

PRÁCTICA 4.- EL TRANSISTOR BIPOLAR

1. OBJETIVOS.

- Características del transistor.
- Funcionamiento del transistor.

2. INTRODUCCIÓN.

Si la aparición del diodo supuso un gran avance para una electrónica basada en tubos de vacío; el descubrimiento del transistor representó una explosión en la industria electrónica, que vio como se reducían los equipos tanto en coste como en dimensiones, se desarrollaban aplicaciones hasta entonces imposibles de lograr y abría el camino de investigación, base del desarrollo actual en todos los campos.

Se distinguen dos tipos de transistores:

Transistores bipolares: en los que al igual que en el diodo la corriente establecida se debe a portadores tanto positivos (huecos) como negativos (electrones).

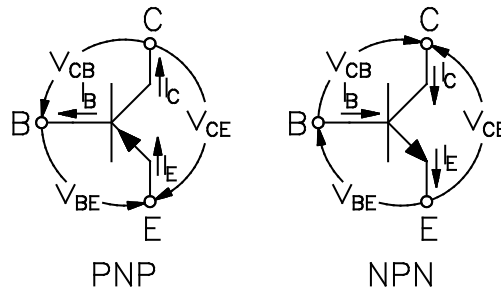
Transistores unipolares: en los que la corriente establecida se debe a un sólo tipo de portador, el signo de este dependerá del material utilizado en su fabricación. Estos transistores son algo menos conocidos debido a que los bipolares fueron los inicialmente descubiertos y por ello los más desarrollados.

3. EL TRANSISTOR BIPOLAR. EFECTO TRANSISTOR.

Un transistor es un dispositivo semiconductor de tres terminales cuya resistencia interna puede ser variada dependiendo de la señal aplicada a uno de los citados terminales. Esta propiedad permite que se pueda gobernar la corriente del circuito en el que esta inserto. Su nombre viene del inglés TRANSfer-reSISTOR.

Los transistores bipolares se construyen, como los diodos, sobre cristales de silicio que son dopados con distintos tipos de impurezas. El transistor consta de tres capas, por lo que podemos encontrar transistores *pnp* o *npn*. Si dos transistores, uno *pnp* y otro *npn*, son fabricados sobre el mismo cristal de silicio habrán sufrido el mismo dopaje y tendrán las mismas características, a estos transistores se les conoce como complementarios. Las tres capas que determinan sus terminales son:

- *Base (B):* este terminal permite el gobierno de la corriente que circula por el circuito principal conectado entre colector y emisor. Su espesor es el menor de las tres capas.
- *Colector (C):* por este terminal entra (o sale si es *pnp*) la corriente principal que debe ser gobernada. Esta capa esta más dopada que la base.
- *Emisor (E):* es el terminal de salida (o entrada si es *pnp*) del transistor. Es la capa más dopada.



**Fig. 4. 1: Simbología en transistores bipolares.
Con el sentido convenido para sus magnitudes.**

Se puede apreciar que el transistor tiene dos uniones PN en oposición denominadas, colector-base y base-emisor, y cuyas tensiones umbrales serán aproximadamente 0.7V. Ante tensiones aplicadas estas uniones conducirán o bloquearán la corriente dependiendo de las polaridades. Así, si ambas uniones son polarizadas directamente circularán corrientes relativamente elevadas. Si las polarizaciones son inversas, circularán las corrientes inversas de cada una de las uniones.

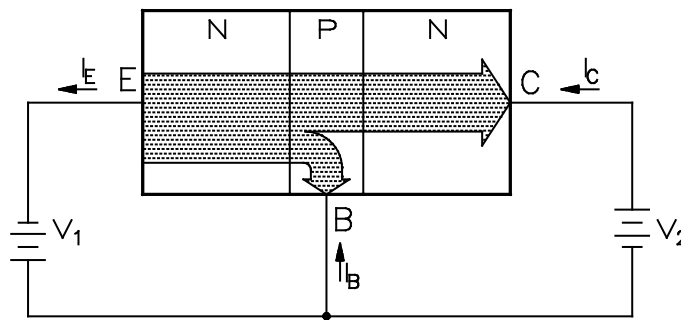


Fig. 4. 2: Representación de la corriente de e^- en el interior del transistor. Efecto transistor.

