

TRANSISTORES

El transistor es el ejemplo mas importante de elemento "activo", un dispositivo que permite construir dispositivos que entregan a la salida mas potencia que la de entrada. La diferencia de potencia es entregada por una fuente de alimentación externa al transistor. El transistor es el ingrediente esencial de todo circuito electrónico, desde amplificadores y osciladores hasta computadoras. Es muy importante entender bien el funcionamiento del transistor dado que si bien la mayoría de los circuitos que se usarán en la práctica serán circuitos integrados (CI) es necesario conocer las propiedades de entrada y salida de los CI para poder conectarlos a los circuitos y al mundo real. Esta introducción al transistor no estará dirigida a entender su funcionamiento elemental, ni será dada en términos de los parámetros h y circuitos equivalentes. Se tratará de dar un modelo elemental y ver como se pueden estudiar distintos circuitos a partir de ese modelo.

Modelo Elemental de transistor: Amplificador de corriente

El transistor es un dispositivo de tres terminales, llamados emisor, base y colector (ver Fig. 1) que puede ser "npn" o "pnp". Es decir, que se construyen uniendo dos materiales tipo N con un material tipo P en el medio (npn) o dos materiales tipo P con un material tipo N en el medio (pnp).

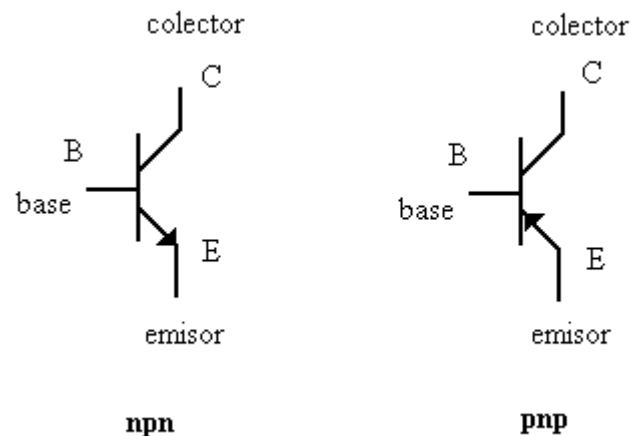


Figura 1

Un diodo es un dispositivo de 2 terminales, y por lo tanto su "estado" se caracteriza con dos variables independientes, por ejemplo I_d y V_d , la corriente que circula entre los terminales del diodo y la tensión entre esos terminales. En el diodo I_d y V_d no son variables independientes, sino que están relacionadas con la ecuación de Shockley.

En el caso del transistor, al ser un dispositivo de 3 terminales, se deben especificar mas variables para conocer su estado. En principio debo conocer cinco variables: la diferencia de potencial entre uno de los terminales y los otros dos (por ejemplo V_{BE} y V_{CE}) y las corrientes que circulan por cada uno de los terminales (I_C , I_B e I_E), aunque no todas serán independientes, como en el caso del diodo.

Desde un punto de vista fenomenológico, se puede pensar al **transistor "nnp"** como un dispositivo **que si se verifica que** (para el "pnp" solo invierta las polaridades):

1. El colector está a una tensión mas positiva que el emisor.
2. Los propiedades entre la base y el emisor y entre la base y el colector son las de un diodo (ver Fig. 2). (Normalmente el diodo base-emisor está conduciendo y el diodo base-colector esta en inversa.)
3. No se superan los valores máximos de corriente de colector (I_C), corriente de base (I_B) y tensión colector-emisor (V_{CE}) que soporta todo transistor sin romperse (deben consultarse las tablas de características de cada transistor para elegir el adecuado para cada caso, teniendo también en cuenta la potencia disipada, aproximadamente igual a $I_C V_{CE}$, la temperatura de operación, etc.).

ENTONCES:

4. I_C es aproximadamente proporcional a I_B

$$I_C = \beta I_B \quad (1)$$

donde β , la ganancia de corriente, es un número típicamente de orden de 100.

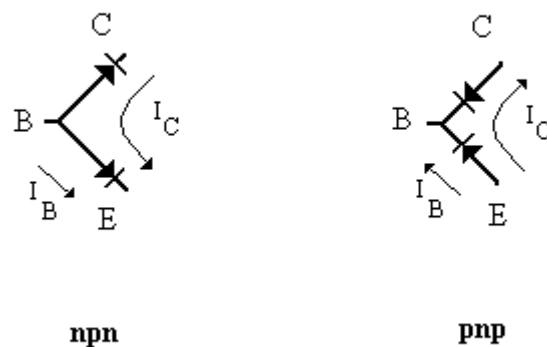


Figura 2

Como se ve en la figura 2, tanto la corriente de colector como la de base salen por el emisor (los sentidos se invierten en el pnp), verificando, por conservación de la carga, que:

$$I_E = I_C + I_B . \quad (2)$$

(Téngase presente que I_C no se produce porque el diodo base-colector esté en directa, ya que está en inversa. Este efecto debe pensarse como una propiedad del transistor.)

