPN, la base ha de ser positiva respecto del emisor pero menos positiva que el colector; por ello parece difícil hacerlo con una sola alimentación, pero esto es posible si todos los terminales reciben tensiones positivas siendo mayor la del colector que la de la base y a su vez la de base mayor que la del emisor.

Solución a la que se puede aproximar mediante divisores de tensión a partir de la batería común.

Empleando un transistor PNP la polarización general se haría a partir de una tensión negativa de batería.

Autopolarización de un transistor.

En un montaje de emisor común, la corriente de base determina la aparición de una corriente de colector así como de una tensión entre el colector y el emisor, estableciéndose las condiciones de funcionamiento en reposo del transistor.

Existen muchos procedimientos para lograr esta autopolarización.

Uno de ellos consiste en la colocación de una resistencia que, procedente de la alimentación, da lugar a una caída de tensión para lograr una corriente de base suficiente.

Un grave inconveniente de este circuito es la gran inestabilidad que tiene su punto de polarización frente a las variaciones de temperatura, por ello, en vez de unir directamente la base con la alimentación, se une con el colector para que así queden compensadas dichas variaciones.

De esta manera tiene lugar una realimentación tal que cuando se incrementa la corriente de colector debido a la temperatura, también es mayor la caída de tensión en la resistencia de carga con lo que ser más pequeña la tensión de polarización de la base. Así tiene lugar una realimentación

negativa de señal y se utiliza cuando no sea precisa una ganancia de señal muy grande porque, en este caso, la realimentación negativa la reduciría en gran parte.

Otro paso para mejorar la polarización consiste en no llevar directamente el emisor a masa, sino que se intercala en serie una resistencia de emisor de pequeño valor.

La resistencia R_E introduce una caída de tensión para reducir la tensión de polarización entre la base y el emisor, para cualquier aumento de la corriente de colector debido a las temperaturas, y si baja la V_{BE} inmediatamente se hace más pequeña la I_C.

A pesar de todo, uno de los procedimientos más empleados lo constituye el divisor de tensión entre la alimentación, la base y masa.

De esta forma la base tiene una corriente estabilizada.

A efectos de cálculo, la corriente continua resulta de dividir la tensión de alimentación por la suma de las dos resistencias (R_1 + R_2).

Para la polarización de la base se considera que la corriente que pasa por el divisor de tensión es del 5 al 10 % de la corriente de colector.

Si además del divisor de tensión el transistor va provisto de la resistencia de emisor, da lugar a una disposición práctica de las más abundantes en los montajes.

Esta resistencia de emisor supone mantener constante la tensión en bornes de la misma. Cuando aumenta la temperatura quien primero lo hace es la corriente de colector y, con ello, la corriente de emisor haciéndolo más negativo, entonces aumentará la tensión en bornas de R_E y disminuirá la tensión entre la base y el emisor, con ella se hace menor la corriente de base, ocasionando la disminución de la corriente de colector.

Todo ello da lugar a la estabilización del circuito.

Además de los circuitos externos de regulación, para compensar las variaciones de temperatura es conveniente dotar a los transistores de los oportunos disipadores de calor para que así la realimentación negativa no sea tan necesaria.

El propio disipador evacua el exceso de calor, manteniendo la ganancia del circuito siempre que no sea excesiva la temperatura de la unión, en cuyo caso, se hace necesario recurrir a alguno de los circuitos de autopolarización y estabilización citados.

Insistimos en el efecto de la temperatura.

Un factor muy importante, capaz de desestabilizar y puede que destruir los transistores y que no se suele tener en cuenta, es la temperatura.

Vimos que los semiconductores pueden permitir el paso de corriente, pero necesitan una pequeña ayuda; se les puede dopar, o aumentar la temperatura, para que circulen los electrones de la última capa.

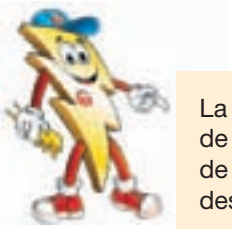
Pues bien, los transistores son uniones P-N, y los materiales tipo P y tipo N son semiconductores dopados, luego van a permitir el paso de la corriente.

Pero, por ser semiconductores, les va a influir mucho una variación de temperatura.

Si tenemos un circuito de emisor común, aparentemente estable, con un punto de funcionamiento definido, se puede producir una gran inestabilidad con un aumento de temperatura.

Esto sucede porque al aumentar la temperatura se incrementa la corriente del colector, aunque la corriente de base permanezca constante.

Este incremento en Ic produce que la caída de potencial en la resistencia Rc sea mayor, luego la tensión Vc va a ser menor.



La consecuencia inmediata de este hecho es que el punto de funcionamiento, Q, se va a desplazar.

Esto ocurriría en el mejor de los casos porque incluso puede llegar a producirse la destrucción del transistor.

La primera solución que se nos puede ocurrir para evitar que se produzca un aumento de la temperatura es colocar un ventilador, o algo que baje la temperatura cuando esta aumente y la mantenga siempre constante.

Pero esto tiene dos inconvenientes, el primero es que resulta muy costoso y el segundo que ocupa mucho espacio, y al diseñar un circuito electrónico siempre se tiende a reducir el espacio al máximo.

La segunda solución es colocar una resistencia R_E en el emisor; al aumentar la corriente del colector, I_C, también se incrementa la corriente del emisor.

Si ponemos una resistencia, se va a producir una caída de potencial, luego la tensión en el emisor va a ser menor.

Acabamos de ver la configuración de emisor común de un transistor, que es la más utilizada en los circuitos electrónicos debido a la ganancia producida tanto en tensión como en corriente.

Además de esta configuración, existen otros dos tipos, base común y colector común.

En la primera, obtenemos una importante amplificación en tensión, aunque la amplificación en corriente es prácticamente despreciable.

En la segunda ocurre al contrario, la amplificación en corriente es muy importante mientras que la amplificación en tensión sea prácticamente despreciable.

Corrientes de fuga.

El inconveniente de la temperatura se debe a las corrientes de fuga, I_{CBO} e I_{CEO}.

La corriente I_{CBO} es la corriente existente entre la base y el colector con el emisor abierto, es decir, cuando este electrodo quede desconectado del circuito.

La corriente I_{CEO} aparece cuando la base está desconectada del circuito.

I_{CBO} es la corriente más pequeña y aparece por la agitación térmica que rompe enlaces covalentes dejando cargas libres o portadores minoritarios dentro del monocristal. Su valor depende de la temperatura, y será tanto mayor cuanto más elevada sea ésta.

Al elevarse la temperatura y aumentar algo I_{CBO} va en aumento la corriente de colector y como la tensión entre el colector y el emisor varía poco, el transistor alcanza pronto la saturación.

Si queda abierto el circuito de base, la corriente de fuga I_{CBO} atraviesa la base y entonces queda amplificada porque ha intervenido la ganancia ß del transistor pasando a ser $ß\ I_{CBO}$.

En estas condiciones, la corriente total de fuga sería la I_{CBO} que al encontrar la base abierta vendría de ésta al emisor y además la corriente I_{CEO}.

Sucede esto porque la corriente I_{CEO} que pasa por el colector, con la base en circuito abierto, está formada por un movimiento de huecos de intensidad I_{CBO} del emisor al colector y además por el movimiento de electrones de intensidad I_{CBO} del colector hacia la base, de ahí que se consideren dos I_{CBO}, la directa y la amplificada.

Poniendo la corriente de fuga I_{CEO}, que es la más importante, en función de I_{CEO}, se tendría:

$$I_{CEO} = I_{CBO} + ß\ I_{CBO} = I_{CBO}\ (1 + ß)$$

La estabilización por temperatura resulta muy conveniente en la configuración de emisor común mientras que en base común y en colector común no resulta tan necesaria.

Estabilización de transistores.

Las corrientes de fuga formadas por los portadores de carga minoritarios llegan a la base y, como consecuencia de ello, se recogen, amplificadas, a la salida del transistor.

La regulación a efectuar consiste en impedir la saturación de portadores en la base y hacer descender I_{CBO}.

Con una resistencia entre la base y el emisor, la corriente I_{CEO} disminuye y con un cortocircuito entre la base y el emisor la corriente total de fuga pasa a ser I_{CEO} cuando queda abierto el circuito base-colector.

La unión base-emisor se comporta como una resistencia con un coeficiente de temperatura negativo puesto que, para una V_{BE} dada, un aumento de temperatura representa una disminución de la resistencia base-emisor y con ella un aumento de I_E y, por consiguiente de I_C, no siendo apenas importante I_{CBO} en estas condiciones.

Para contrarrestar este efecto se procede a incorporar R_E que sin ser muy elevada, presenta un valor más elevado que la de la unión. También se emplean las resistencias de coeficiente negativo de temperatura (NTC) para que disminuyan de valor cuando suba la temperatura.

Estabilización con resistencia NTC.

Al aumentar la temperatura, sea por un aumento en el ambiente o por un exceso de corriente en las uniones del transistor, este calor llega a la resistencia NTC, ésta disminuye su valor, con lo que disminuye la tensión en sus bornes.

La corriente por el divisor aumenta y, por lo tanto, la caída de tensión en R_1 también aumenta. Entonces la base es menos conductora dando lugar a la estabilización del transistor, que además es ayudado por R_E.

A pesar de todo, este método tiene el inconveniente de no seguir una variación lineal con la temperatura, por lo que la estabilización no es perfecta y además tiene lugar con un cierto retraso porque debe transcurrir un determinado tiempo hasta que se calienta y comienza a actuar la resistencia NTC.

Estabilización mediante diodos.

Se consigue mejorar la estabilización incorporando uno o dos diodos en el circuito de polarización, aprovechando que un diodo tiene una unión P-N igual a las existentes en el interior de un transistor.

La resistencia y el diodo actúan formando un divisor de tensión para polarizar la base a partir de V_{CC}.

Por el divisor de tensión pasa una corriente que da lugar a una caída de tensión en el diodo que polariza directamente la unión base-emisor.

Si aumenta la temperatura baja la resistencia de unión y su caída de tensión, bajando la polarización directa y estabilizando el circuito.

La compensación tiene lugar dentro de un amplio margen de temperatura pero superado éste, el diodo no compensa el aumento de I_{CBO} por que la temperatura comienza a crecer de manera constante.

Empleando dos diodos en lugar de uno se consigue una estabilización de I_C prácticamente independiente de la temperatura.

El diodo D_2 y R_1 compensan la variación de resistencia base-emisor con la temperatura y R_2 junto con D_1 hacen lo propio con el efecto de la corriente de fuga I_{CBO}.

Para las bajas temperaturas D_1 es casi un circuito abierto, mientras que la caída de tensión en D_2 polariza la unión base-emisor, pero cuando aumenta la temperatura aparece una corriente inversa en D_1.

La corriente que pasa por él junto a la corriente que pasa por la resistencia R_2 y la I_{CBO}, son las corrientes que intervienen.

Para que el montaje actúe correctamente es necesario que la corriente que pase por D_1 sea mucho mayor que la corriente de fuga.

La polarización de la base es la diferencia entre la caída de tensión en D_2 y en R_2, si aumenta la temperatura lo hace I_{CBO}, disminuyendo la resistencia del diodo D_1 y aumentando la corriente que pasa por éste, lo que da lugar a una mayor tensión en R_1, bajando la polarización directa base-emisor y compensando la subida de I_{CBO}.

En un montaje emisor común puede colocarse un diodo Zener en paralelo con la salida para estabilizar la tensión e indirectamente la temperatura.

La resistencia inversa de un diodo Zener aumenta cuando se incrementa la temperatura de la unión.

Colocándolo en los circuitos, al elevarse la corriente de colector por la temperatura disminuye la tensión de colector y al aumentar el Zener su resistencia ocasiona la disminución de la corriente de colector, restableciendo el equilibrio.

Amplificación.

Clases de funcionamiento de un amplificador.

Una vez polarizado un amplificador queda determinado el punto de trabajo sobre las curvas características.

Tiene un consumo determinado para una tensión concreta.

El punto de trabajo da lugar a un comportamiento estable del amplificador en ausencia de señal a la entrada del mismo.

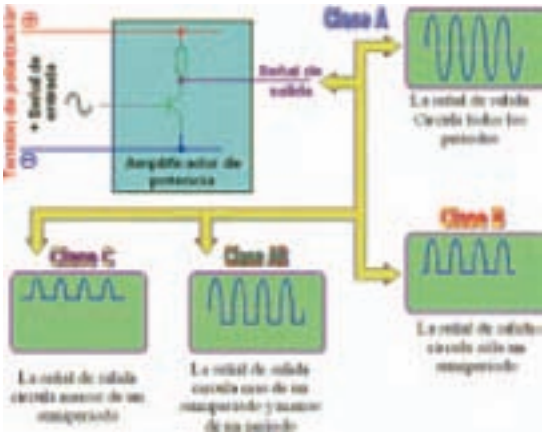
Sería, por decirlo de otro modo, el reflejo de la corriente de salida en relación a la polarización dada a la entrada, ambos valores son continuos y constantes.

Aplicando una señal variable a la entrada del amplificador, la corriente de salida varía entre un margen concreto, tomando como valor central de la variación el correspondiente al punto de trabajo determinado por la polarización.

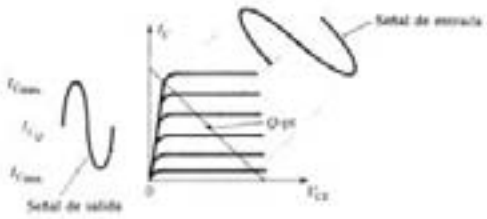
El control de un transistor se realiza mediante I_B mientras que I_C es la de salida, la que, al atravesar la carga, ocasiona ganancia de tensión, corriente o potencia del transistor.

Según el punto de trabajo determinado por la polarización, existen diferentes tipos de funcionamiento.

En cualquier caso, se considera que el transistor trabaja en régimen lineal, es decir, en la zona lineal de sus características de salida.



Amplificación clase A.



El estudio de los amplificadores se inicia a partir de la relación de transferencia del transistor, es decir, la curva que da I_C en función de I_B.

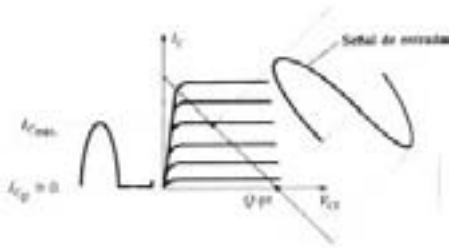
La polarización dada al transistor, en este caso debe ser aquella que sitúe el punto de trabajo (o de reposo sin señal), en el centro del tramo recto de la característica de colector de tal manera que la amplitud de la señal aplicada a la entrada, no llegue a superar esta zona rectilínea para que a la salida se disponga de una señal amplificada y exactamente igual a la de entrada, esto es, sin distorsión.

La señal alterna dibujada, que puede ser cualquier tipo de señal variable recibida a la entrada, se superpone sobre la polarización fija dada a la base que da lugar al punto de trabajo.

Esta señal es amplificada por el transistor dando a la salida una señal mucho mayor y el hecho de evitar que ésta quede distorsionada significa que el tipo de trabajo sea el de clase A.

El rendimiento de este tipo de configuración proporciona un valor por debajo del 50 % entendiendo como tal el cociente entre la potencia suministrada por el amplificador y la potencia aportada por la fuente de alimentación.

Amplificación clase B.



Si la polarización fija dada entre la base y el emisor es cero, I B será nula, y el transistor, sea PNP o NPN, solamente conducirá cuando la unión base-emisor de entrada quede polarizada directamente, dando como resultado que el paso de la corriente a la entrada va a tener lugar en un semiciclo de la señal, puesto que en el otro quedará bloqueado. Un transistor NPN sólo aceptará los semiciclos de señal que hagan el emisor negativo respecto de la base, y para un PNP, el emisor debe ser más positivo que la base.

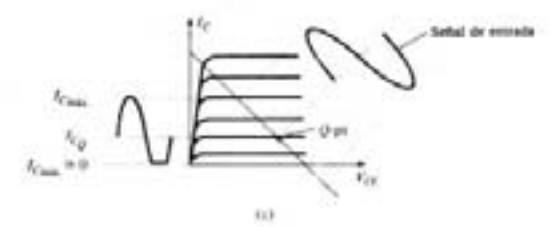
En cualquiera de los casos, solamente existirá corriente de colector en un semiciclo de la señal.

Pero hay algo más, existirá una cierta distorsión debido a que los puntos más cercanos al cero del eje de señal resultan amplificados en parte dentro del tramo curvo de respuesta, e incluso se pierde una parte del semiciclo porque aún siendo I_B cero, existe una pequeña I_C, y al no pasar la curva por el origen supondrá un ligero recorte de esta señal.

A efectos de potencia es el tipo de polarización que proporciona un mayor rendimiento, pudiendo alcanzar el 78 % utilizándose mucho cuando no sea obstáculo la pérdida de la mitad de la señal.

En la práctica se recurre a este tipo de polarización cuando se trabaja con montajes complementarios en etapas de salida, de este modo los dos transistores amplifican por separado los dos semiciclos de la señal, y a la salida se obtiene una potencia importante.

Amplificación clase AB.



De acuerdo a estas siglas que sirven de referencia a este tipo de amplificación, reúne unas propiedades de la clase A y otras de la clase B, por quedar situada en un punto intermedio al de ambas polarizaciones.

La polarización fija queda dentro de la zona recta, pero cerca del origen.

Mediante este sistema, a partir de muy pequeñas amplitudes de señal, queda una parte del semiciclo fuera de la amplificación.

La corriente variable de salida reproduce a la de entrada durante un ángulo comprendido entre 180 y 360º pero sin llegar a este valor, de ahí que su rendimiento quede comprendido entre el 60 y 78 %

Se recurre a este tipo de circuito en etapas de salida para amplificaciones de baja frecuencia, en cuyo caso se procura que el transistor trabaje en la clase AB pero muy cerca de la clase B, lo que proporciona una señal con menos distorsión que la B, pero aprovechando al máximo su elevado rendimiento.

