

6.6. EL TRANSISTOR BIPOLAR COMO AMPLIFICADOR

Una de las principales aplicaciones del transistor es su utilización como amplificador de señal. Cuando se habla de amplificador de señal significa que lo que se amplifica no son las corrientes o tensiones continuas de polarización, sino las variaciones de corriente y tensión en el entorno de unos valores fijos de las mismas que sitúan el punto de trabajo en la zona activa.

Lo que se pretende al utilizar el transistor como amplificador es aumentar la amplitud de una señal eléctrica (que es en definitiva el soporte de una determinada información) sin modificar la frecuencia, con la mínima distorsión posible. Según esto, será necesario un circuito que ante una determinada señal de entrada presente a la salida una señal de igual forma de onda pero de mayor amplitud, tal y como muestra la figura F-6.53.

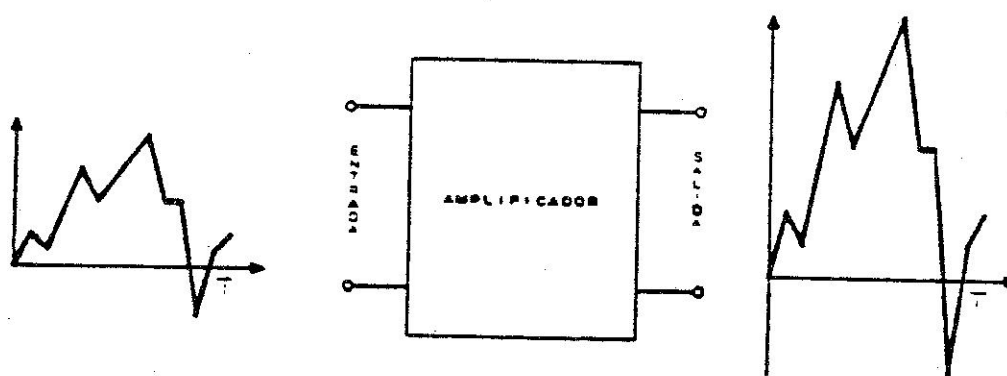


Fig. F-6.53. Esquema de un amplificador

Como el amplificador no es un dispositivo lineal es inevitable la existencia de distorsión. Sin embargo, para señales de pequeña amplitud en comparación con los valores de la polarización se puede admitir que el transistor se comporta linealmente.

En este apartado únicamente se hará una pequeña introducción al comportamiento del transistor bipolar como amplificador; para ello se recurrirá a hacer un análisis gráfico de un circuito simple de amplificación, como puede ser el mostrado a continuación:

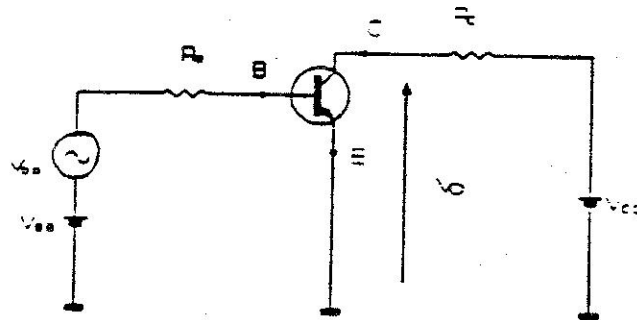


Fig. F-4.54. Circuito básico de amplificación

La notación a seguir para hacer el estudio de este circuito será la siguiente:

- Las señales continuas se nombrarán con letras mayúsculas (V_{BE} , V_{CE} , V_{CC} , V_{EE} , I_B , I_C , etc).
- Las señales variables serán nombradas con letra minúscula (v_{be} , v_o , i_b , etc).

Ante un circuito de este tipo, lo primero será hacer un estudio en continua (calcular el punto de trabajo del transistor) y a partir de ahí ver las variaciones que se producirán por el hecho de introducir la señal variable v_{be} .

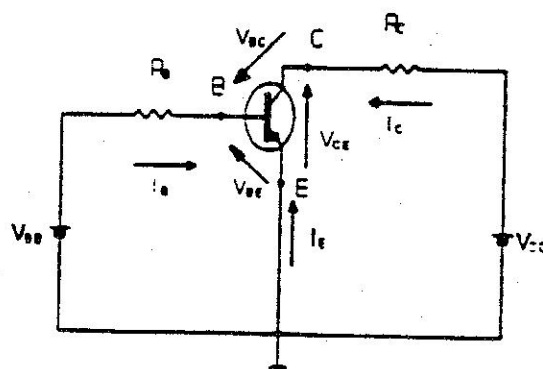


Fig. F-4.55. Circuito de polarización

Para el cálculo del punto de polarización se aplicará el teorema de superposición (se anulará el generador de señal variable v_{bb}), con lo que el circuito de la figura F-6.54 se convierte en el de la figura F-6.55.

Se ha visto en apartados anteriores la forma de calcular el punto de polarización de un transistor. En la figura F-6.56 se muestra el punto de trabajo del transistor sobre sus características V-I.