Usando las ecuaciones (1) y (2), es posible escribir I_E e I_C como función de I_B .

Para algunos usos es necesario reemplazar la ecuación (1) por una aproximación mejor, y en ese caso se utiliza una ecuación similar a la de Shockley para el diodo, conocida como ecuación de Ebers-Moll, que relaciona I_C con V_{BE} :

$$I_C = I_S [\exp(V_{BE} / V_T) - 1]$$

Y como V_{BE} e I_B cumplen una relación similar, por ser esa juntura un diodo en directa, es posible escribir para el transistor un modelo linearizado de primer orden como se hizo para el diodo.

La propiedad 4 es la que le da utilidad al transistor. Una pequeña corriente en la base controla una corriente mucho mayor que entra por el colector. La ganancia de corriente, β , es un parámetro que varía mucho aun entre transistores del mismo tipo y que depende de la corriente de colector, de la tensión colector-emisor y de la temperatura. Un circuito que depende del β de un transistor no es un buen circuito.

La propiedad 2 implica que no se puede aumentar la tensión base-emisor mucho mas de 0.6 a 0.8 V (la caída de tensión del diodo en directa) porque la corriente que circularía sería enorme. Esto mismo implica que en un transistor funcionando $V_B \approx V_E + 0.6 \text{ V}$ ($V_B = V_E + V_{BE}$). (V_B y V_E representan la diferencia de tensión entre la base y emisor y tierra, respectivamente. Las tensiones están dadas para un transistor npn y deben invertirse para uno pnp.)

Transistor como llave

El circuito de la figura 3 muestra un ejemplo en el que una pequeña corriente controla otra mucho mayor. En esta aplicación el transistor está funcionando como una llave.

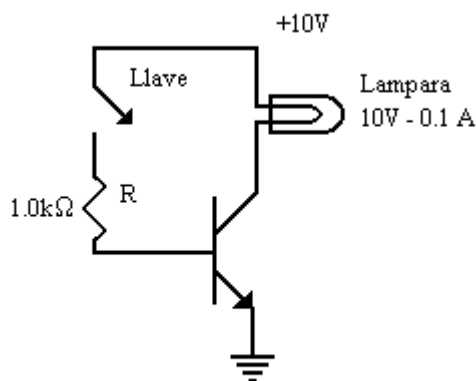


Figura 3

Analicemos este circuito utilizando las reglas 1-4. Cuando la llave mecánica está abierta no hay corriente de base. Por la regla 4, I_C es cero y la lampara está apagada. Cuando la llave mecánica está cerrada la tensión de la base aumenta a aproximadamente 0.6 V (el diodo base-emisor esta conduciendo en directa). La caída en la resistencia R es 9.4 V y por lo tanto $I_B = 9.4 \text{ mA}$. Si se aplica la regla 4, $I_C = 940 \text{ mA}$ ($\beta \approx 100$), pero eso no es cierto porque esa corriente viola la regla 1. Por la resistencia de la lampara, para una corriente de 100 mA habrá una caída de tensión en ella de 10V. Para que circule una corriente mayor se debería tener una tensión en el colector-emisor negativa, violando la regla 1. Al estado en el que la tensión colector-emisor se hace cero (típicamente 0.05 a 0.2 V) se lo denomina *saturación*. Quiere decir que cualquier corriente de base mayor que la que se necesita para producir una corriente de colector de 100 mA producirá el mismo resultado, una corriente de colector de 100 mA y la lampara se prenderá. Aplicar una corriente se base un poco mayor (por ejemplo 5-10 veces) que la mínima requerida hace al buen diseño del circuito, pues permite independizarse del valor exacto de β .

El circuito de la figura 3 se puede mejorar agregando una resistencia, por ejemplo de 10 K Ω , entre la base y tierra. Cuando la llave está abierta esta resistencia asegura que la base esta conectada a tierra. Cuando la llave está cerrada si la base está a 0.6 V la corriente por la resistencia de 1 k Ω seguirá siendo 9.4 mA, de los cuales 0.06 mA se irán por la resistencia de 10 K Ω ($0.6\text{V} / 10 \text{ K}\Omega$) y el resto entrará en la base del transistor. Como ya vimos, que por la base circulen 9.4 mA o 9.34 mA no modifica el hecho de que la lamparita se prenda, así que la resistencia de 10 K Ω no influye cuando la llave está cerrada.