La clase B introducía una ligera distorsión debida al codo inferior de la característica, por lo que es necesario recurrir a una pequeña polarización adicional base-emisor cuando los transistores deban funcionar en montajes tipo contrafase.

Amplificación clase C.

Este tipo de polarización se da cuando la unión de entrada queda polarizada inversamente y, en consecuencia, la conducción solamente tendrá lugar cuando el semiciclo de la señal tienda a favorecer la polarización directa de la mencionada unión, superando el valor inverso fijado en un principio.

El ángulo de conducción resulta inferior a 180º, significando que la distorsión será muy grande comparada con los otros tipos de polarización.

Como contrapartida su rendimiento es del 100 % aunque éste no es aprovechable en aplicaciones de audiofrecuencia por cuanto la gran distorsión impediría tener resultados con fidelidad en el sonido.

La distorsión en los amplificadores.

El concepto de distorsión es de gran importancia para describir el comportamiento de las señales a la salida de los amplificadores.

Prácticamente, la distorsión interesa especialmente en los circuitos de alta fidelidad, porque en los de tipo industrial se renuncia al aspecto de la señal en beneficio de un elevado rendimiento en la mayoría de las ocasiones.

La distorsión resulta verdaderamente importante en los circuitos de alta potencia y en especial cuando las ganancias de las etapas han de ser elevadas.

A la hora de adquirir un amplificador, es uno de los datos más importantes a tener en cuenta, ya que además de buscar una potencia sonora es preciso que la reproducción del sonido tenga las mismas características (fidelidad) que la señal aplicada a la entrada del amplificador.

Amplificadores de potencia.

El propósito del amplificador de potencia es proporcionar una tensión de salida sin distorsión y una baja resistencia de carga.

En la práctica, un sistema puede consistir en varias etapas de amplificación de tensión y la última de las cuales suele ser un amplificador de potencia.

La carga alimentada por este amplificador de potencia puede ser un altavoz, un excitador, un solenoide o algún dispositivo análogo.

La entrada al sistema es una serie que se amplifica a través de etapas de ganancia de tensiones.

La salida de las etapas de ganancia de tensión tiene la suficiente amplitud para alimentar el amplificador de potencia de la salida.

La representación bloques de un amplificador de audio puede ser la mostrada en la figura:

En la figura el transductor produce una señal muy débil, del orden de milivoltios, las dos primeras etapas amplifican esta señal de audio.

La tercera etapa genera una gran señal, de algunos voltios a decenas de voltios y debe producir suficiente corriente para manejar la baja impedancia del altavoz.

El amplificador de potencia debe operar en forma eficiente y debe ser capaz de manejar valores altos de potencia ya que deben trabajar con tensiones e intensidades de gran amplitud. (La potencia por lo regular es de unos cuantos vatios a cientos de vatios).

Los factores del amplificador de potencia que mayor interesa presentar son:

Eficiencia en potencia del circuito (rendimiento).

Máximo valor de potencia que el circuito es capaz de manejar.

Acoplamiento de impedancia en relación con el dispositivo de salida.

Con respecto al rendimiento debe ser lo mayor posible para que el amplificador entregue una señal de la máxima potencia posible a cambio de la potencia que toma de la fuente de alimentación en forma de corriente continua.

El rendimiento esta dado por:

$$\eta\% = \frac{\text{Potencia de la señal entregada a la carga (AC)}}{\text{Potencia suministrada por la fuente (DC)}} \times 100\%$$

El rendimiento indica el valor de potencia de corriente continua de entrada que alcanza la salida en forma de potencia de corriente alterna en la carga.

Indica también la cantidad que no alcanza la carga y que debe disiparse en forma de calor por el transistor.

El rendimiento depende del punto de operación establecido.

Ejemplo.

La potencia de la salida del amplificador es 8W, la fuente de alimentación genera 16V y el amplificador consume 1A.

Determinar cual es el rendimiento del amplificador.

La potencia de corriente continua que entra al amplificador es

P = VI = 16V x 1A =16W

por tanto, según la ecuación, se tiene que:

$$\eta\% = \frac{8\,W}{16\,W} \times 100\% = 50\%$$

Este rendimiento indica que el 50% de la potencia de corriente continua de entrada alcanza la salida en forma de potencia de corriente alterna en la carga.

Hemos visto cómo se puede llegar a conseguir una importante potencia de salida gracias a la intervención de una o varías etapas de amplificación.

Es interesante conocer cómo interactúan estas etapas...

Acoplamiento entre etapas.

Los circuitos de media y baja potencia admiten básicamente tres modalidades de acoplamiento:

Acoplamiento directo.

Las diferentes etapas están enlazadas directamente.

Presentan una gran dificultad de diseño ya que están interrelacionados los puntos de funcionamiento de cada uno de los transistores de forma que en la polarización de cada uno interviene el anterior y el siguiente.

Tienen el inconveniente adicional de que son sensibles a las derivas térmicas o de cualquier otro tipo que se produzcan, que son también amplificadas, por lo tanto exigen unas precauciones muy rigurosas al realizarlos.

Su gran ventaja es que son capaces de trabajar desde frecuencia cero (corriente continua) lo que les hace atractivos en aquellas aplicaciones en que las variaciones de señal son muy lentas.

Acoplamiento RC por resistencia y condensador.

Es uno de los métodos de acoplamiento más empleados por su efectividad aunada a su bajo coste, mucho más que el acoplamiento directo.

En realidad, el acoplamiento entre las etapas se efectúa por el condensador, puesto que la resistencia actúa como carga de la primera etapa.

El condensador impide que el valor de tensión continua que acompaña a la señal de salida pueda saturar la base del transistor siguiente.

Debe ser de gran capacidad para presentar la menor reactancia posible al paso de las componentes variables.

Puede utilizarse este acoplamiento en las etapas montadas en base común y en colector común, aunque este último caso no es recomendable debido a la débil potencia que suministra a la salida.

De todos modos, no es un acoplamiento inductivo.

Una bobina en lugar de la resistencia permite obtener un elevado rendimiento en potencia pero atenúa las bajas frecuencias, ya que estas serían derivadas a masa a través de ella.

Acoplamiento por transformador.

Las etapas amplificadoras en las que no importe demasiado el coste del equipo y en las que, además del acoplo entre las mismas, se pretende adaptar las impedancias para conseguir una mayor potencia a la salida de cada paso, recurren a la utilización de transformadores.

El transformador modifica los valores de tensión y de corriente de manera que antes y después del transformador se mantiene

casi constante la potencia, adaptando además los valores de tensión y corriente en cada circuito.

No existirá corriente continua de polarización a la salida del transformador porque este actúa solamente para la señal que sufre variaciones con el tiempo.

Los transformadores de acoplamiento deben calcularse para una determinada frecuencia de trabajo o ser ajustables para así poder adaptar en cualquier caso las impedancias.

Las impedancias de salida son muy elevadas porque la unión de colector tiene polarización inversa, en consecuencia, el transformador tiene en estos casos menos espiras en el secundario que en el primario porque la impedancia de entrada de estas etapas es baja comparada con la de salida del paso anterior.

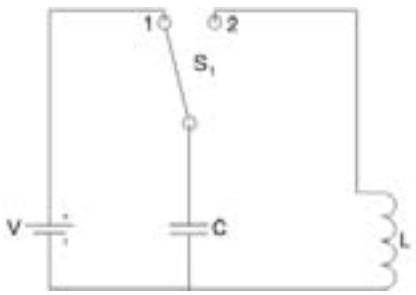
La respuesta en frecuencia no es tan buena porque las inductancias que forman los devanados presentan diferente oposición a las distintas frecuencias.

El acoplamiento sintonizado entre etapas se realiza a través de un circuito resonante.

Por lo tanto, su ganancia será elevada para una determinada frecuencia o margen de frecuencias, bajando sensiblemente fuera de esta banda.

Para el acoplamiento se utiliza un sistema de bobina y condensador o un transformador con o sin núcleo magnético que separa los niveles de continua, realizándose la sintonía con un condensador acoplado al primario, secundario o ambos.

El transistor como oscilador.



Un oscilador se compone de cuatro partes fundamentales, una fuente de alimentación, un amplificador, un generador de señal y una red de alimentación.

F. de alimentación Amplificador G. de señal.

El generador de señal se conoce con el nombre de circuito tanque, llamado así por su capacidad de almacenar energía eléctrica y magnética, ya que sus componentes son tales como bobinas y condensadores.

Circuito tanque.

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

Cuando C está totalmente cargador, 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, esto se llama amortiguación.

Para reducir este efecto, en los osciladores de radiofrecuencia se obliga a un transistor que se encuentra cortado a conducir durante un breve periodo de tiempo, consi-

guiendo así volver a reponer la energía perdida y que no se produzca esta amortiguación.

Existen dos modelos básicos de osciladores:

- Oscilador Hartley
- Oscilador Colpitts

Funcionamiento del Oscilador Hartley.

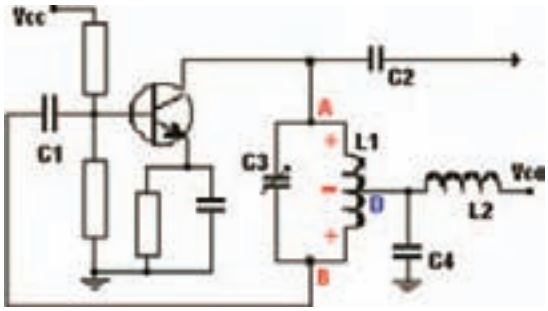
Este tipo de oscilador es muy utilizado en receptores de radio con transistores adaptándose con facilidad a una gran gama de frecuencias.

Para su funcionamiento este circuito utiliza una bobina con derivación central.

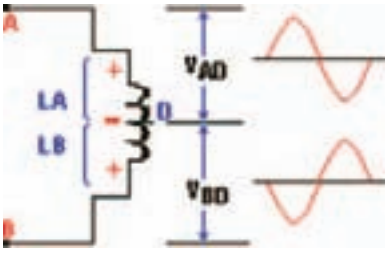
Analizando el dibujo se ve que el punto de derivación D, de la bobina L_1, estará puesto a tierra para corriente alterna (a la frecuencia de oscilación) a través del condensador C_4, lográndose de esta manera que los extremos A y B de la bobina estén 180° fuera de fase (funciona como un inversor).

El extremo B se realimenta a la base del transistor a través de C_1, haciendo que éste (el transistor) cambie de estado, esto a su vez cambia las polaridades en los extremos de la bobina, repitiéndose el proceso y produciéndose así la oscilación.

La función de la bobina L_2 es de choque de R.F. y evita que la señal del oscilador pase a la fuente de alimentación.



Analizando el funcionamiento de la bobina con derivación y tomando en cuenta que la conexión D (derivación central) está puesta a tierra a través del capacitor C4 las formas de onda en los extremos de la bobina serán:

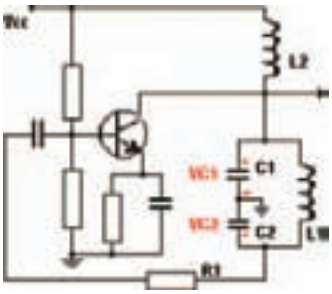


La frecuencia de oscilación de este tipo de oscilador está dada por:

$$f_O = 1 / [2\pi \times (LC)^{1/2}].$$

Notas:

- C_3 puede ser un condensador variable para ajustar la frecuencia de oscilación
- El exponente 1/2 equivale a una raíz cuadrada



Funcionamiento del oscilador Colpitts.

Este tipo de oscilador es muy utilizado en generadores de frecuencia de alta calidad y se usa principalmente para obtener frecuencia por encima de 1 Mhz.

Su estabilidad es superior a la del oscilador Hartley.

Para poder lograr la oscilación este circuito utiliza un divisor de tensión formado

por dos condensadores: C1 y C2.

De la unión de estos condensadores sale una conexión a tierra.

De esta manera la tensión en los terminales superior de C1 e inferior de C2 tendrá valores opuestos.

La realimentación positiva se obtiene del terminal inferior de C2 y es llevada a la base del transistor a través de una resistencia y un condensador

La bobina L2 (choque) se utiliza para evitar que la señal alterna no pase a la fuente Vcc.

Este oscilador se utiliza para bandas de VHF (Very High Frecuency), frecuencias que van de 1 Mhz a 30 Mhz.

A estas frecuencias sería muy difícil utilizar el oscilador Hartley debido a que las bobinas a utilizar serían muy pequeñas.

La frecuencia de oscilación de este tipo de oscilador está dada por:

$$f_O = 1 / [2\pi \times (LC)^{1/2}]$$

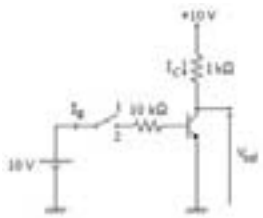
Donde:

$$C = C_1 \times C_2 / [C_1 + C_2]$$
$$L = L_1$$

Notas:

- R1 puede ser un potenciómetro para ajustar la magnitud de la señal de la salida que se realimenta a la entrada.
- El exponente 1/2 equivale a una raíz cuadrada.

El transistor como conmutador.



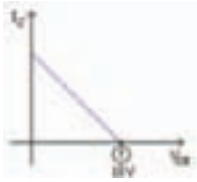
Supongamos el circuito, adecuadamente polarizado para trabajar como conmutador.

Con el interruptor abierto, no hay intensidad de base, luego no puede haber Ic, por lo que el transistor no conduce, en la resistencia de salida no cae tensión y la Vsal será igual al V de alimentación (10 V).

$I_B = 0$ $I_C = 0$ CORTE
(el transistor no conduce)

Estamos en el punto 1 de la recta de carga: en la práctica si que hay una pequeña corriente de fugas, por lo que la V_{SAL} es un poco menor de 10 V.

Para electrónica digital no tiene mucha

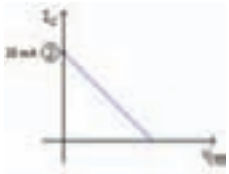


importancia ese pequeño margen, por lo tanto se desprecia.

Si ahora cerramos el interruptor, tendremos una I_B fuerte, lo cual por el efecto transistor provocará una gran Ic.

El transistor conduce y toda la tensión de la malla de salida cae en la resistencia de colector, por lo que en la salida tendremos prácticamente 0 voltios (en realidad 0,7 voltios).

Estamos en el punto 2 de la recta de carga.



Consideración…

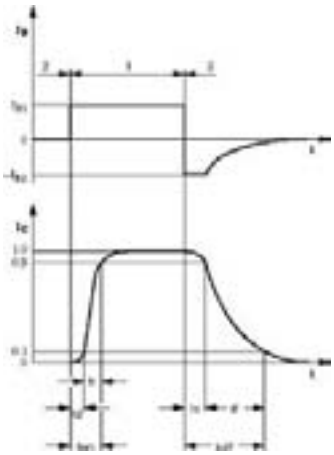
El transistor de potencia es usado con frecuencia en funciones de conmutación donde se encarga de dejar pasar o no energía desde una fuente eléctrica a una carga.

Interesa por tanto que su comportamiento sea los más cercano posible al inte-

rruptor ideal lo cual implica conmutación instantánea, esto es tiempos de conmutación despreciables y perdidas de potencia en el transistor también nulas.

En la práctica deben considerarse (para diferentes circuitos, diferentes cargas eléctricas y diferentes señales de control), los tiempos de encendido ton (tiempo que necesita el transistor bipolar para pasar de corte a saturación) y los tiempos de apagado toff que es el tiempo que necesita el transistor para pasar de saturación a corte.

Como se aprecia en la figura cada uno de esos tiempos ton y toff a su vez se descomponen en: td tiempo de retardo, tr tiempo de subida, tiempo de almacenamiento ts y tiempo de caída (las siglas vienen del igles Delay, Rise, Storage y Fall).



Midiendo las tensiones y corrientes en el transistor también se calculan las perdidas de potencia en los diferentes casos.

El par Darlington

En electrónica, **el transistor Darlington** es un dispositivo semiconductor que combina dos transistores bipolares en tándem (a veces llamado par Darlington) en un único dispositivo.

La configuración (originalmente realizada con dos transistores separados) fue desarrollada por el ingeniero de los Laboratorios Bell Sidney Darlington.

La idea de poner dos o tres transistores sobre un chip fue patentada por él, pero no la idea de poner un número arbitrario de transistores que originaría la idea moderna de circuito integrado.

Esta configuración sirve para que el dispositivo sea capaz de proporcionar una gran ganancia de corriente (parámetro _ del transistor) y, al poder estar todo integrado, requiere menos espacio que dos transistores normales en la misma configuración.

La ganancia total del Darlington es el producto de la ganancia de los transistores individuales.

Un dispositivo típico tiene una ganancia en corriente de 1000 o superior.

También tiene un mayor desplazamiento de fase en altas frecuencias que un único transistor, de ahí que pueda convertirse fácilmente en inestable.

La tensión base-emisor también es mayor, siendo la suma de ambas tensiones base-emisor, y para transistores de silicio es superior a 1,2V.

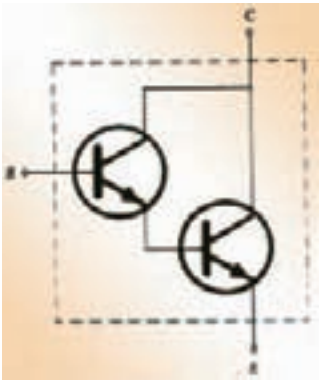
Parámetro	Descripción
t_D	Tiempo transcurrido desde el 90% IB hasta que reacciona al 10% IC. Es lo que tarda en cargarse la base para hacer reaccionar la corriente de colector. (time delaying)
t_R	Tiempo de subida desde 10% IC hasta el 90% IC. (time rise)
t_{ON}	Tiempo de encendido del transistor, es la suma de tr más td.
t_S	Tiempo que le lleva llegar al 90% IC comenzando desde la caída al 90% IB. Es el tiempo que tarda en vaciarse las cargas almacenadas en la base. (time storing)
t_F	Tiempo de bajada desde el 90% IC hasta el 10% IC. (time fall)
t_{OFF}	Tiempo de apagado del transistor, es la suma de ts más tf

La beta de un transistor o par Darlington se halla multiplicando las de los transistores individuales.