También se podría proceder, considerando un transistor *npn*, a polarizar la unión base-emisor directamente y la unión base-colector inversamente; con lo que se podría pensar que la corriente en la unión de emisor sería elevada y en la de colector sería despreciable. Procedamos a ver que sucede realmente sobre la figura 4.2:

Si la polarización de la unión de base-emisor es directa circulará una corriente no nula originada principalmente por electrones del emisor, al ser ésta la capa más dopada y la base la menos dopada. Gran número de estos electrones tras llegar a la base podrán alcanzar la unión de colector, al ser la base una capa delgada, estos electrones serán "aspirados" por el campo existente en la unión colector-base. Dicha unión soportaba una pequeña corriente inversa que se verá incrementada en una magnitud considerable ante el aporte de electrones procedentes del emisor.

Este efecto, consistente en el paso de un elevado número de portadores a través de una unión *N-P* polarizada inversamente, recibe el nombre de efecto transistor. La magnitud de este efecto se controla por el grado de polarización de la unión de emisor. Otros factores que influyen y que se definen a la hora de la fabricación son: el ancho de la base, el dopaje de cada capa y la proximidad entre ellas. Por estas características constructivas es fácil de comprender que el montaje de dos diodos unidos por uno de sus

extremos en absoluto es equivalente y es imposible que dé la misma respuesta que el transistor.

4. ANÁLISIS DE TENSIONES Y CORRIENTES.

Cuando el transistor está polarizado como en la fig. 4.2, se originan tres corrientes diferentes, que son la de base I_B , la de colector I_C y la de emisor I_E , de manera que aplicando la ley de nudos de Kirchoff se cumple la siguiente igualdad:

$$I_E = I_B + I_C \quad (4.1)$$

Es fácil deducir que $I_E > I_C$, aunque son valores muy próximos, ya que la corriente I_C está formada mayoritariamente por los electrones que forman I_E . Debido a esta relación electrónica entre las dos corrientes se suele trabajar con un factor que nos indica la relación entre las dos magnitudes:

$$\alpha = -\frac{I_C}{I_E} \Rightarrow I_C = -\alpha I_E \quad (4.2)$$

El signo negativo de α se debe al diferente sentido de las corrientes y su valor suele estar entre 0.95 y 0.99. Combinando las ecuaciones 4.1 y 4.2 podemos representar la corriente de base por:

$$I_B = -(1 - \alpha) I_E \quad (4.3)$$

Puesto que los valores típicos de α son muy próximos a la unidad, I_B resulta muy pequeño comparado con I_E siendo I_C e I_E prácticamente iguales. A veces es conveniente expresar las corrientes de colector y de emisor en función de la corriente de base, mucho más pequeña. Combinando 4.1 y 4.2 se obtiene:

$$I_C = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B = \beta I_B \quad (4.4)$$

$$I_E = \frac{-I_B}{1 - \alpha} = -(\beta + 1) I_B \quad (4.5)$$

donde :

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}; \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (4.6)$$

El factor β expresa la relación entre la corriente de mando I_B y la corriente gobernada I_C . Su valor suele estar comprendido entre 50 y 500 llegándose a encontrar transistores con valores superiores a 1000. Se le conoce también como parámetro h_{FE} .

Por la ley de mallas podemos escribir la relación entre las tensiones, como se puede ver en la figura 4.1:

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} \quad (4.7)$$

5. CARACTERÍSTICA DEL TRANSISTOR. ESTADOS DE FUNCIONAMIENTO.

Con un circuito como el representado se puede obtener la curva característica del transistor, o mejor dicho, la familia de curvas.

En la Fig. 4.3, se muestran las curvas características de salida del transistor.

A valores crecientes de I_B aumentan los valores de I_C independientemente del valor de V_{CE} . Se puede apreciar que para valores elevados de V_{CE} llegamos a la zona de ruptura por avalancha. La tensión de ruptura depende de la corriente de base como se puede comprobar.

Igualmente se aprecia que I_C crece bruscamente para valores bajos de V_{CE} , ello es debido a que al aumentar V_{BB} para que crezca I_B , la base queda a una tensión superior a la del colector y momentáneamente queda polarizada en directo la unión base-colector.

