

Capítulo 1. Historia y fundamentos físicos de un transistor.

1.1 Fundamentos del transistor TBJ

1.1.1 Corrientes en un transistor de unión o TBJ

El transistor bipolar de juntura, o TBJ, es un dispositivo electrónico de estado sólido formado por dos uniones pn en contraposición; en la figura 1.1(a) se muestra un ejemplo simple, compuesto por una capa de material p entre dos regiones de material tipo n ; este tipo de transistor es del tipo nnp , debido a la disposición de los materiales que lo forman; el otro tipo de TBJ es el pnp . Las terminales son llamadas *base*, *emisor* y *colector*. El símbolo para el transistor nnp se muestra en la figura 1.1(b).

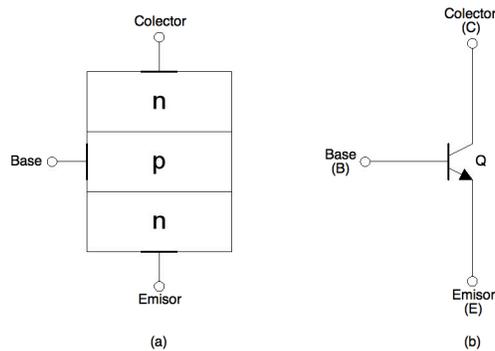


Figura 1.1 (a) Estructura y (b) símbolo de un transistor bipolar.

La figura 1.1(a) puede sugerir que el dispositivo es simétrico respecto al colector y el emisor, pero en realidad, las dimensiones y el nivel de dopado de estas dos regiones son diferentes. En otras palabras, estas dos regiones no pueden ser intercambiadas. En la figura 1.2 se muestra la construcción planar de un TBJ de tipo nnp . El emisor y el colector son estructuras de un mismo tipo, pero presentan características muy diferentes en cuanto a la cantidad de portadores que contienen.

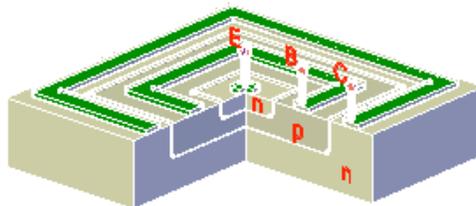


Figura 1.2 Estructura física de un TBJ tipo npn planar.

Bajo ciertas condiciones, el transistor se comporta como una fuente de corriente controlada por voltaje, más específicamente, una fuente de corriente entre el colector y el emisor, controlada por la diferencia de voltaje entre la base y el emisor. Las condiciones para que lo anterior se cumpla son que la unión *base-emisor* debe polarizarse en directa, mientras que la unión *base-colector* en inversa. Cuando estas características se cumplen simultáneamente, se dice que el transistor se encuentra trabajando en la *región activa directa* o en *modo activo*. En esta región es donde se manifiestan las propiedades de amplificación del transistor. En la figura 1.3 se muestran los sentidos de las corrientes dentro de un transistor cuando éste se encuentra trabajando en la *modo activo*.

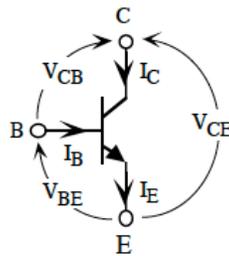


Figura 1.3 Sentido de las corrientes en un transistor bipolar del tipo npn.

De la figura 1.3 se observa que

$$I_E = I_B + I_C$$

y

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

Si se analiza el transistor como un dispositivo bipuerto, se tiene que las terminales *base* y *emisor*, forman el puerto de entrada, mientras que el puerto de salida está formado por las terminales *colector* y *emisor*. Bajo este análisis, se pueden obtener las características *v-i* del transistor.

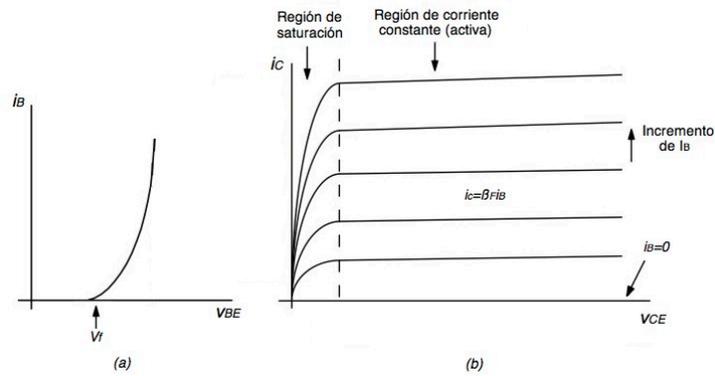


Figura 1.4 (a) Puerto de entrada (b) puerto de salida.

La característica $v-i$ del puerto de entrada *base-emisor* está relacionada con la característica $v-i$ exponencial de la unión *base-emisor*. Específicamente se puede expresar la corriente de base en términos de v_{BE} mediante la ecuación

$$i_B = \frac{1}{\beta} I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \quad \text{donde: } \begin{array}{l} I_S = \text{Corriente de saturación inversa} \\ V_T = \text{Voltaje térmico} \end{array}$$

La altura de la porción horizontal de la curva i_C-V_{CE} depende del valor de la corriente de base del puerto de entrada i_B . La corriente de colector a lo largo de esta región plana está relacionada con la corriente de base en la siguiente ecuación

$$i_C = \beta_F i_B$$

El parámetro β_F se conoce como *ganancia de corriente en cd* del transistor. En las hojas de datos de los transistores es más común encontrar este parámetro como h_{FE} .