La intensidad del colector se halla multiplicando la intensidad de la base por la beta total.

$$\beta=\beta 1\cdot\beta 2$$

$$I_C = I_B\cdot\beta$$



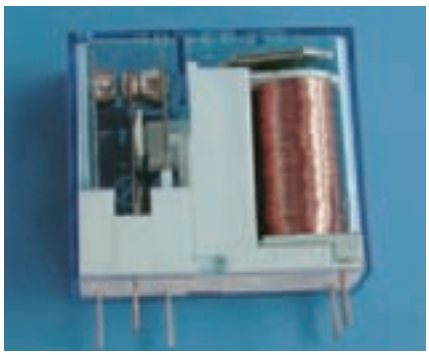
Relés

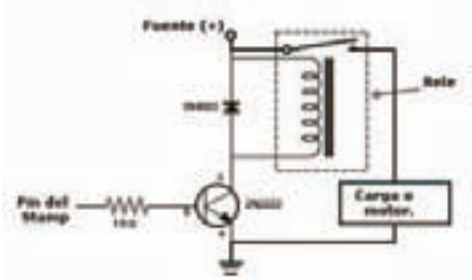
Son interruptores controlados por una pequeña corriente eléctrica.

Según el tipo relé puede ser energizado con una corriente muy pequeña, por lo que pueden ser disparados directamente por el transistor.

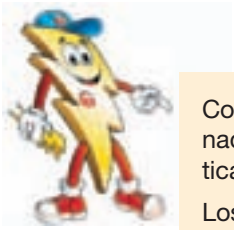
(Asegurarse que no se sobrepasen los 8 miliamperios y que está conectado el diodo de protección.)

Los circuitos que el relé active dispondrán de una fuente de alimentación separada del circuito del transistor, entregando la corriente necesaria para el funcionamiento del dispositivo a controlar.





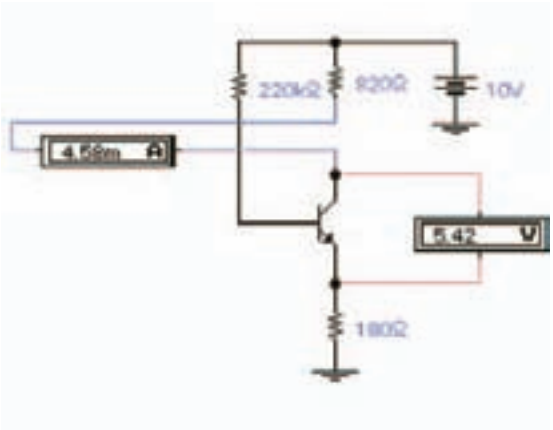
Ahora… ¡Vamos al laboratorio!



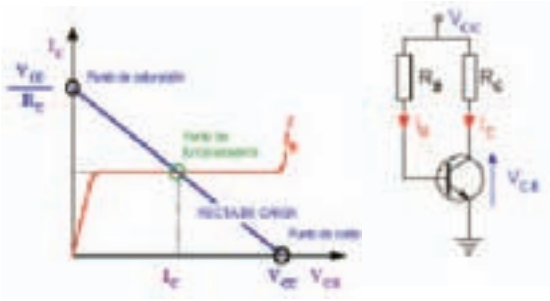
Con la intención de fijar las ideas, nada mejor que ponerlas en practica.

Los montajes que aparecen a continuación nos van a acercar más al conocimiento de los fenómenos descritos.

Polarización fija con resistencia de emisor.

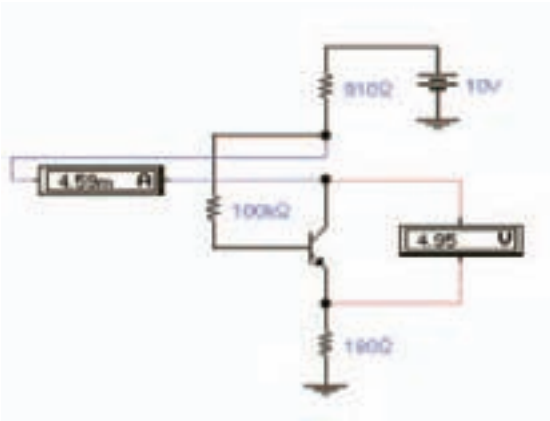


Obtención del punto Q:



Ecuación de corrientes:
$I_E = I_C + I_B$
Malla de colector:
$V_{CC} - V_{CE} = I_C R_C + (I_C + I_B) R_E$
Malla de base:
$V_{CC} - V_{BE} = I_B R_B + (I_C + I_B) R_E$
Ecuación del transistor:
$I_C = \beta I_B$ (suponemos $\beta = 120$)
De la malla de base:
$I_B = 38{,}87$ microamperios.
De la ecuación del transistor:
$I_C = 4{,}58$ miliamperios.
De la malla de colector:
$V_{CE} = 5{,}42$ voltios.

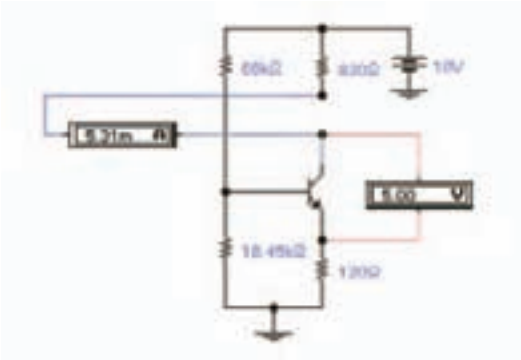
Polarización por realimentación de colector.



Obtención del punto Q:

Ecuación de corrientes:
$I_E = I_C + I_B$
Malla de colector:
$V_{CC} - V_{CE} = I_R + (I_C + I_B) R_E$ (R = 810 Ω)
Malla de base:
$V_{CC} - V_{BE} = I_R + I_B R_B + (I_C + I_B) R_E$
Ecuación del transistor:
$I_C = \beta I_B$ (suponemos $\beta = 110$)
De la malla de base:
$I_B = 42{,}53$ microamperios.
De la ecuación del transistor:
$I_C = 4{,}58$ miliamperios
De la malla de colector:
$V_{CE} = 4{,}95$ voltios.

Estabilización por resistencia de emisor (R_E) y polarización por divisor de tensión en base (autopolarización).



El mecanismo eléctrico de este circuito es muy eficaz y se desarrolla del siguiente modo:

Si suponemos un aumento de I_C, la caída de tensión en R_E aumenta y contrarresta el aumento de la corriente Ic porque se produce un descenso en la tensión de polarización de base V_{BE}.

R_1 y R_2 son las resistencias que hacen variar el punto de trabajo Q y consecuentemente la zona de trabajo.

Obtención del punto Q:

Ecuación de corrientes:
$I_E = I_C + I_B$
Malla de colector:
$V_{CC} - V_{CE} = I_C R_C + (I_C + I_B) R_E$
Ecuación de tensión en base:
$V_{BB} = V_{CC}\ R_2 / (R_1 + R_2)$; $R_B = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$
Malla de base:
$V_{BB} - V_{BE} = I_B R_B + (I_C + I_B) R_E$
Ecuación del transistor:
$I_C = ß\ I_B$ (suponemos ß = 110)
De la malla de base:
I_B = 55,11 microamperios.
De la ecuación del transistor:
I_C = 5,31 miliamperios
De la malla de colector:
V_{CE} = 5 voltios.

Amplificación

Una vez polarizado el transistor para que trabaje en una zona determinada, introduciremos una señal alterna en su entrada para amplificarla.

La amplificación consiste en aumentar la amplitud de una señal eléctrica, por tanto en la salida del amplificador tendremos una señal idéntica a la de la entrada pero de mayor amplitud.

Dependiendo de donde se sitúe el punto de trabajo Q tendremos los siguientes tipos de amplificadores:

Amplificador en clase A: El punto de trabajo está situado en la zona activa.

Amplificador en clase B: El punto de trabajo se sitúa en el límite de la zona activa.

Sólo amplifican el semiciclo positivo de la señal de entrada, por lo cual se necesitarán dos transistores para amplificar ambos semiciclos (positivo y negativo).

Amplificador en clase AB: El punto de trabajo está situado en la parte más baja de la zona de conducción.

Amplificador en clase C: El punto de trabajo se sitúa en la zona de corte.

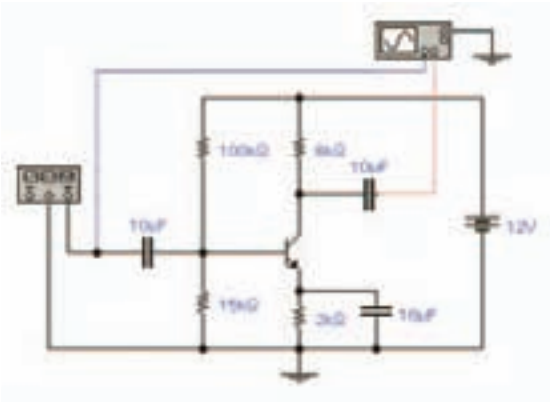
También aquí se necesitan dos transistores.

Si atendemos a la magnitud a amplificar podemos también hacer la siguiente clasificación:

- Amplificador de tensión.
- Amplificador de corriente.
- Amplificador de potencia.
- Amplificador de continúa.
- Amplificador de baja frecuencia.
- Amplificador de alta frecuencia.
- Amplificador de vídeo frecuencia.

Nos centraremos exclusivamente en los amplificadores de tensión clase A.

Amplificador en emisor común.



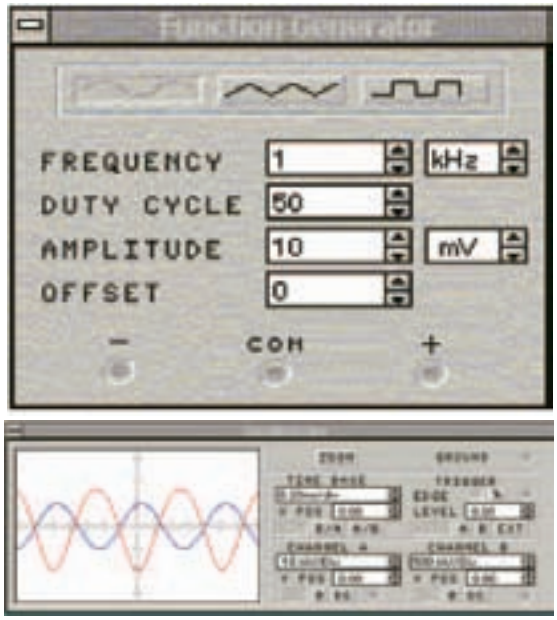
Al circuito ya polarizado en zona activa se le ha conectado un condensador en la entrada y otro en la salida (condensadores de acoplo).

De este modo se impide el paso de la corriente continua procedente de ó hacia otra etapa anterior ó posterior respectivamente.

El condensador en paralelo con la resistencia de emisor (condensador de desacoplo) evita la disminución de la ganancia

debida a la presencia de la resistencia de emisor, que es necesaria para evitar la avalancha térmica.

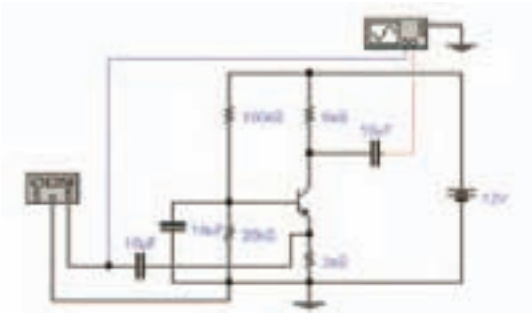
En la base se aplica una señal de entrada senoidal de **10 mV (Ve = 10 mV)**, obteniéndose en el colector la señal de salida, también senoidal, de amplitud **1V (Vs = 1V)**; la ganancia es de 100, pues **Gv = Vs/Ve = 1000 mV/10 mV = 100.**



Tanto la ganancia de tensión como de intensidad son de valor medio, siendo la impedancia de entrada pequeña y la impedancia de salida media.

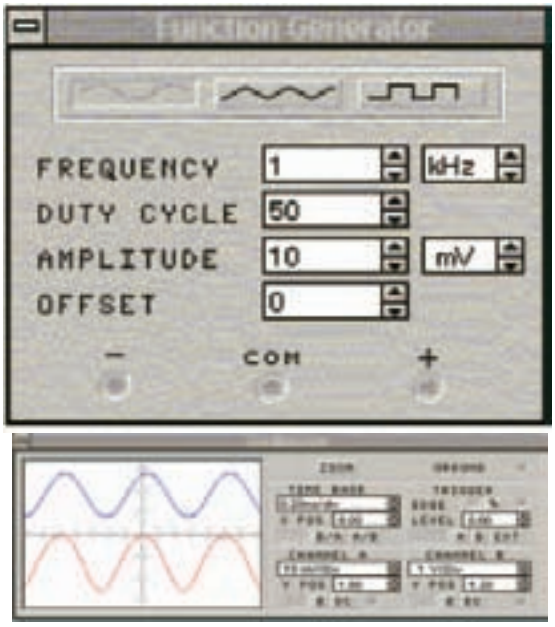
Debido a las características de sus ganancias, su aplicación más común es como amplificador de medias y bajas frecuencias, y como la diferencia entre las impedancias no es muy elevada se puede emplear como amplificador de varias etapas ya que permite un relativo buen acoplo entre ellas.

Amplificador en base común.



También como en el caso del emisor común el circuito lleva los condensadores de acoplo y desacoplo.

Aquí la entrada es por el emisor y la salida se obtiene en el colector.

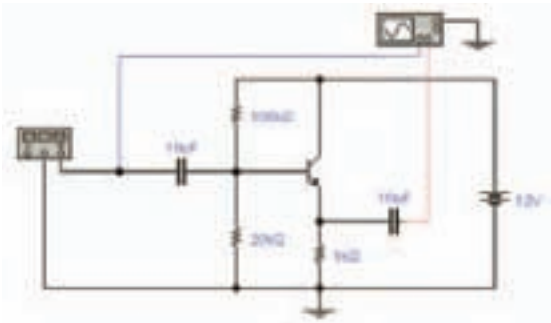


Con **Ve = 10 mV** se obtiene 1 voltio y la ganancia de tensión será de 100.

En este tipo de disposición, la ganancia de tensión es elevada (normalmente más grande que en caso del emisor común), sin embargo la ganancia de corriente es menor (aunque próxima) o igual a la unidad.

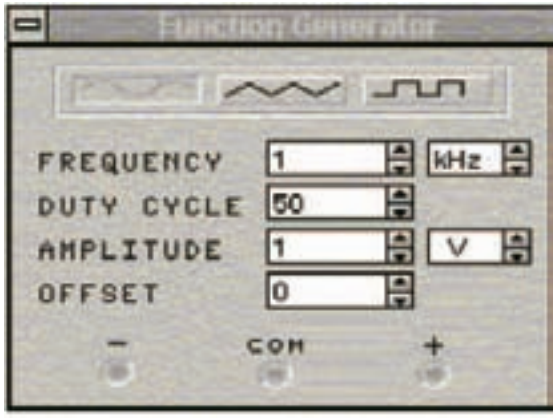
La impedancia de entrada es pequeña y la de salida grande. Su aplicación más común es como amplificador en altas frecuencias.

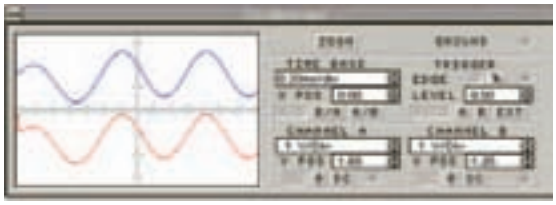
Amplificador en colector común.



La señal a amplificar va conectada a la base del transistor y la salida se toma en el emisor.

En nuestro circuito $V_E = 1_V$, $V_S = 1_V$, consecuentemente la ganancia de tensión será $G_V = 1$.





La ganancia de tensión es menor o igual a uno, la ganancia de corriente es alta, la impedancia de entrada es alta y la de salida baja.

Debido a las características de sus impedancias, su aplicación típica es como adaptador de impedancias.

Amplificadores de salida.

Los amplificadores de salida, también denominados de potencia, tienen como misión entregar a la carga una señal de potencia grande con la mínima distorsión y el máximo rendimiento.

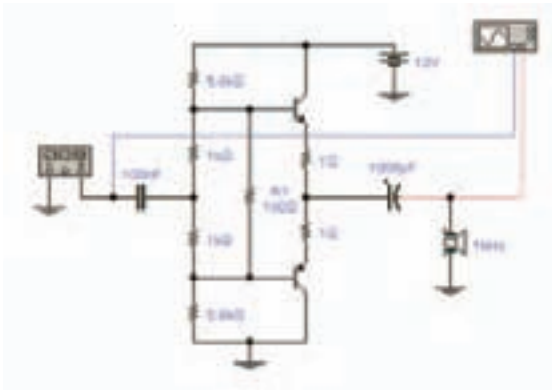
La impedancia de salida ha de ser pequeña puesto que la carga suele ser un altavoz (4 u 8 ohmios); así pues, estos amplificadores suelen ser en colector común ya que su ganancia de intensidad es muy elevada y esto hace que la intensidad de salida sea grande, lo suficiente como para mover la membrana del altavoz.