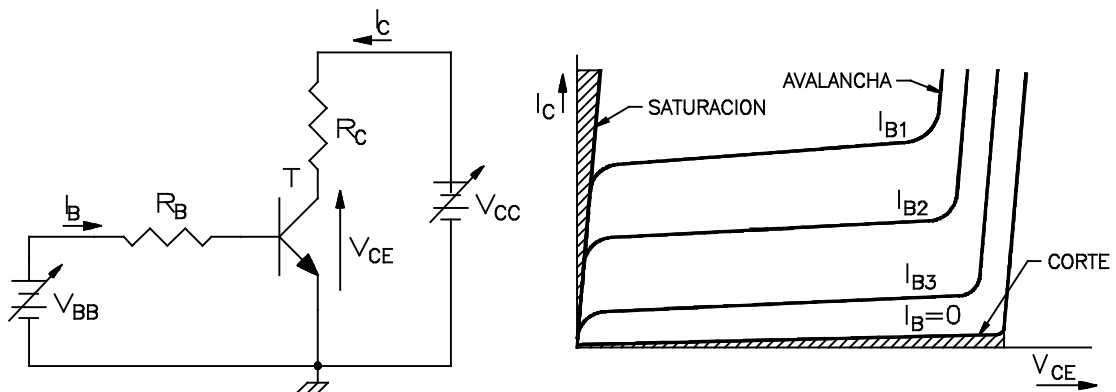


Fig.4. 3: Familias de curvas características del circuito de colector.

Un transistor se puede encontrar en tres estados de funcionamiento dependientes de las propiedades eléctricas existentes en el circuito principal de colector-emisor, es decir, de los valores que tomen I_C y V_{CE} . Dichos estados se denominan de *saturación*, *corte* y *activo*.

- *Saturación*: el comportamiento de un transistor saturado es equivalente a un interruptor cerrado. Para llegar a esta situación en un transistor *nnp* las uniones de emisor y colector deben quedar polarizadas directamente. En ésta situación el aumento de la corriente I_B no provoca aumento de I_C , permaneciendo ésta prácticamente invariable y disminuyendo la ganancia h_{FE} . La corriente de colector sólo se ve limitada por el circuito exterior. Desde un punto de vista general se considera que un transistor está saturado cuando: $V_{CE}=0.2V$, $V_{BE}=0.8V$ e $I_C \leq h_{FE} \cdot I_B$.
- *Corte*: De forma practica se podría considerar que el transistor está en *corte* o bloqueado cuando la corriente de base es cero o negativa, y en el circuito colector-

emisor circulará una pequeña corriente. De un modo riguroso el *corte* del transistor se define por las condiciones: $I_E = 0, I_B \leq 0, V_{BE} \leq 0V$ y $V_{CE} \cong V_{CC}$.

- *Activo*: es el estado en el que se produce el efecto transistor, estando la unión de base polarizada directamente y la de colector inversamente. A pequeños aumentos de I_B se producen grandes aumentos de I_C independientemente de la tensión aplicada al circuito colector-emisor. Las tensiones y corrientes toman los siguientes valores: $I_C = h_{FE} \cdot I_B$, $V_{BE} = 0.7V$ y $V_{CC} > V_{CE} > 0.2V$

6. COMPROBACIÓN DE TRANSISTORES.

Como sabemos los transistores bipolares pueden ser *pnp* o *npn* correspondiendo dicha secuencia de capas a colector-base-emisor. Pero los terminales de un transistor no necesariamente aparecen en este orden. Al igual que para los diodos, con un polímetro se puede identificar los terminales de un transistor así como comprobar su buen estado para ser utilizados. Los pasos a seguir serían:

1. Utilizar un polímetro en una de sus escalas más bajas como óhmetro. En el caso de ser un polímetro con comprobación de diodos, utilizar esta función. Señalar que las polaridades de las puntas de prueba en un polímetro digital y en uno analógico son opuestas.
2. Fijando una de las puntas de prueba en un terminal aplicar alternativamente la otra punta de prueba a los otros terminales del transistor. Realizar esta operación con cada terminal hasta conseguir que las dos medidas sean bajas. Esto indicará que la punta de prueba fija está aplicada sobre la base, si además dicha punta corresponde al polo positivo del polímetro el transistor es *npn*, si corresponde al negativo es *pnp*.
3. Sin cambiar la colocación de las puntas se puede conocer cual es el colector y el emisor. Para ello de las dos valores medidos uno será menor que otro. Este menor valor indicará que esa unión tiene más portadores, es decir está más dopada, recordando el apartado 4.2 se deduce que este nuevo terminal es el emisor.
4. El punto anterior no siempre se cumple, por ello hay que recurrir a otras reglas. Por ejemplo, muchos transistores tienen un encapsulado en el que el colector está conectado al cuerpo del transistor y a uno de sus terminales, luego podemos comprobar con el óhmetro que terminal está unido con el encapsulado. Muchos polímetros tienen medidor del parámetro h_{FE} luego en una de las posiciones que coloquemos el transistor se obtendrá dicha medida.
5. Si todas las medidas obtenidos en el punto 2 son elevadas, nulas o sólo una de ellas es baja el transistor está en mal estado y debe ser desechado.