El transistor TBJ es básicamente un dispositivo incremental en el cual los incrementos positivos en i_B llevan a incrementos positivos en i_C . En vista de las propiedades tipo diodo de la unión base-emisor, las corrientes de base negativas no pueden influir en un TBJ *npn*. El valor $i_B=0$ representa en el TBJ el umbral para la conducción de la corriente de base.

1.1.2 Modos de operación de un transistor bipolar

El TBJ presenta cuatro modos de operación, de acuerdo a la polarización de sus uniones. En la tabla 1 se muestran las polarizaciones de las uniones para los cuatro modos de operación.

Tabla 1.1 Polarización de uniones en los distintos modos de operación del TBJ

Modo de operación	Polarización unión base-colector	Polarización unión base-emisor
Corte	Inversa	Inversa
Saturación	Directa	Directa
Activa Directa	Inversa	Directa
Inversa	Directa	Inversa

Corte

Cuando el transistor se polariza en la región de corte se tiene que $I_C=I_E=0$, es decir, no hay corriente circulando entre el colector y el emisor. Este caso se presenta cuando la corriente de base es muy pequeña como para “encender” el transistor. El estado de corte se utiliza en aplicaciones de conmutación, porque el transistor se comporta como un interruptor abierto.

Saturación

Se dice que el transistor está saturado cuando $I_C=I_E= I_{MAX}$. En este caso la polarización directa de la unión *base-colector* evita que pasen los electrones provenientes del *emisor*. Sin embargo provoca que el voltaje entre el *colector* y el *emisor* sea prácticamente nulo. El estado de saturación se utiliza en aplicaciones de conmutación, porque el transistor se comporta como un interruptor cerrado.

Activa directa

Esta región se encuentra entre las regiones de corte y saturación. Es en esta región donde se presenta la característica de amplificación del transistor al controlarse con el voltaje de la unión *base-emisor* la corriente que fluye entre el colector y el emisor.

Inversa

En esta región es como la región *activa directa*, pero sólo se mueven los electrones de fuga y no los mayoritarios, por lo que la amplificación no es buena.

1.1.3 Topologías de amplificador bipolar

Ya que el TBJ es un dispositivo de tres terminales, se tienen tres posibilidades para conectar la señal de entrada. De igual forma, con la señal de salida, se tienen tres opciones para medirla con respecto a tierra. En la figura 1.5 se muestran las distintas opciones de conexión, (a), (b) y (c) para la entrada, y (d), (e) y (f) para la salida. Con estas opciones se obtienen nueve posibles combinaciones de pares entrada-salida, y por lo tanto, nueve topologías de amplificador.

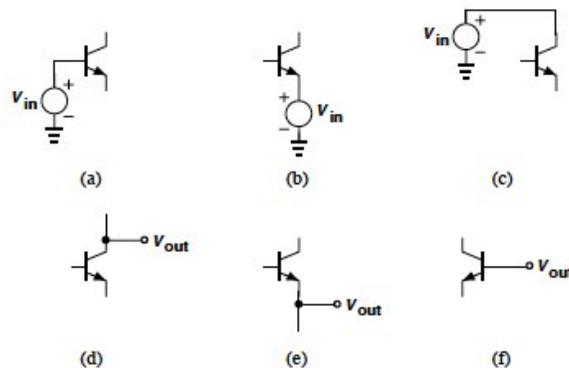


Figura 1.5 Posibles conexiones de entrada y salida de un transistor bipolar.

Para que el transistor opere como amplificador, es necesario que esté polarizado en modo activo, y con ello tener una variación en la corriente de colector, que responda a variaciones en el voltaje entre la base y el emisor. Esta propiedad deja fuera a la opción (c), porque al conectar la señal de entrada directamente al colector, esta no afectará el voltaje base-emisor. Tampoco es posible utilizar la opción (f) porque el voltaje de salida no está en función de la corriente de colector. Al eliminar este par de opciones tenemos que el número de combinaciones entrada-salida se reduce a sólo 4. Pero al analizar estas combinaciones se puede notar que si se utilizan las opciones (b) y (e) juntas, el voltaje medido a la salida será igual al voltaje de entrada y el circuito no proveería ninguna función.

Las observaciones anteriores reducen las topologías del amplificador a sólo tres opciones, en todas ellas el transistor opera en modo activo. El nombre de cada una de estas tres topologías es *emisor común*, *colector común* y *base común*. El término *común* se utiliza para indicar que dicha terminal está conectada a tierra y será la terminal común a los puertos de entrada y salida.

Emisor común

En la configuración de *emisor común* se combinan las opciones (a) y (d) de la figura 1.5. La señal de entrada se conecta a la base y la salida se mide en el colector, siendo el emisor la terminal *común* a estas dos señales.

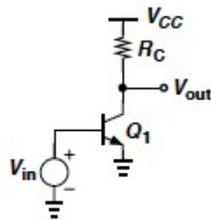


Figura 1.6 Topología de emisor común.

Base Común

La configuración de *base común* combina las opciones (b) y (d) de la figura 1.5. La señal de entrada se conecta al emisor y la salida se mide en el colector, siendo la base la terminal común a ambas señales.

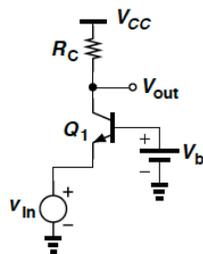


Figura 1.7 Topología de base común.

Colector común

Finalmente la configuración de *colector común* combina las opciones (a) y (e) de la figura 1.5. La señal de entrada se conecta a la base y la salida se mide en el emisor,

siendo el colector la terminal común a dichas señales. A esta configuración también se le conoce como emisor-seguidor.

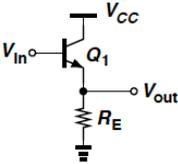


Figura 1.8 Topología de colector común.