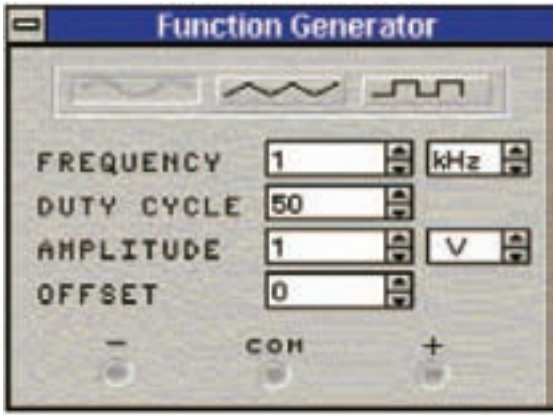
Existen diversos montajes tales como amplificador en emisor común con acoplo de salida mediante transformador, amplificador con salida en push-pull y amplificador con salida en simetría complementaria, en el que nos centraremos a continuación.

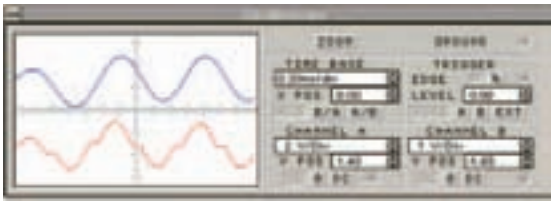
Amplificador con salida en simetría complementaria

El circuito consta de dos transistores de características idénticas pero de diferente tipo, uno PNP y otro NPN (de aquí su nombre de complementario).

Están polarizados en clase B por lo que cada transistor conducirá en semiciclos opuestos de la señal de entrada.





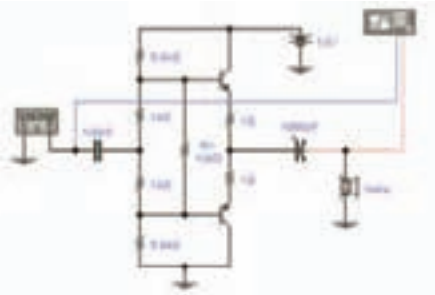


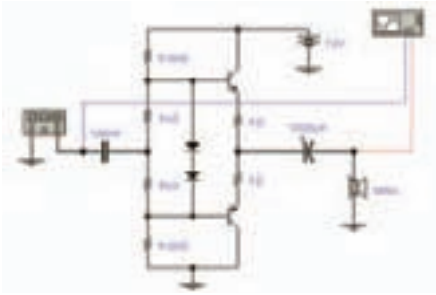
Como se puede observar en el osciloscopio, la señal de salida presenta una distorsión llamada distorsión de cruce.

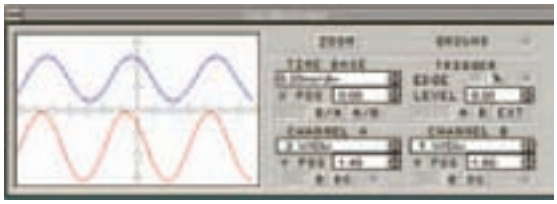
Esta distorsión es un tipo más de las que puede haber en cualquier circuito electrónico, siendo las más comunes (y todas ellas indeseables) las de frecuencia, fase o amplitud.

La distorsión de cruce se produce porque al estar polarizado en clase B (muy cerca de la zona de corte) los transistores no empiezan a conducir hasta que haya una tensión de unos 0,6 voltios entre base y emisor.

Para evitar esta distorsión se polariza a los transistores en clase AB mediante el aumento del valor de la resistencia R_1, o disponiendo dos diodos en serie tal como podemos apreciar en el circuito siguiente; así se produce una caída de tensión igual a la umbral de las uniones base emisor de los transistores, por lo que la distorsión de cruce desaparece (ver señal en el osciloscopio).





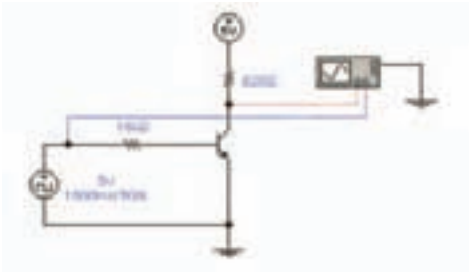


El transistor en conmutación.

Anteriormente hemos descrito los estados del transistor (corte, activa y saturación) y las configuraciones.

Sin embargo, en una parte de la Electrónica (la electrónica digital) no importan los valores de tensión exactos, sino solamente los estados alto o bajo (exista tensión o no exista tensión).

Estos estados ocurren cuando el transistor está en corte o en saturación, y el cambio de un estado a otro se denomina conmutación.



La señal de entrada es una señal cuadrada que varía de 0 a 5 voltios.

Cuando lleguen los 5 voltios el transistor entra en saturación, con lo cual la tensión en la salida será muy próxima a cero.

Aquí ya no se cumple que $I_C = \beta I_B$, pues aunque aumente la corriente de base no aumenta la corriente de colector.

En el circuito tenemos:

$$I_{SAT} = V_{CC}/R_C = 5V/620 = 8{,}06\ \mu A.$$
$$I_{BSATMÍN} = I_{CSAT}/\beta$$

aquí estamos en el límite entre activa y saturación.

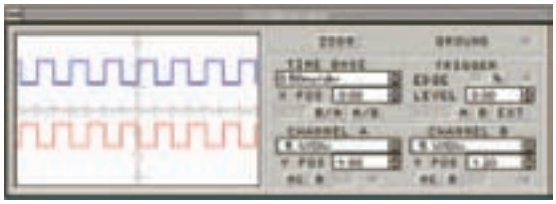
$$I_{BSATMÍN} = I_{CSAT}/\beta = 8{,}06\mu A/120 = 67{,}20\ \mu A.$$

Para garantizar la saturación,

$$I_{BSAT} > 3 I_{BSATMÍN} \text{-->} I_{BSAT} > 3x67,\ 20 = 201{,}60\ \mu A.$$
$$R_{BMÁX} = (V_E - V_{BE})/I_{BMÍN} = (5-0{,}6)/201{,}60 = 21\ k\Omega$$

Cuando la señal de entrada tenga el valor de cero voltios, el transistor entrará en corte y la tensión de la señal de salida será igual a la tensión de alimentación

5 voltios ---> $V_{CE} = V_{CC} = 5$ V.



Ciertos circuitos utilizan el transistor en conmutación, como son los denominados multivibradores u osciladores de señal no senoidal.

Podemos distinguir tres tipos:

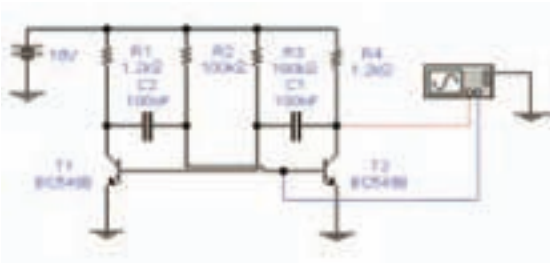
- Multivibrador astable.
- Multivibrador monoestable.
- Multivibrador biestable.

Multivibrador astable.

Este circuito es capaz de generar por sí solo una señal cuadrada a su salida.

El circuito es totalmente simétrico y está constituido por dos transistores que cuando uno está en corte, el otro está en saturación y viceversa.

Presenta dos estados inestables pues en ninguno de ellos permanece indefinidamente. Este circuito no necesita ningún tipo de pulso (disparo) para que empiece a funcionar, pues lo hace de forma automática debido a la carga y descarga de los condensadores.



Al conectar la alimentación, aunque los transistores sean del mismo tipo y denominación siempre habrá una ligera variación entre ellos y uno de ellos empezará a conducir antes que el otro.

Si, por ejemplo, suponemos que comienza a conducir antes el transistor T_1, éste entrará en saturación y T_2 en corte y si tomamos la salida por ejemplo en el colector de T_2 tendremos V_{CC}.

C_1 se irá cargando a través de R_4 y de la tensión base emisor de T_1 (C_2 ya estaba cargado), así que mientras C_1 se va cargando, C_2 empieza a descargarse por medio de R_2 y la tensión colector emisor de T_1.

Esto hace que T_1 pase al corte (circuito abierto) y T_2 a saturación (cortocircuito) y en salida tendremos tensión nula.

En este momento C_2 empezará a cargarse por medio de R_2 y tensión base emisor de T_2 mientras que C_1 se descarga a través de R_3 y tensión colector emisor de T_2.

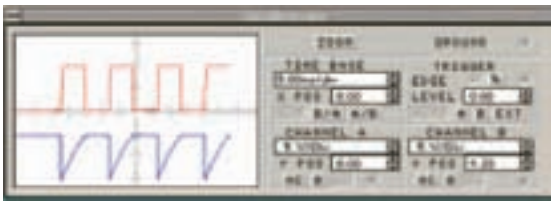
Este proceso se repetirá indefinidamente.

El tiempo en que la señal está a nivel alto viene determinado por el tiempo que tarda en descargarse C_1:

$$t_1 = 0{,}69\ R_3\ C_1.$$

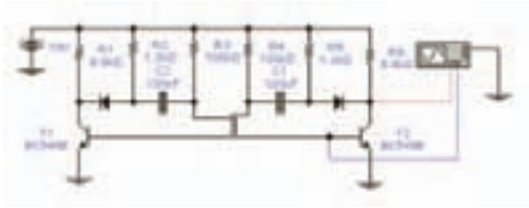
El tiempo en que la señal está a nivel bajo corresponderá a la descarga de C_2:

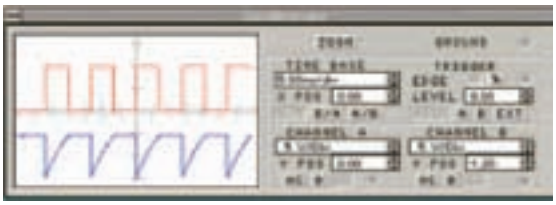
$$t_2 = 0{,}69\ R_2\ C_2.$$



Como puede observarse en el osciloscopio, la tensión de salida no es exactamente rectangular, y ello se debe a la carga de los condensadores a través de R_1 y R_4.

Para evitar este inconveniente se recurre al circuito denominado astable mejorado, que consta de dos diodos y dos resistencias más.





C_1 se carga a través de R_5 y V_{BE1}, descargándose por R_4, el diodo y V_{CE2}.

C_2 se carga por R_2 y V_{BE2}, y se descarga a través de R_3, el otro diodo y V_{CE1}.

El tiempo a nivel alto será:

$$t_1 = 0{,}69\ R_4\ C_1.$$

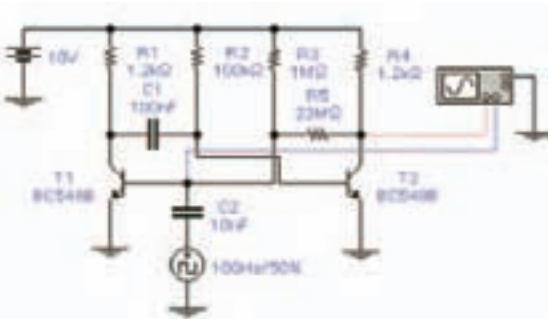
El tiempo a nivel bajo será:

$$t_2 = 0{,}69\ R_3\ C_2.$$

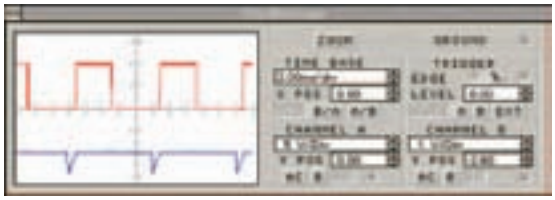
Multivibrador monoestable

Presenta un estado estable y otro mono-estable.

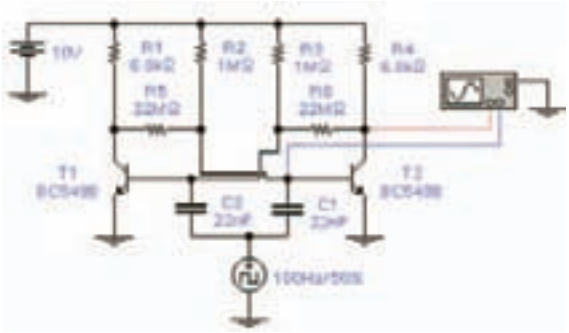
En nuestro circuito el estado estable se corresponde con el nivel bajo de tensión (T_1 cortado, T_2 saturado) y ahí permanecerá indefinidamente hasta que le introduzcamos un pulso de disparo para que cambie, y al cambiar pasará al estado inestable caracterizado por el nivel alto de tensión (T_1 saturado, T_2 cortado) permaneciendo un tiempo determinado por la descarga de C_1: **$t = 0{,}69\ R_2\ C_1$.**



Al aplicar la alimentación al circuito, T_2 permanece en saturación y T_1 en corte, la tensión de salida es cero y el condensador C_1 se habrá cargado por R_1 y V_{BE2} permaneciendo así indefinidamente a menos que se aplique un pulso a la base de T_1. Con ello se consigue que T_1 pase a saturación y T_2 a corte y que la tensión alcance un nivel alto en el que permanecerá hasta que C_1 se descargue a través de R_2 y V_{CE1} haciendo que T_1 vuelva al corte y T_2 a la saturación.



Multivibrador biestable



Este circuito tiene dos estados estables, permaneciendo indefinidamente en cualquiera de ellos a menos que se introduzcan sendos impulsos de disparo a las bases de los transistores para que se produzca el cambio de corte a saturación y viceversa.

El tiempo de permanencia en cada estado dependerá de la frecuencia (en realidad, de su inversa) de la señal de disparo.

Un símil electromecánico del multivibrador biestable es el típico telerruptor que se utiliza en los circuitos de vivienda.

Recordemos…

Le damos un empujoncito a la tecla del pulsador y la luz se enciende (un estado) y así puede permanecer indefinidamente, hasta que otra pulsación apaga la luz (el otro estado).

Como Identificar Transistores.

Ya sabemos que un transistor está constituido por una estructura formada por tres regiones semiconductoras alternadas NPN o PNP en un cristal único.

En cada una de estas regiones se encuentra un terminal que corresponder a la Base, Colector y Emisor, designadas por las letras, B, C y E.

En la práctica, los transistores son diferentes no sólo en lo que se refiere a la manera como las tres regiones semiconductoras están dispuestas, sino también a su envoltorio o parte externa.

Si el transistor va a operar con corrientes elevadas, las regiones semiconductoras precisan una mayor superficie para no ser dañadas por esos aumentos de corriente.

A su vez, si el transistor va a operar con señales de alta frecuencia, la región de base específicamente, deben de ser más fina, para que la corriente pueda circular por ella rápidamente.

En los montajes que no sean muy críticos, las características de los transistores usados no es necesario que sean muy rigurosas.

En principio, un tipo de la misma familia sirve.

Por ejemplo, cuando se cita en un montaje un transistor de silicio de uso general, podemos usar no sólo el BC237, sino también alguno de su familia, como el BC238, BC547 o el BC548, así como una infinidad de tipos cuyas características son semejantes.

Respecto a su denominación y valiéndonos de las letras de orden grabadas en su carcasa, podemos deducir:

- Transistores que comienzan por BC, son de uso general y de silicio.
- Transistores que comienzan por AC, son de uso general y de germanio.
- Transistores que comienzan por BF, son para uso en RF y de silicio.
- Transistores que comienzan por AF, como los anteriores, pero de germanio.
- Transistores que comienzan por AD, son de germanio y para etapas de potencia.
- Transistores que comienzan por BD, de potencia pero de silicio.
- Transistores con nomenclatura 2N, son de procedencia americana.
- Transistores con denominación 2SB, germanio, uso general y son japoneses.
- Transistores 2SC son de silicio uso en RF y uso general en Japón.
- Transistores 2SD son de potencia.

Si tenemos en cuenta que un transistor se puede comparar como dos diodos:

a) Entre colector y emisor debemos medir siempre una resistencia muy elevada.

b) Entre base y emisor, o entre base y colector, en un sentido debemos medir baja resistencia y en otro elevada, dependiendo de que el transistor sea NPN o PNP, ya que en este caso lo que hacemos es polarizar los diodos directa e inversamente.

Transistores de uso general (NPN o PNP) de baja potencia.

En estos transistores, el material de la patilla semiconductora que le da su nombre puede ser de silicio o de germanio, y de pequeñas dimensiones.

Están proyectados para amplificar señales de baja frecuencia (audio) y aparecen en la salida de audio de aparatos de radio, grabadores y pequeños amplificadores.

Los japoneses, suelen usar la denominación 2SB75, 2SB54, 2SC170, etc., y los tipos americanos, así como de otras familias, comienzan siempre con la denominación 2N.

Transistores de RF.

Estos transistores son de reducida dimensiones, ya que trabajan con señales débiles y de alta frecuencia.

En cuanto a su denominación así como los anteriores de silicio comienzan con las letras BC (código europeo), estos comienzan con las iniciales BF.

Asimismo, los tipos más conocidos de esta familia son los BF494, BF254 y BF495.

Transistores de potencia.

Estos transistores están dotados de una carcasa de grandes dimensiones, pudiendo ser tanto se silicio como de germanio.

Los grandes transistores de carcasa metálica como el 2N3055 o el AD149 utilizan la propia carcasa como uno de los terminales, correspondiendo en este caso al Colector. Cuando esto es así, si colocamos este componente sobre un radiador para que disipe el calor que se produce en él, puede existir contacto eléctrico entre el radiador y el colector.

En este caso se coloca un aislante que suele ser una lámina de mica entre transistor y radiador.

Los transistores de potencia con carcasa de plástico, normalmente, el terminal del centro corresponde al colector (C).

Encapsulados para transistores

Dependiendo de la polaridad empleada para la comprobación así será el tipo de transistor, esto es, PNP o NPN.

Pero, aparte de la identificación de patillas, también está pendiente un tema tanto o más peliagudo que este: la identificación de un transistor debido al gran número de encapsulados existentes.

En la ilustración correspondiente podemos ver diferentes tipos de encapsulados utilizados para contener transistores, bien sean estos de tipo PNP ó NPN.

Además de los transistores existen otros componentes que pueden responder a un tipo similar, por no decir idéntico, de encapsulado.

Conviene que siempre nos aseguremos de la nomenclatura que corresponde a cada tipo de componente y comprobemos la identificación que figura en dicho encapsulado.

Por ejemplo, los componentes que observamos en la ilustración parecen de idéntico tipo - poseen el mismo encapsulado- y, sin embargo, uno de ellos es un transistor, otro es un triac y el tercero un regulador integrado (dispositivo, por cierto, de suma utilidad).

Una herramienta utilísima para la identificación de los diferentes tipos de transistores (también para otro tipo de componentes electrónicos) es el conocido popularmente como libro de equivalencias.

En el mercado existe bibliografía suficiente sobre todo tipo de familias que incluye normalmente las características de cada uno de los transistores, dibujo de su encapsulado y tabla para la identificación de cada patilla.

Antes de acabar con el tema de encapsulados hemos de indicar que los diferentes tipos y tamaños de encapsulados no obedecen a determinado capricho del fabricante. Normalmente el encapsulado de tipo plástico es muy barato y apropiado en transistores cuyas funciones permitan dicho acabado.

Pero los transistores también están sujetos a un determinado paso de corriente a través de ellos lo que se traduce, como es lógico, en una disipación térmica de la potencia consumida.

Para ayudar a esta disipación se opta por fabricar transistores en cápsulas de mayor tamaño, en fabricar estas en material metálico (de más alto poder disipador), o en dotar a los transistores de la posibilidad de añadirles posteriormente un método de disipación.

Cabe mencionar aquí estos dispositivos, aunque hay un capítulo dedicado a ellos.

Su denominación es la de disipadores.

Existen en el mercado multitud de modelos de disipadores y sus dimensiones están calculadas en función de la potencia que deban disipar estos.

La forma en que los transistores se preparan para utilizar un disipador es incorporando una aleta refrigeradora así se la suele denominar de forma coloquial- que suele ir dotada de un agujero que la atraviesa de parte a parte.

En este orificio se colocará el tornillo que se fijará posteriormente a través del disipador.

Los diferentes modelos y tamaños de los dispositivos electrónicos responden a las diferentes potencias manejadas.

No solo los transistores utilizan disipadores.

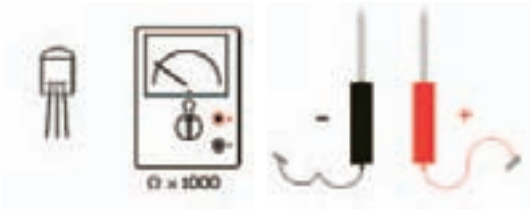
Por ejemplo, el encapsulado TO-220 incorpora una aleta de este tipo, por lo que podemos deducir que un mismo modelo y tamaño de disipador podrá ser fijado a la aleta de un regulador, un transistor, un triac, un tiristor, etc.

Verificación de los transistores.

Empezamos por comprobar un diodo.

Hoy en día existen multímetros digitales que permiten probar con mucha facilidad un diodo, pues ya vienen con esta alternativa listos de fábrica.

El caso que se presenta aquí es el método típico de medición de un diodo con un tester analógico (el que tiene una aguja).



Para empezar, se coloca el selector para medir resistencias (ohmios /Ω), sin importar de momento la escala.

Se realizan las dos pruebas siguientes:

Se coloca el cable de color rojo en el ánodo de diodo (el lado de diodo que no tiene la franja) y el cable de color negro en el cátodo (este lado tiene la franja), el propósito es que el multímetro inyecte una corriente continua en el diodo (esto es lo que hace cuando mide resistencias).

Si la resistencia que se lee es baja indica que el diodo, cuando está polarizado en directo funciona bien y circula corriente a través de él (como debe de ser).

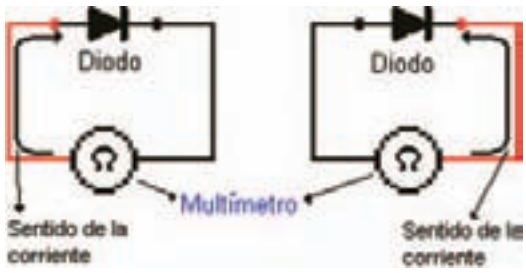
Si esta resistencia es muy alta, puede ser síntoma de que el diodo está abierto y tenga que ser reemplazado.

Se coloca el cable de color rojo en el cátodo y el cable negro en el ánodo.

En este caso como en anterior el propósito es hacer circular corriente a través del diodo, pero ahora en sentido opuesto a la flecha de este.

Si la resistencia leída es muy alta, esto nos indica que el diodo se comporta como se esperaba, pues un diodo polarizado en inverso casi no conduce corriente.

Si esta resistencia es muy baja podría significar que el diodo esta en corto y tenga que ser reemplazado.



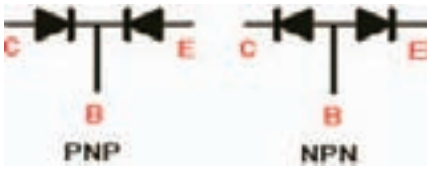
Nota:

- El cable rojo debe ir conectado al terminal del mismo color en el multímetro.
- El cable negro debe ir conectado al terminal del mismo color en el multímetro (el común)

Como probar un transistor

Para probar transistores bipolares hay que analizar un circuito equivalente de éste, en el que se puede utilizar lo aprendido al probar diodos.

Ver la siguiente figura.



Se ve que los circuitos equivalentes de los transistores bipolares NPN y PNP están compuestos por diodos y se sigue la misma técnica que probar diodos comunes.

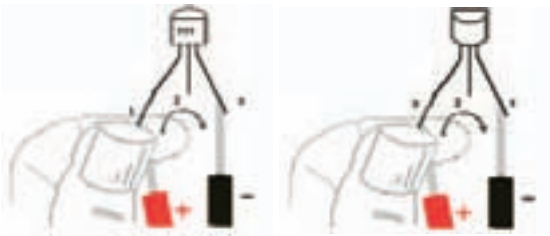
La prueba se realiza entre el terminal de la base (B) y el terminal E y C.

Los métodos a seguir en el transistor NPN y PNP son opuestos.

Al igual que con el diodo, si uno de estos diodos equivalentes del transistor no funcionan cono se espera hay que cambiar el transistor.

Nota:

- Aunque este método es fiable (99 % de los casos), hay casos en que, por las características del diodo o el transistor, esto no se cumple.



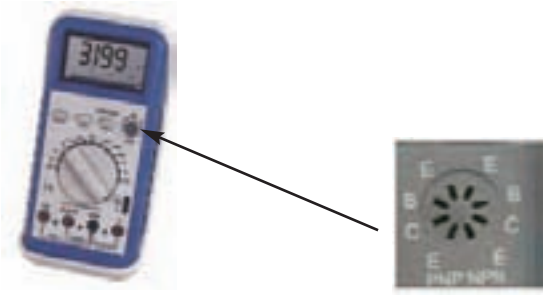
Cuando seleccionamos un transistor tendremos que conocer el tipo de encapsulado, así como el esquema de identificación de los terminales.

También tendremos que conocer una serie de valores máximos de tensiones, corrientes y potencias que no debemos sobrepasar para no destruir el dispositivo.

El parámetro de la potencia disipada por el transistor es especialmente crítico con la temperatura, de modo que esta potencia disminuye a medida que crece el valor de la temperatura, siendo a veces necesaria la instalación de un radiador o aleta refrigeradora.

Todos estos valores críticos los proporcionan los fabricantes en las hojas de características de los distintos dispositivos.

Una forma bastante rápida de identificar un transistor NPN o PNP es mediante un polímetro buscando en él un zócalo con la serigrafía hFE, localizaremos unos orificios para insertar el transistor, tanto para un NPN como para el PNP. Ver figuras.



Para obtener la medida de la ganancia es necesario insertarlo en su orificio apropiado, con lo que queda determinado si es un NPN o un PNP.

Aplicaciones de los transistores.

Los transistores tienen multitud de aplicaciones, entre las que se encuentran:

- Amplificación de todo tipo (radio, televisión, instrumentación).
- Generación de señal (osciladores, generadores de ondas, emisión de radiofrecuencia).
- Conmutación, actuando de interruptores (control de relés, fuentes de alimentación conmutadas, control de lámparas, modulación por anchura de impulsos PWM).
- Detección de radiación luminosa (fototransistores). Como no los hemos mencionado vamos a hablar de ellos:

Fototransistores.

Los fototransistores no son muy diferentes de un transistor normal, es decir, están compuestos por el mismo material semiconductor, tienen dos uniones y las mismas tres conexiones externas: colector, base y emisor.

Por supuesto, siendo un elemento sensible a la luz, la primera diferencia evidente es en su cápsula, que posee una ventana o es totalmente transparente, para dejar que la luz llegue hasta las uniones de la pastilla semiconductora y produzca el efecto fotoeléctrico.

Teniendo las mismas características de un transistor normal, es posible regular su corriente de colector por medio de la corriente de base.

Y también, dentro de sus características de elemento optoelectrónico, el fototransistor conduce más o menos corriente de colector cuando incide más o menos luz sobre sus uniones.

Diversos tipos de fototransistores

Los dos modos de regulación de la corriente de colector se pueden utilizar en forma simultánea.

Si bien es común que la conexión de base de los fototransistores no se utilice, e incluso que no se la conecte o ni siquiera venga de fábrica, a veces se aplica a ella una corriente que estabiliza el funcionamiento del transistor dentro de cierta gama deseada, o lo hace un poco más sensible cuando se debe detectar una luz muy débil.

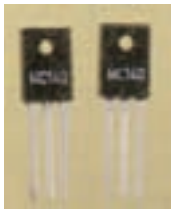
Esta corriente de estabilización (llamada bias, en inglés) cumple con las mismas reglas de cualquier transistor, es decir, tendrá una relación de amplificación determinada por la ganancia típica de corriente, o hFE.

A esta corriente prefijada se le suman las variaciones producidas por los cambios en la luz que incide sobre el fototransistor.

Los fototransistores, al igual que los fotodiodos, tienen un tiempo de respuesta muy corto, es decir que pueden responder a variaciones muy rápidas en la luz.

Debido a que existe un factor de amplificación de por medio, el fototransistor entrega variaciones mucho mayores de corriente eléctrica en respuesta a las variaciones en la intensidad de la luz.

Encapsulados de transistores y otros semiconductores.



Ahora vamos a ver los transistores por fuera.

Están encapsulados de diferentes formas y tamaños, dependiendo de la función que vayan a desempeñar.

Hay varios encapsulados de tipo estándar y cada encapsulado tiene una asignación de terminales que puede consultarse en un catálogo general de transistores.

Independientemente de la cápsula que tengan, todos los transistores tienen impreso sobre su cuerpo sus datos, es decir, la referencia que indica el modelo de transistor.

Por ejemplo, en los dos transistores mostrados se observa la referencia MC 140.

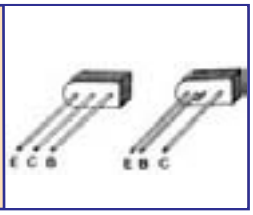
Los transistores bipolares, triacs, tiristores, y otros tipos vienen en muchas presentaciones o encapsulados y estos vienen ligado al tipo de aplicación en que se les va a utilizar.

Cada uno tiene impreso en el cuerpo el tipo de transistor que es, siendo así muy fácil poder encontrar sus características técnicas en un manual como el ECG o NTE.

En estos manuales también se pueden encontrar transistores de características similares o muy parecidas a los que se los llama equivalentes.

Entre los encapsulados están: (hay más)

TO-92. *Cápsula miniatura. Se utiliza en transistores de pequeña señal. Tienen un tamaño bastante pequeño.*



TO-92:

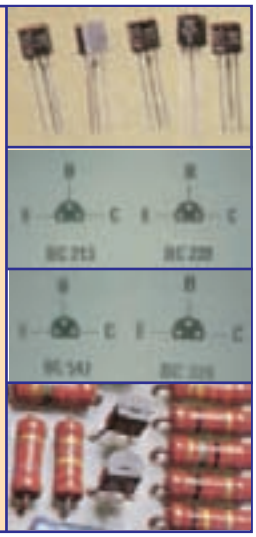
Este transistor pequeño es muy utilizado para la amplificación de pequeñas señales.

La asignación de patitas (emisor - base - colector) no está estandarizado, por lo que es necesario a veces recurrir a los manuales de equivalencias para obtener estos datos.

Cápsula TO-92. *Es muy utilizada en transistores de pequeña señal.*

En el centro vemos la asignación de terminales en algunos modelos de transistores, vistos desde abajo.

Abajo vemos dos transistores de este tipo montados sobre una placa de circuito impreso. Nótese la indicación "TR5" de la serigrafía, que indica que en ese lugar va montado el transistor número 5 del circuito, de acuerdo al esquema.



TO-18:

Es un poco más grande que el encapsulado TO-92, pero es metálico.

En la carcasa hay un pequeño saliente que indica que la patita más cercana es el emisor. Para saber la configuración de patitas es necesario a veces recurrir a los manuales de equivalencias.

Cápsula TO-18. *Se utiliza en transistores de pequeña señal. Su cuerpo está formado por una carcasa metálica que tiene un saliente que indica el terminal del Emisor.*

TO-39:

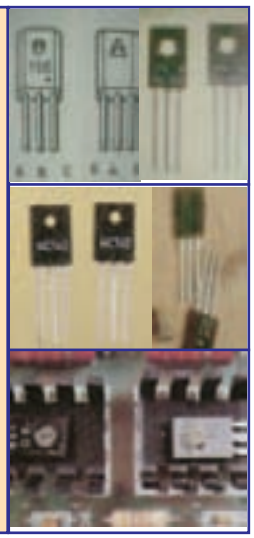
Tiene le mismo aspecto que el TO-18, pero es mas grande. Al igual que el anterior tiene una saliente que indica la cercanía del emisor, pero también tiene la patita del colector pegado a la carcasa, para efectos de disipación de calor.

TO-126:

Se utiliza mucho en aplicaciones de pequeña a mediana potencia.

Puede o no utilizar disipador dependiendo de la aplicación en que se esté utilizando. Se fija al disipador por medio de un tornillo aislado en el centro del transistor.

Se debe utilizar una mica aislante



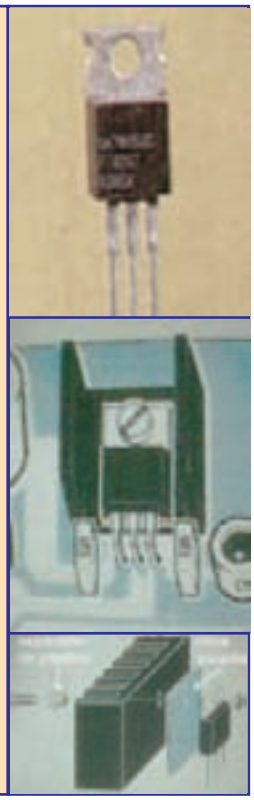
Cápsula TO-126. *Se utiliza en transistores de potencia reducida, a los que no resulta generalmente necesario colocarles radiador.*

Arriba a la izquierda vemos la asignación de terminales de un transistor BJT y de un Tiristor.

Abajo vemos dos transistores que tienen esta cápsula colocados sobre pequeños radiadores de aluminio y fijados con su tornillo correspondiente.

El TO-220:

Este encapsulado se utiliza en aplicaciones en que se deba de disipar potencia algo menor que con el encapsulado TO-3, y al igual que el TO-126 debe utilizar una mica aislante si va a utilizar disipador, fijado por un tornillo debidamente aislado.



Cápsula TO-220. *Se utiliza para transistores de menos potencia, para reguladores de tensión en fuentes de alimentación y para tiristores y triacs de baja potencia.*

Generalmente necesitan un radiador de aluminio, aunque a veces no es necesario, si la potencia que van a disipar es reducida.

Abajo vemos la forma de colocarle el radiador y el tornillo de sujeción. Se suele colocar una mica aislante entre el transistor y el radiador, así como un separador de plástico para el tornillo, ya que la parte metálica está conectada al terminal central y a veces no interesa que entre en contacto eléctrico con el radiador.

El TO-3:

Este encapsulado se utiliza en transistores de gran potencia.

Como se puede ver en el gráfico es de gran tamaño debido a que tiene que disipar bastante calor.

Está fabricado de metal y es muy normal ponerle un disipador para liberar la energía que este genera en calor.

Este disipador no debe estar en contacto directo con el cuerpo del transistor, pues este estaría conectado directamente al colector del transistor.

Para evitarlo se pone una mica para que sirva de aislante y a la vez de buen conductor térmico.

El disipador de fija al transistor con ayuda de tornillos adecuadamente aislados que se introducen el los orificios que estos tienen.

En el transistor con encapsulado TO-3 el colector esta directamente conectado al cuerpo del mismo (carcasa), pudiendo verse que sólo tiene dos pines o patitas.

Estas patitas no están en el centro del transistor sino que ligeramente a un lado y si se pone el transistor como se muestra en la figura, al lado izquierdo estará el emisor y la derecha la base.

Cápsula TO-3. *Se utiliza para transistores de gran potencia, que siempre suelen llevar un radiador de aluminio que ayuda a disipar la potencia que se genera en él.*

Arriba a la izquierda vemos su distribución de terminales, observando que el colector es el chasis del transistor. Nótese que los otros terminales no están a la misma distancia de los dos agujeros.

A la derecha vemos la forma de colocarlo sobre un radiador, con sus tornillos y la mica aislante. La función de la mica es la de aislante eléctrico y a la vez conductor térmico. De esta forma, el colector del transistor no está en contacto eléctrico con el radiador.

Precios de transistores.

Teniendo, tal vez, la idea de que estos componentes puedan tener un precio excesivamente alto vamos a presentar una tabla donde aparece una oferta de transistores de distintas potencias, para situarnos un poco más en este mundillo.

Transistores de pequeña señal

2N2219	NPN	TO-92	0, 46 €
2N2222	NPN	TO-92	0, 49 €
2N2907	PNP	TO-18	0, 36 €
2N4401	NPN	TO-92	0, 10 €
2N2906	PNP	TO-18	0, 44 €
2N3563	NPN	TO-92	0, 22 €
2N3904	NPN	TO-92	0, 13 €
2N3906	PNP	TO-92	0, 13 €
2N4403	PNP	TO-92	0, 10 €
2N5401	PNP	TO-92	0, 10 €
BC169	NPN	TO-92B	0, 45 €
BC327	PNP	TO-92	0, 10 €
BC337	NPN	TO-92	0, 18 €
BC338	NPN	TO-92	0, 11 €
BC546	NPN	TO-92	0, 09 €
BC547	NPN	TO-92	0, 10 €
BC548	NPN	TO-92	0, 10 €
BC549	NPN	TO-92	0, 09 €
BC550	NPN	TO-92	0, 39 €
BC556	PNP	TO-92	0, 09 €
BC557	PNP	TO-92	0, 10 €
BC558	PNP	TO-92	0, 09 €
BC807	SMD-PNP	SOT-23	0, 09 €
BC817	SMD-NPN	SOT-23	0, 09 €
BC848	SMD-NPN	SOT-23	0, 10 €

Transistores de pequeña potencia

2N1711	NPN	TO-39	0, 59 €
2N2369	NPN	TO-18	0, 41 €
2N2905	PNP	TO-39	0, 63 €
2N2907	PNP	TO-39	0, 36 €
2N3053	NPN	TO-39	0, 34 €
BC107	NPN	TO-18	0, 45 €
BC108	NPN	TO-18	0, 45 €
BC109	NPN	TO-18	0, 45 €
BC140	NPN	TO-39	0, 55 €
BC237	NPN	TO-92	0, 18 €
BC238	NPN	TO-92	0, 10 €
BC239	NPN	TO-92	0, 18 €
BC307	PNP	TO-92	0, 08 €
BC516	PNP	TO-92	0, 12 €
BC517	NPN	TO-92	0, 09 €
BC635	NPN	TO-92	0, 11 €
BC636	PNP	TO-92	0, 16 €
BC638	PNP	TO-92	0, 16 €
BC640	PNP	TO-92	0, 09 €
BD135	NPN	TO-126	0, 27 €
BD137	NPN	TO-126	0, 24 €
BD139	NPN	TO-126	0, 27 €
BD140	PNP	TO-126	0, 25 €
BCR119	SMD-NPN	SOT363	0, 43 €

Transistores de potencia

2N3055	NPN	TO-3	0, 93 €
2N5885	NPN	TO-3	2, 27 €
2N5886	NPN	TO-3	2, 27 €
2SD1548	NPN	TO-3P(H)	1, 41 €
BD241	NPN	TO-220	0, 43 €
BD242	PNP	TO-220	0, 44 €
BD243	PNP	TO-220	0, 48 €
BD245	NPN	SOT-93	1, 83 €
BD249	NPN	TO-247 (3)	1, 89 €
BD250	PNP	TO-247 (3)	1, 90 €
BD677	NPN	SOT-32	0, 29 €
BD680	PNP	SOT-32	0, 31 €
BDX33C	NPN	TO-220	0, 41 €
MJE340	NPN	TO-126	0, 32 €
MJE350	PNP	TO-126	0, 66 €
MPSA42	NPN	TO-92	0, 06 €
TIC3055	NPN	TO-220	0, 78 €
TIP110	NPN	TO-220	0, 62 €

TIP120	NPN	TO-220	0, 37 €
TIP122	NPN	TO-220	0, 26 €
TIP142	NPN	TO-3P	1, 26 €
TIP2955	PNP	CASE-340D	1, 07 €
TIP3055	NPN	CASE-340D	0, 94 €
TIP31	NPN	TO220	0, 39 €
TIP32	PNP	TO220	0, 39 €

Transistores de Efecto de Campo (mos-fet)

2N3819	FET CANAL N	TO-92	0, 67 €
2N4393	FET CANAL N	TO-18	2, 27 €
2N7000	FET CANAL N	TO-92	0, 24 €
2SK1341	CANAL-N	TO-3P	3, 35 €
BF245A	FET CANAL N	TO-92	0, 37 €
BF245B	FET CANAL N	TO-92	0, 39 €
BS170	CANAL-N	TO-92	0, 14 €
BS250	CANAL-P	TO-92	0, 46 €
BUZ11	CANAL-N	TO-220	0, 82 €
BUZ90	CANAL-N	TO-220	1, 23 €
BUZ91A	CANAL-N	TO-220	1, 45 €
IRF1310N	Power MOSFET	TO-220	1, 53 €
IRF510	Power MOSFET	TO-220	0, 51 €
IRF520	Power MOSFET	TO-220	0, 64 €
IRF540	Power MOSFET	TO-220	1, 92 €
IRFBC30	Power MOSFET	TO-220	1, 63 €
IRFBE30	Power MOSFET	TO-220	1, 59 €
IRFP140	Power MOSFET	TO-247	2, 21 €
IRFP240	Power MOSFET	TO-247	2, 83 €
IRFP250N	Power MOSFET	TO-247	2, 16 €
IRFP9240	Power MOSFET	TO-247	2, 79 €

Transistores RF

2SC2078	NPN	TO-220	0, 35 €
BF240	NPN	TO-92	0, 16 €
BF256	J-FET	TO-92	0, 42 €
BF763	NPN	TO-92	0, 69 €
BFQ232	NPN	SOT32	0, 46 €
BFQ270	NPN	SOT172A1	22, 42 €
BFR91	SMD-NPN	TO-50	0, 51 €
BFW92	SMD-NPN	TO-50	0, 44 €

Parámetros característicos de transistores

Los fabricantes proporcionan la información necesaria para identificar todos los parámetros de un transistor.

Vamos a ver como presentan esa información en el caso de un modelo de pequeña potencia y en otro de potencia

TIP120/121/122

Medium Power Linear Switching Applications

- Complementary to TIP125/126/127

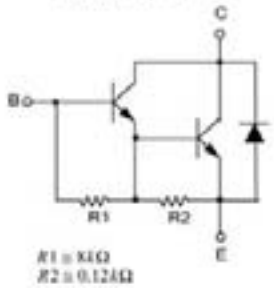
1.Base 2.Collector 3.Emitter

NPN Epitaxial Darlington Transistor

Absolute Maximum Ratings T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : TIP120	60	V
	: TIP121	80	V
	: TIP122	100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : TIP120	60	V
	: TIP121	80	V
	: TIP122	100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	8	A
I_B	Base Current (DC)	120	mA
P_C	Collector Dissipation (T_a=25°C)	2	W
P_C	Collector Dissipation (T_C=25°C)	65	W
T_J	Junction Temperature	150	°C
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	°C

Equivalent Circuit



Electrical Characteristics T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
V_{CEO}(sus)	Collector-Emitter Sustaining Voltage				
	: TIP120	I_C = 100mA, I_B = 0	60		V
	: TIP121		80		V
	: TIP122		100		V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current				
	: TIP120	V_{CE} = 30V, I_B = 0		0.5	mA
	: TIP121	V_{CE} = 40V, I_B = 0		0.5	mA
	: TIP122	V_{CE} = 50V, I_B = 0		0.5	mA
I_{CBO}	Collector Cut-off Current				
	: TIP120	V_{CB} = 60V, I_E = 0		0.2	mA
	: TIP121	V_{CB} = 80V, I_E = 0		0.2	mA
	: TIP122	V_{CB} = 100V, I_E = 0		0.2	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{BE} = 5V, I_C = 0		2	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	V_{CE} = 3V, I_C = 0.5A	1000		
		V_{CE} = 3V, I_C = 3A	1000		
V_{CE}(sat)	* Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = 3A, I_B = 12mA		2.0	V
		I_C = 5A, I_B = 20mA		4.0	V
V_{BE}(on)	* Base-Emitter ON Voltage	V_{CE} = 3V, I_C = 3A		2.5	V
C_{ob}	Output Capacitance	V_{CB} = 10V, I_E = 0, f = 0.1MHz		200	pF

* Pulse Test : PW≤300μs, Duty cycle ≤2%

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

Typical characteristics

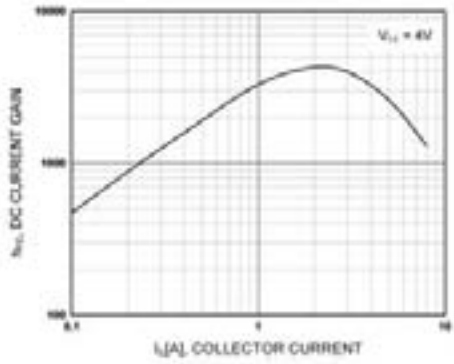


Figure 1. DC current Gain

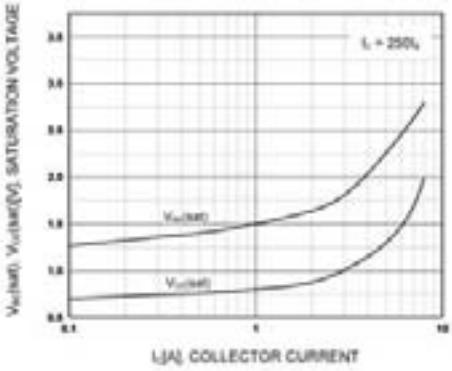


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage Collector-Emitter Saturation Voltage

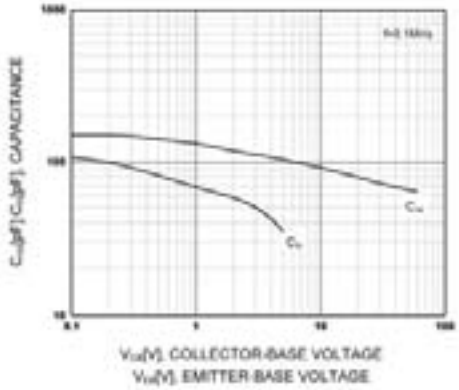


Figure 3. Output and Input Capacitance vs. Reverse Voltage

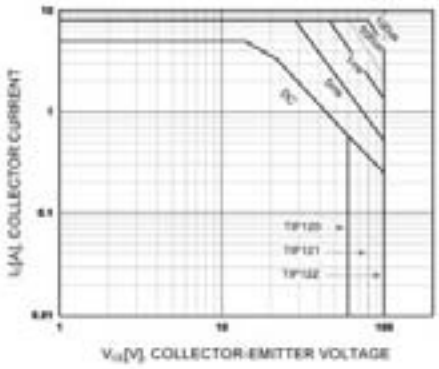


Figure 4. Safe Operating Area

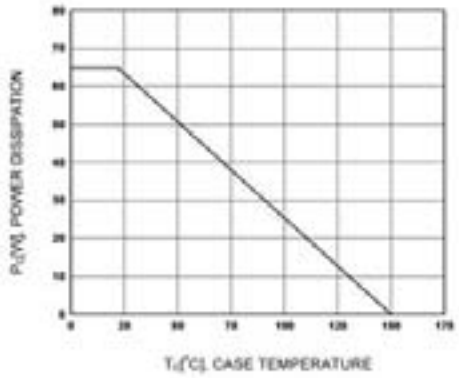


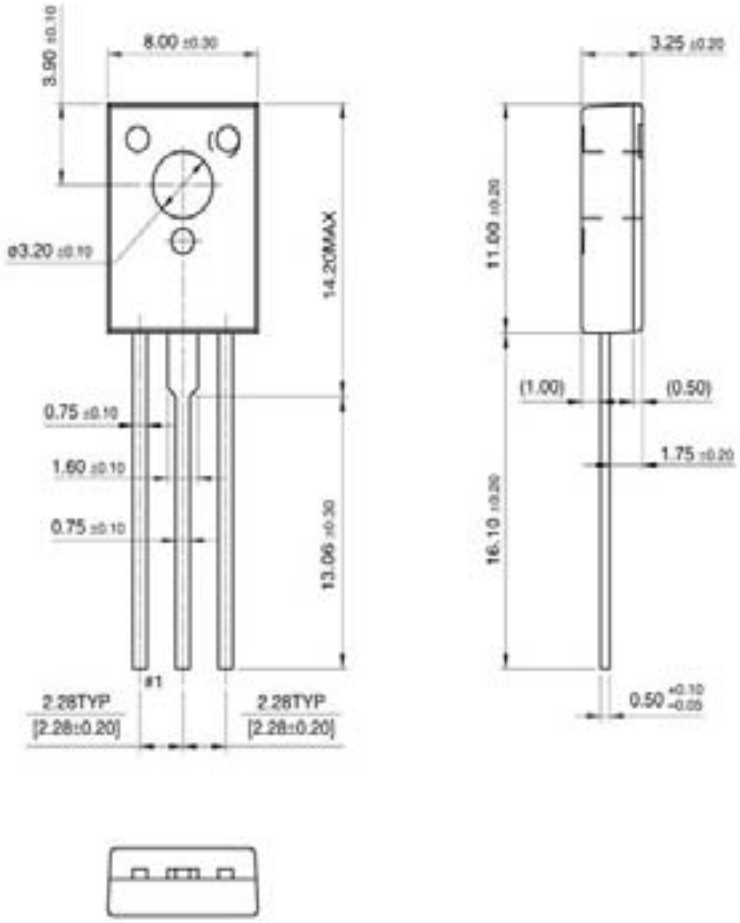
Figure 5. Power Derating

©2000 Fairchild Semiconductor International

BD136/138/140

Package Demensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™
Bottomless™
CoolFET™
CROSSVOLT™
E^2CMOS™
FACT™
FACT Quiet Series™
FAST®
FASTr™
GTO™
HiSeC™
ISOPLANAR™
MICROWIRE™
POP™
PowerTrench®
QFET™
QS™
Quiet Series™
SuperSOT™-3
SuperSOT™-6
SuperSOT™-8
SyncFET™
TinyLogic™
UHC™
VCX™

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

©2000 Fairchild Semiconductor International Rev. E

BD136/138/140

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD135, BD137 and BD139 respectively

1. Emitter 2.Collector 3.Base

PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter		Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: BD136	- 45	V
		: BD138	- 60	V
		: BD140	- 80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: BD136	- 45	V
		: BD138	- 60	V
		: BD140	- 80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage		- 5	V
I_C	Collector Current (DC)		- 1.5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)		- 3.0	A
I_B	Base Current		- 0.5	A
P_C	Collector Dissipation (T_C=25°C)		12.5	W
P_C	Collector Dissipation (T_a=25°C)		1.25	W
T_J	Junction Temperature		150	°C
T_{STG}	Storage Temperature		- 55 ~ 150	°C

Electrical Characteristics T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
V_{CEO}(sus)	* Collector-Emitter Sustaining Voltage					
	: BD136	I_C = - 30mA, I_B = 0	- 45			V
	: BD138		- 60			V
	: BD140		- 80			V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	V_{CB} = - 30V, I_E = 0			- 0.1	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{EB} = - 5V, I_C = 0			- 10	μA
h_{FE1}	* DC Current Gain	V_{CE} = - 2V, I_C = - 5mA	25			
h_{FE2}		V_{CE} = - 2V, I_C = - 0.5A	25			
h_{FE3}		V_{CE} = - 2V, I_C = - 150mA	40		250	
V_{CE}(sat)	* Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = - 500mA, I_B = - 50mA			- 0.5	V
V_{BE}(on)	* Base-Emitter ON Voltage	V_{CE} = - 2V, I_C = - 0.5A			- 1	V

* Pulse Test: PW=350μs, duty Cycle=2% Pulsed

h_{FE} Classificntion

Classification	6	10	16
h_{FE3}	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

BD136/138/140

Typical Characteristics

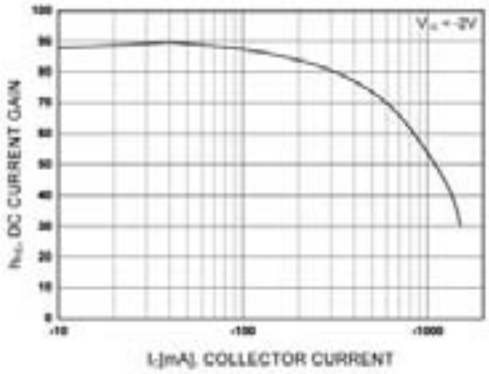


Figure 1. DC current Gain

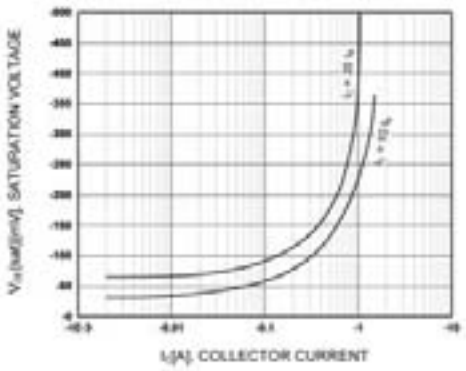


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Voltage

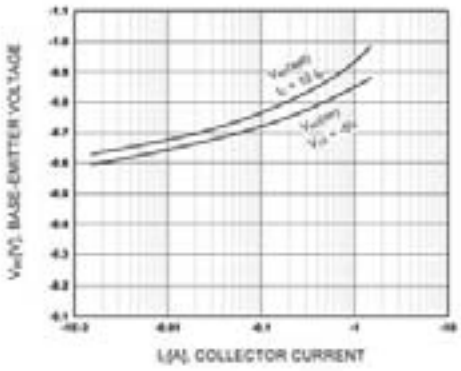


Figure 3. Base-Emitter Voltage

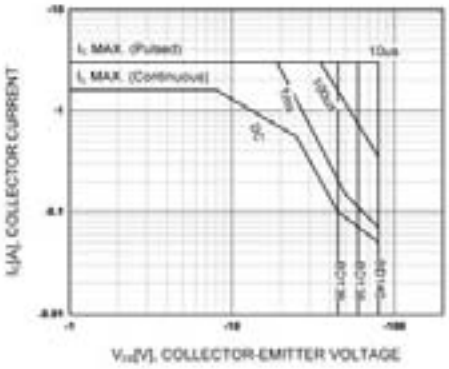


Figure 4. Safe Operating Area

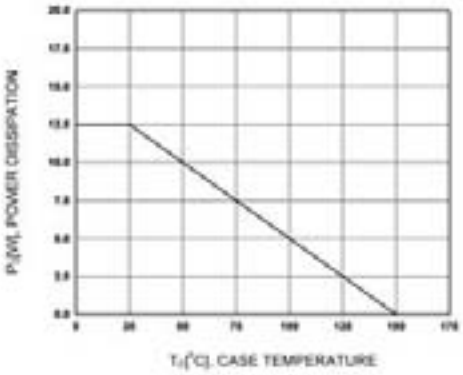


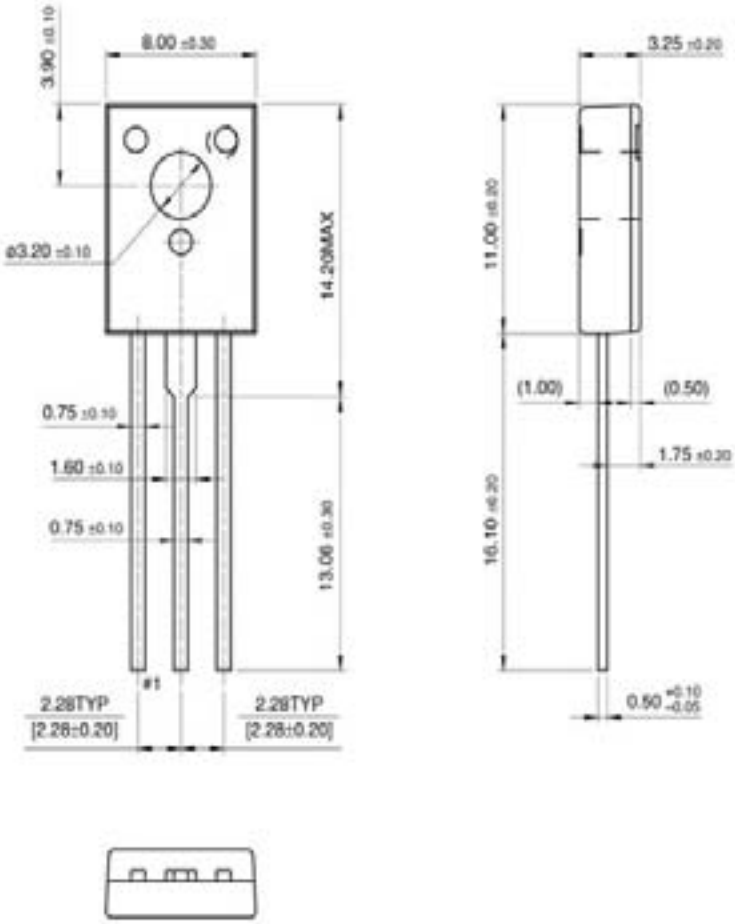
Figure 5. Power Derating

©2000 Fairchild Semiconductor International

BD136/138/140

Package Demensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™
Bottomless™
CoolFET™
CROSSVOLT™
E^2CMOS™
FACT™
FACT Quiet Series™
FAST®
FASTr™
GTO™
HiSeC™
ISOPLANAR™
MICROWIRE™
POP™
PowerTrench®
QFET™
QS™
Quiet Series™
SuperSOT™-3
SuperSOT™-6
SuperSOT™-8
SyncFET™
TinyLogic™
UHC™
VCX™

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

©2000 Fairchild Semiconductor International Rev. E

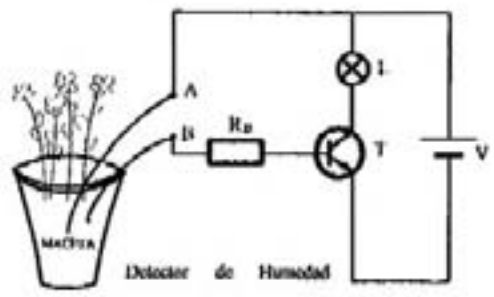
Montajes con transistores bipolares

Iremos mostrando algunos en orden creciente de dificultad.

Detector de humedad.

La luz se encenderá si hay humedad en la tierra de la maceta, ya que se cierra el circuito de base.

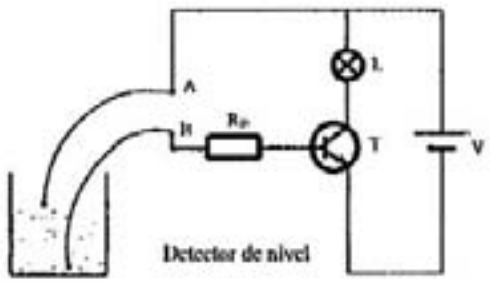
Se pueden buscar otras utilidades a esta aplicación.



Otra etapa de amplificación permitirá activar un claxon de aviso.

Detector de nivel de agua.

Al alcanzar el agua el nivel A la lámpara se encenderá, pues a través de ella se cierra el circuito de base del transistor.

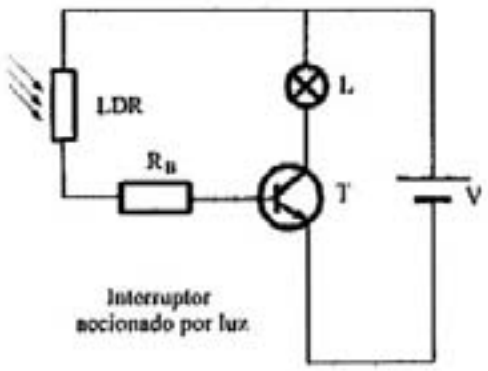


Interruptor controlado por la luz.

La LDR (resistencia que varía en función de la luz que incide) presenta mucha resistencia en la oscuridad y poca cuando hay más luz.

Si le da el sol o luz artificial, su resistencia desminuye y el transistor se desbloqueará, encendiéndose la bombilla.

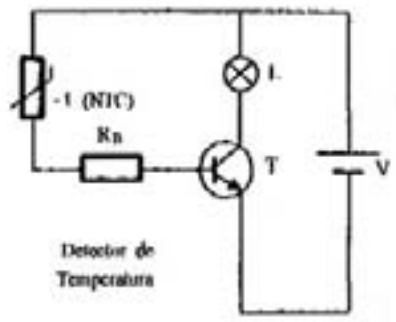
En el caso contrario, si no le da la luz, su resistencia será mayor, bloqueando el transistor y apagándose la bombilla.



Detector de temperatura.

La NTC (resistencia de variación negativa con la temperatura), disminuye su resistencia al variar la temperatura y al revés.

En consecuencia, si aumenta la temperatura disminuye la resistencia total de la base y el transistor conduce, contrariamente a si disminuye la temperatura en la NTC, su resistencia obliga al transistor a bloquearse.



Interruptor crepuscular.

Imaginemos el farol de una terraza, automatizado, independiente de la voluntad del inquilino.

Con la luz ambiental, la LDR presenta poca resistencia y el transistor permanece bloqueado.

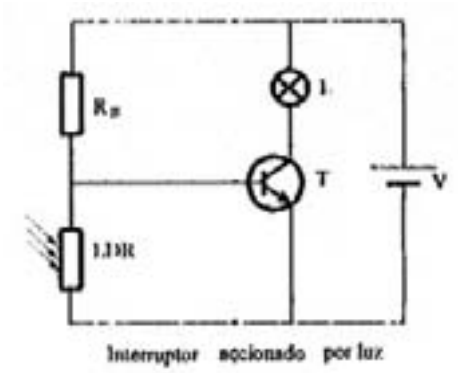
A medida que va oscureciendo, la LDR va presentando más resistencia, cayendo

en ella más tensión y el transistor conduce.

La luz se enciende.

Al amanecer el transistor se vuelve a bloquear y la luz se apaga hasta la noche siguiente.

Sirena.



Con 4 transistores bipolares (BJT).

Este circuito produce el sonido de una sirena típica con sólo 4 transistores.

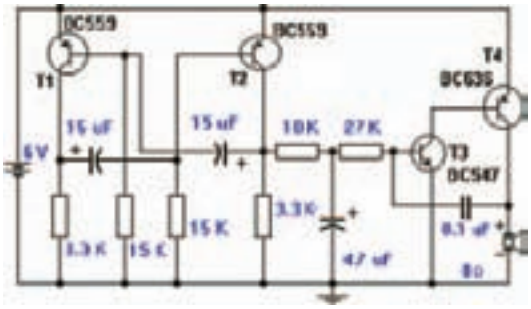
Se puede variar la cadencia del sonido cambiando los dos condensadores por otros de valor diferente.

Los transistores T_1 y T_2 conforman un biestable (un circuito que tiene dos estados estables).

El circuito biestable oscila entre estos dos estados, alto y bajo, que se pueden medir en el colector del transistor T_2.

Estos dos niveles son entregados al grupo de elementos formados por las resistencias de 10 KΩ, 27 KΩ y el condensador de 4,7 µF que dan la cadencia del sonido conforme se carga el condensador y se descarga.

T_3 y T_4 que conforman un oscilador que hace sonar el altavoz de 8 ohmios.



Lista de componentes:

- **Transistores:**

  2 PNP BC559 o equivalente, 1 NPN BC547 o equivalente, 1 PNP BC636 o equivalente.

- **Resistencias:**

  2 de 15 KΩ, 2 de 3.3 KΩ, 1 de 10 KΩ, 1 de 27 KΩ

- **Condensadores:**

  2 de 15 µF (microfaradios), electrolíticos, 1 de 4,7 µF, electrolíticos, 1 de 0,1 µF.

- **Otros:**

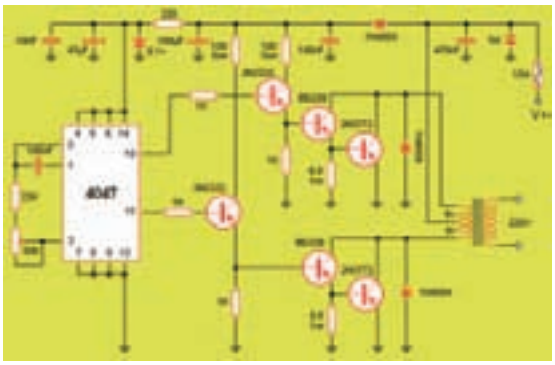
  Altavoz común de 8 W.

Inversor. Cómo conseguir 230V CA / 100W, a partir de 12V CC.

Disponer de 230 V de tensión alterna en un coche o en un camión puede ser muy útil, no solo en campamentos o viajes sino también para conectar soldadores u otra clase de herramientas.

También pude ser interesante para cargar las baterías de teléfonos, videocámaras u ordenadores portátiles, entre otros dispositivos.

Aunque se hace referencia a un circuito integrado, el 4047, (aún no conocemos los circuitos integrados), podemos aventurarnos y comprarlo, sin ningún problema.



Para reducir o elevar una tensión determinada nada mejor que un transformador, pero este componente no funciona en corriente continua, que es la disponible en las baterías de los vehículos.

Debemos recurrir a un oscilador que genere unas alternancias en la CC de entrada para así tener en la bobina del transformador CA.

El circuito integrado (4047) es un oscilador cuyas salidas son una inversa con respecto de la otra.

Esto quiere decir que mientras una está en estado alto la otra está bajo y viceversa.

Estas señales son demasiado débiles para mover el trasformador así que se incorpora una etapa formada por tres transistores en cadena.

El diodo en paralelo con cada uno de los transistores finales evita que la corriente inversa producida al retirar la corriente del bobinado queme el transistor.

El diodo de 5A colocado en paralelo con la línea de alimentación genera un cortocircuito cuando la polaridad es accidentalmente invertida, haciendo que el fusible salte.

El potenciómetro de 50K permite ajustar la frecuencia del oscilador, que es directamente proporcional con la frecuencia de la CA producida en el transformador.

Para que el oscilador trabaje de forma estable se ha dispuesto la resistencia de 220 Ω como limitador de corriente y el Zener de 9.1 V junto con sus condensadores de filtrado.

Este conjunto hace que sin importar los cambios en la batería la tensión en el oscilador sea de 9 V.

El transformador puede ser uno común de los que se emplean para hacer fuentes de alimentación, solo que en este equipo lo usaremos inversamente.

En vez de aplicar tensión en el devanado de 230 V y conseguir en el secundario 18 V, lo que haremos es aplicar la tensión en el devanado de 18 V para conseguir lo buscado, 230 V.

En realidad los cálculos de este elemento exigían un bobinado de 230V y otro de 9.3V+9.3V, pero como no es común este tipo de valores hemos recurrido a uno de 9+9, más habitual en los comercios.

La potencia del mismo deberá ser 100VA

Los transistores de salida deben ser colocados sobre disipador de calor.

Respetar las potencias de las resistencias indicadas.

Comprobar la posición de los diodos y condensadores electrolíticos.

Deberá utilizarse cables de sección adecuada para la conexión de la batería.

Secciones pequeñas pueden causar caídas de tensión o un funcionamiento errático.

Una buena alternativa para comprobar el funcionamiento visualmente es colocar un indicador de neón en la salida de 230V.

Así, sólo cuando el sistema trabaje adecuadamente el indicador brillará.

Calibración:

Bastará con alimentar el sistema y colocar un frecuencímetro ú osciloscopio en la salida del transformador.

Girar el potenciómetro de 50K conectado al 4047 hasta que la frecuencia medida sea de 50Hz.

Después de esto la calibración habrá concluido.

Importante:

Este equipo genera corriente alterna cuya forma de onda es cuadrada.

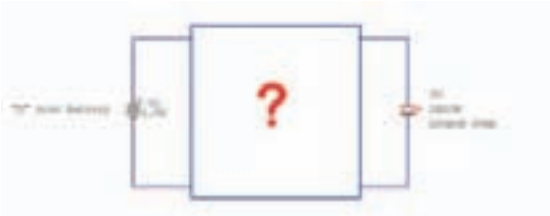
Es así porque los transistores están dispuestos en corte / saturación.

No presenta problemas para los equipos resistivos, como soldadores, lámparas o alimentadores.

Pero los equipos de TV o cámaras de vídeo, que empleen como referencia la frecuencia y onda de la red, pueden no funcionar correctamente.

Montaje curioso:

Cómo lograr que luzca un diodo Led de 3 W con una pila de 1,5 V.



Es sencillo proyectar una alimentación para LED, usando un regulador de tensión integrado, cuando la tensión de que disponemos es 12 V, 6 V e incluso 5 V…pero con una única fuente, una pila, tamaño D, 1,5 V, cómo hacer lucir un diodo Luxeon de 3 W, que precisa una corriente constante de 700 mA y una tensión de 3,6 V.

¡Muy fácil!

Con un inversor tipo Push-pull.

Se trata de un oscilador Push-pull realizado con pocos componentes.

Sólo dos transistores en configuración auto oscilante y un puente de diodos para recuperar toda la forma de onda generada.

El componente importante es el transformador, que para que actúe correctamente es necesario que actúe de forma simétrica,

El transistor Q_1 y Q_2, conduciendo alternativamente generan un forma de onda perfectamente simétrica.

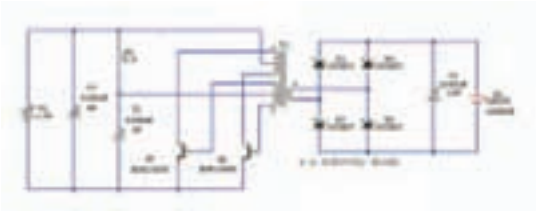
La frecuencia de trabajo está próxima a 1,5 Khz.

Para determinarla, así como el número de espiras del circuito magnético usaremos la siguiente fórmula:

$$f = Vb / (2 N S B)$$

Donde **f** =frecuencia **V_B** = tensión de la pila **N** = número total de espiras del primario **S** = sección del núcleo (metros cuadrados) **B** = valor de la inducción **(Weber/m^2)**

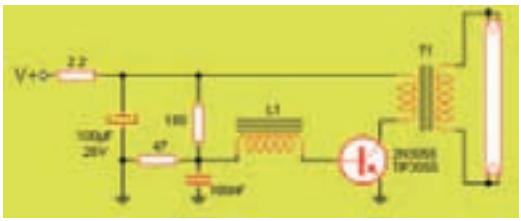
En este caso se han usado dos transistores de potencia tipo MJE13005 NPN VCE: 400V Ic: 4A f: 5Mhz hFE: 8



A este conjunto se le conoce como convertidor DC/DC y suele representarse como:

Balasto electrónico para un tubo fluorescente de 40w con tensión de entrada 12VCC.

Presentamos aquí un circuito muy fácil de hacer y que nos dará excelentes resultados a la hora de utilizarlo.



Se basa en el principio de provocar una oscilación en el primario de un transformador para conseguir en su secundario una tensión elevada capaz de ionizar el gas

contenido dentro del tubo y, por consiguiente, hacerlo brillar.

En el circuito todas las resistencias son de 1W y la alimentación es de 12 V CC.

El transistor debe tener la suficiente disipación de calor.

Tal como se ve, no hay un sistema oscilador por lo que no debería funcionar.

Pero veamos un poco en detalle el conjunto L_1/T_1.

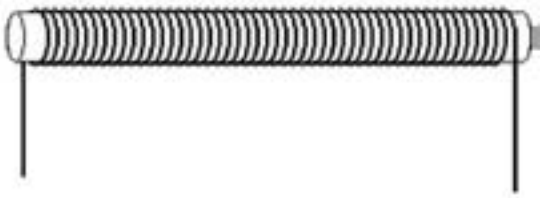
Sobre una barra de ferrita se bobina tanto el transformador elevador (T_1) como el inductor de base (L_1).

De esta forma logramos que el circuito oscilador sea del tipo realimentado.

A cada disparo del transistor una porción de energía es captada por el bobinado de L1 el cual vuelve a disparar el transistor y sigue funcionando así. ¿Pero cómo se construye este inductor?

Primero hemos de conseguir una barra de ferrita del tipo utilizado en radios de AM de 6 cm de largo.

Puede ser ligeramente mas larga para luego hacer alguna especie de soporte de fijación.



Sobre esta barrita bobinamos 60 vueltas de hilo de cobre esmaltado de 1mm^2 de sección.

Este es el bobinado primario, que será manejado por el transistor de potencia.

Una vez bobinado el primario procedemos a fijar las espiras del mismo con cinta de enmascarar (cinta de pintor).

Una vez fijadas las espiras del primario con la cinta, bobinamos en el centro (sobre la cinta) las 13 vueltas de hilo de cobre de 0,4mm^2, esmaltado, que conforman el bobinado de realimentación o feedback.

Este es el bobinado que se encargará de hacer que el sistema oscile.

Nuevamente, cuando terminemos de bobinar estas 13 espiras cubriremos, sólo las 13 vueltas, con cinta de enmascarar para mantener armado el bobinado sin cuidado a que nos quede en desnivel el centro.

Luego haremos que los hilos de este bobinado salgan por un costado.

Bobinaremos ahora las 450 espiras de hilo de cobre de 0,4mm^2, esmaltado, que forman el secundario.

Este bobinado se realiza en tres capas de 150 espiras cada una.

Entre capa y capa debemos intervenir con cinta de enmascarar para mantener la bobina firme.

Primero daremos 150 vueltas, cubriremos con cinta, bobinaremos otras 150 vueltas, volveremos a cubrir con cinta, otras 150 vueltas más y otra vez mas cubriremos con cinta.

Nos quedará entonces un mazacote de cinta y cobre sobre la ferrita y este será nuestro inductor T_1/L_1.

Antes de encender este equipo debemos poner en fase el inductor.

Esto consiste en conectar el tubo fluorescente a la salida y alimentar momentáneamente el sistema.

Si el tubo no enciende deberemos invertir los dos alambres de la bobina osciladora (L_1). Nuevamente probaremos y ahora si deberá encender.

Si el sistema encendió de primera (antes de invertir los alambres, no será necesario tocar nada).

Una vez ajustada la posición de la bobina L_1 podremos quitar la resistencia limitadora de entrada (la de 2,2 Ω) y dejar el sistema alimentado directamente.

Relé controlado por luz con fotorresistencia (LDR).

Activador de persianas, por ejemplo, al llegar la noche.

Este circuito es muy interesante, la fotorresistencia LDR (resistencia dependiente de la luz) cambia su valor en ohmios dependiendo de la cantidad de luz que la incida sobre ella.

De modo aislado no puede hacer nada, no tiene fuerza para activar nada. Necesita el resto del circuito.

Cuando la LDR está iluminada su resistencia es baja y provoca que el voltaje en la base del transistor se incremente.

El transistor 1 conducirá, lo que causará que el transistor T_2 no lo haga (entre en corte).

De esta manera el relé no se activa.

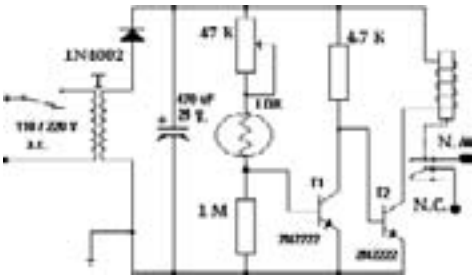
Cuando la LDR NO está iluminada su resistencia es alta y induce a que el voltaje en la base del transistor se haga pequeño.

El transistor T_1 NO conducirá lo que causará que el transistor T_2 si lo haga (entre en conducción).

De esta manera el relé se activa.

El valor de la fotorresistencia no es crítico y se puede utilizar casi una de cualquier valor pues se incluye un potenciómetro en serie para controlar la sensibilidad del circuito

Se utiliza un sistema muy sencillo de obtención de corriente continua, como es el rectificador de media onda con sólo un diodo y esta señal rectificada se aplana con ayuda de un condensador de 470 o 1000 µF. La tensión resultante está lejos de ser plana, pero el circuito no necesita más.



Notas

N.A. = contacto Normalmente Abierto

N.C. = contacto Normalmente Cerrado

Lista de componentes

- **Transistores:**

  2 NPN 2N2222 o equivalente (NTE 123).

- **Resistencias:**

  1 potenciómetro de 47 KΩ (1/4 W), 1 de 4.7 KΩ, 1 de 1 MΩ (Megaohmios)

- Condensadores: 1 de 470 µF (microfaradios) 25 Voltios (electrolíticos).

- **Diodos:**

  1 1N4002 o equivalente.

- **Otros:**

  1 LDR (fotorresistencia de cualquier valor), 1(relé conmutado) de 12 voltios (con la resistencia del bobinado lo más alta posible, (500 Ω o más), 1 transformador de 230 C.A. Voltios en el primario y de 9 voltios en el secundario, de 500 miliamperios.

Otros transistores

Transistor de efecto de campo (FET)

¿Por qué le llamamos Bipolar al transistor que acabamos de conocer?

Porque funciona jugando con el movimiento de huecos y electrones, esto es, los dos tipos de portadores.

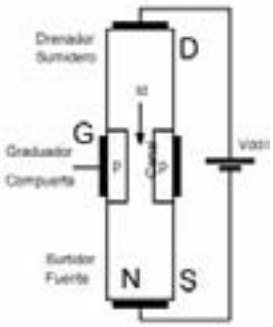
En el resto de los transistores las corrientes se deben a solo un tipo de portadores.

El transistor JFET (Juntion Field Effect Transistor) consiste en una barra de tipo N entera con una zona, hacia la mitad, estrangulada por una zona tipo P llamada Graduador o también Compuerta.

Si se aplica tensión entre los extremos de la barra, como ésta se encuentra íntegra, a través de ella fluye una corriente de valor importante.

Polarizando inversamente la unión compuerta-barra, en la zona de la Compuerta se produce un enrarecimiento de portadores o zona de agotamiento que dificulta la conducción.

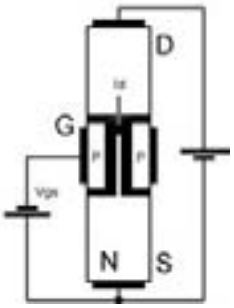
Se dice que el Canal, como se le llama a la sección de barra que queda frente a la Compuerta, se estrecha.

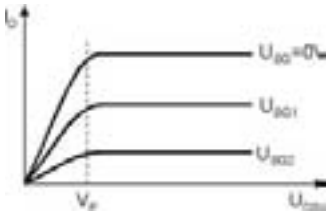


Por lo tanto, si aplicáramos una tensión inversa variable a la Compuerta (Gate) tendríamos una variación de la zona de estrangulamiento, variando así la conductividad de la barra de cristal N y por tanto la corriente que fluye por el Drenador.

¿No es lo mismo que un transistor bipolar trabajando como amplificador?

¿Se parece a un grifo que moviésemos rápidamente, cerrándolo y abriéndolo, de forma que variáramos el caudal que pasa por la cañería?



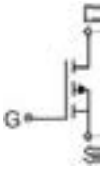


Los extremos de las barras podrían seguir llevando los mismos nombres que los del transistor bipolar, pero parece ser que sus inventores han preferido matizar llamando Surtidor al que hace las veces de Emisor, y Sumidero o Drenador al Colector.

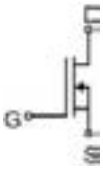
El JFET se emplea muchísimo menos que el BJT, fundamentalmente porque responde mal a altas frecuencias, aunque su amplificación es más pura (la corriente de salida no atraviesa ninguna unión PN, que introducen ruido en la señal), y su ganancia más estable.

Transistores MOSFET (FET Metal-oxido-semiconductor)

Canal N



Canal P



Canal N

Canal P

Los dos primeros símbolos son los Mosfet de enriquecimiento.

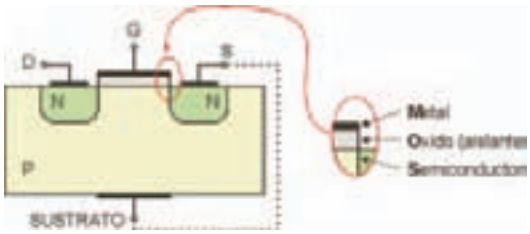
Los otros dos son Mosfet de empobrecimiento.

Mosfet de enriquecimiento canal N.

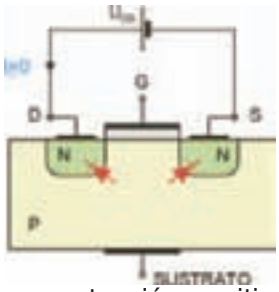
En este tipo de transistores la tensión de Compuerta (G) se aplica a una fina película de aislante de óxido.

La característica fundamental de estos transistores es que no circula corriente por la compuerta.

El óxido actúa como dieléctrico.

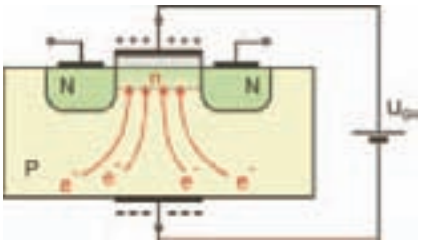


En principio, aplicando tensión UDS no tendríamos circulación de corriente por el Drenador, ya que hay dos barreras de potencial, una de ellas polarizada inversamente.

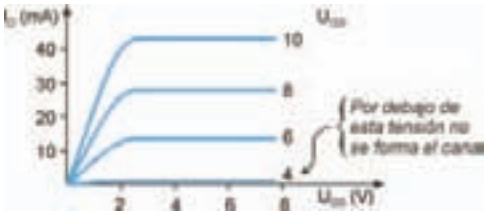


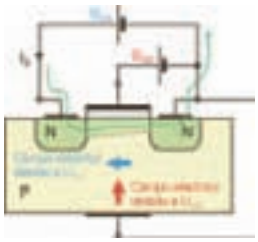
Si aplicamos tensión positiva a la compuerta, se producirá un desplazamiento de electrones a la zona cercana (en el cristal P), creándose una región rica en cargas negativas, y por tanto una región N, que anula las barreras de potencial anteriores y permite el paso de corriente de Id.

En la curva característica podemos ver que la intensidad de drenador crece linealmente, primero, para llegar a saturación, después.



Cuanto mayor sea la tensión Vgs más rápidamente crecerá la intensidad.





Transistores CMOS

En la figura vemos una pareja de transistores MOSFET, un NMOS y otro PMOS, unidos y formando la denominada tecnología CMOS, muy utilizada en la fabricación de circuitos integrados.

EL circuito sería un inversor lógico.

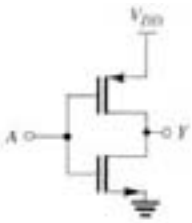
Cuando la tensión de entrada es 1 (nivel lógico alto) el transistor NMOS (abajo) conduce, pero el transistor PMOS (arriba) está en corte, por lo que la tensión en Y será de cero voltios (nivel lógico bajo).

Cuando la tensión de entrada sea cero, NMOS estará cortado y PMOS en saturación o conduciendo, siendo entonces la tensión de salida en Y igual a +VDD (nivel lógico alto).

La gran ventaja de los transistores CMOS es que su consumo estático (mientras no cambian de estado) es prácticamente nulo, pues ya hemos visto que trabajan por tensión y no por intensidad, además de que siempre uno de los dos transistores está cortado, por lo que no hay corriente ni por las Puertas ni por los Drenadores.

La configuración CMOS sólo consumirá corriente en la conmutación.

Ello lo hace muy interesante de cara a la integración en chips, donde la disipación de potencia es un tema a tener muy en cuenta.



Cómo fabricar componentes en casa

¿Quién puede dudar que fabricar componentes de forma casera es una idea, como mínimo, descabellada?

Pues bien, trataremos de demostrar que, aunque nadie fabrica microprocesadores en la cocina de su casa, existen una serie de trucos muy simples que nos permiten, de alguna manera, crear ciertos componentes a partir de otros.

En una primera instancia esto puede parecer algo inútil.

En efecto, ¿Para qué perder el tiempo en apaños pudiendo comprar el componente?

Pues bien, a veces resulta imposible conseguir ciertos componentes, ya sea porque su precio, disponibilidad o por falta de tiempo.

Otras, no vale la pena. Por ejemplo, ¿para qué colocar en un montaje un circuito integrado con cuatro compuertas cuándo sólo utilizamos una?

Y de esta forma se multiplican los ejemplos en los que es bueno conocer algunos pequeños trucos a la hora de necesitar un componente.

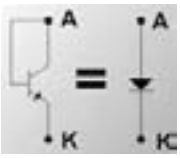
Sin más preámbulos comencemos, pues, con la información.

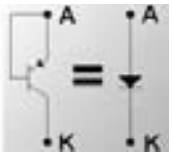
Componentes analógicos

Veamos cómo, a partir de cualquier transistor bipolar NPN ó PNP, se puede obtener un diodo.

La técnica es muy simple, y su base radica en el propio funcionamiento del transistor. Para obtener un diodo a partir de cualquier transistor, basta unir los terminales Base y Colector del mencionado componente.

De esta forma obtendremos un diodo cuyo ánodo será la base y el cátodo el emisor.





Lógicamente el nuevo diodo estará limitado por la corriente de base del transistor y por su tensión máxima de base-emisor.

A la hora de requerir diodos recordemos que el comportamiento en directo de un diodo Zener es exactamente igual al de un diodo convencional.

El único cuidado a tener en cuenta es que la tensión inversa no sea superior al valor de la tensión de Zener.

No solamente se pueden fabricar diodos.

Es factible, utilizar un SCR (tiristor, que veremos a continuación, en el capitulo siguiente) como un diodo de 4 capas (Shockley), si se lo conecta como muestra la figura:

En este caso la tensión de cebado (Vth) del nuevo diodo PNPN será aproximadamente Vz+1 voltio.

En donde Vz es la tensión de Zener de DZ.

R puede adoptar cualquier valor aunque se recomienda que no sea inferior a 100 Ω ni superior a 47k Ω.

Veamos cómo se puede realizar un foto transistor a partir de un transistor convencional. Como requisito el transistor a utilizar debe tener encapsulado del tipo TO-3 como, por ejemplo, un 2N3055.

Para realizar la conversión basta sólo con tomar una pequeña sierra y cortar la capa superior del encapsulado metálico.

De esta manera, permitiremos que la luz incida directamente sobre la pastilla de silicio, obteniéndose así un fototransistor en forma totalmente casera.

Para realizar este proceso es necesario ser muy cuidadoso para no dañar la peque-

ña pastilla de silicio. Si se desea aumentar la sensibilidad puede ser conectado en Darlington con un transistor convencional.

Una forma de obtener resistencia de precisión es la siguiente:

En primer lugar se debe estar seguro de que la resistencia en cuestión es de carbón.

Seguidamente se lima la resistencia con una pequeña lima, y se comprueba su valor con un Ohmetro.

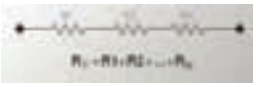
Lógicamente el valor inicial de la resistencia debe ser superior al requerido.

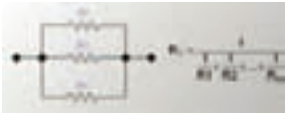
Finalmente la precisión mejora aún más si la resistencia es algo vieja.

Esto hace que su deriva en valor sea muy pequeña.

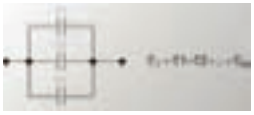
Finalmente, no está demás recordar que se puede obtener cualquier valor de resistencia o capacidad a través de una adecuada combinación de resistencias/condensadores.

Las resistencias se suman directamente en serie, mientras que en paralelo la resistencia total es la inversa de la suma de las inversas de cada resistencia. Es decir:





Matemáticamente se opera de forma inversa con los valores de capacidad. O sea:



Construcción de una celda solar con un transistor.

Celda Solar: Oblea de silicio que convierte la energía proveniente de la luz directamente en electricidad.

Las celdas solares también se conocen como celdas fotovoltaicas. Foto de luz y voltaico de voltaje.

Cuando se exponen a la luz, las celdas solares son fuentes efectivas de energía. No proveen energía cuando es de noche. Sin embargo, cuando están expuestas a la luz, la energía se puede almacenar conectando las celdas solares con baterías recargables.

Las celdas solares proporcionan solamente voltaje de corriente continua (DC).

En esta ocasión vamos a tratar el tema de la fabricación de una fotocelda con transistores.

Precaución:

Los transistores antiguos de germanio contenían substancias tóxicas.

Como ya se indicó en el inicio, las celdas solares son obleas silicio, los transistores también y algunos de germanio.

Para nuestro proyecto usaremos transistores de potencia, tales como el 2N3055 (NPN) u otros similares de preferencia de los que se consiga.

Procedimiento:

Tomando las precauciones del caso, procedemos de la siguiente manera:

Quitamos la tapa superior del transistor, a modo de dejar descubiertas, sus conexiones interiores, tal como se observa en la figura.

Luego conectamos el colector al emisor, de esta manera tendremos únicamente 2 puntos de conexión.

El colector y emisor serán el positivo y la base el negativo, el voltaje que entregará será de aproximadamente 0,6 voltios.

Prueba:

Para verificar el funcionamiento de la celda solar la colocamos de forma que la luz solar incida sobre los elementos del transistor que quedaron descubiertos cuando quitamos la tapa que los cubría, y colocamos un multímetro en los pines.

Es obvio que este proyecto no servirá para alimentar una radio a transistores, ya que el amperaje es mínimo, pero se podrá entender el funcionamiento de las celdas solares.

Podremos tratar de hacer un pequeño cargador solar interconectando varios transistores, en serie, para obtener, por ejemplo, 1,8 voltios con 3 transistores y ver en que tiempo se carga una pila recargable triple A, por ejemplo.