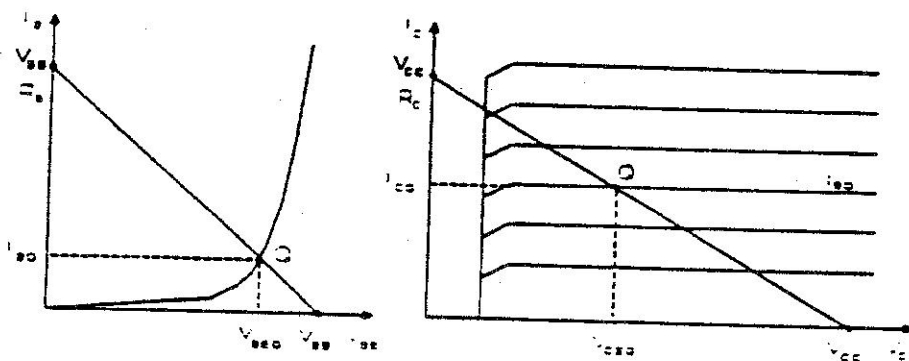


Fig. F-6.56. Punto de polarización del transistor

Conviene resaltar aquí que el transistor debe estar polarizado en zona activa, ya que es en esta zona donde la salida responde a variaciones de la señal de entrada, como lo indican las siguientes relaciones para la zona activa:

$$I_C = \beta_F I_B + (\beta_F + 1) I_{CO}$$

Suponiendo I_{CO} despreciable, queda

$$I_C = \beta_F I_B$$

con lo que la corriente de salida (de colector) será β_F veces mayor que la de entrada (base).

Una vez que se ha calculado el punto de polarización queda hacer el análisis del circuito con la señal variable. Para ello hay que tener en cuenta que dicha señal variable está superpuesta (sumada) a la señal continua, con lo que se producirán variaciones de la señal alrededor del punto de polarización. En la figura siguiente puede verse el fenómeno de ampliación de la señal de entrada sobre la característica V-I del transistor.

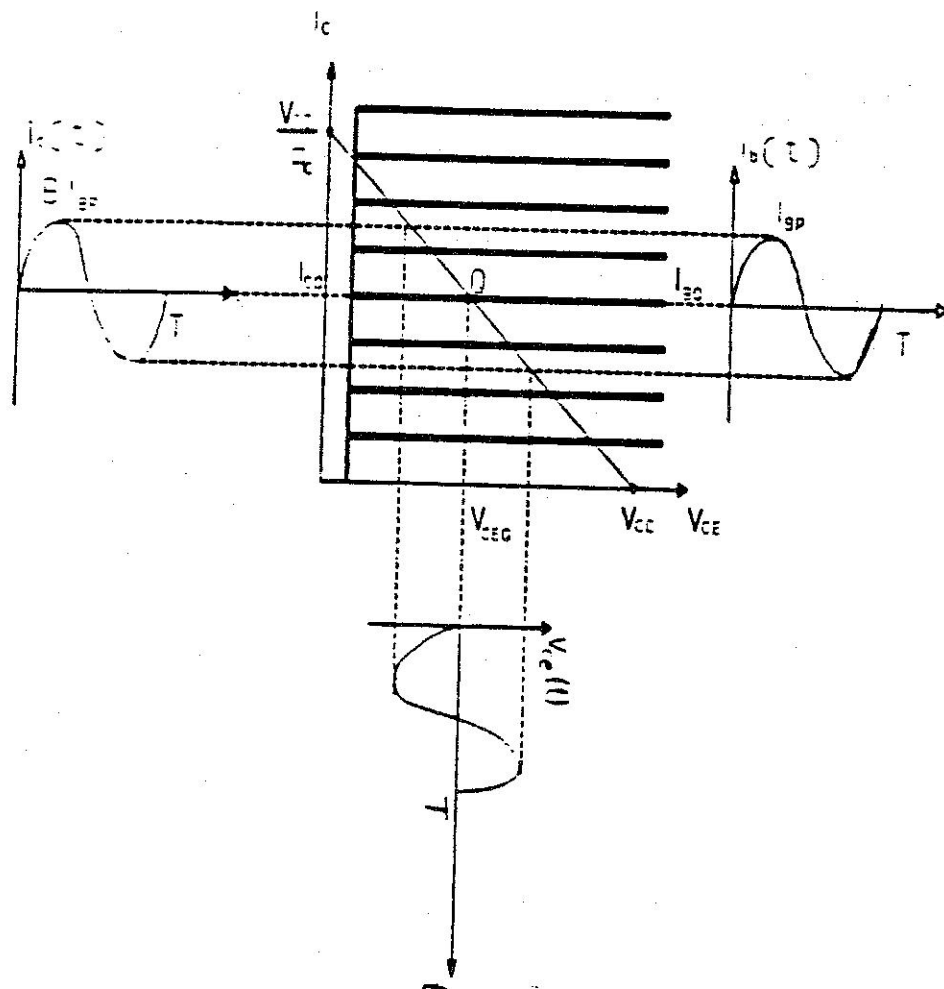


Fig. F-4.57. Análisis gráfico de un amplificador en Emisor Común

Por el hecho de tener la señal variable $v_{be}(t)$ se producen pequeñas variaciones en la corriente de base ($i_b(t)$) superpuestas a I_{BQ} . En la figura se aprecia como estas pequeñas variaciones de la intensidad de base producen grandes variaciones (unas β veces mayores) de $i_c(t)$ (superpuesta a I_{CQ}), así como grandes variaciones de $v_{ce}(t)$ (superpuesta a V_{CEQ}). Según esto, se ha conseguido una amplificación de la señal de entrada $v_{be}(t)$.

La señal de salida $v_{ce}(t)$ e $i_c(t)$ interesa que no tenga distorsiones, esto es que conserve la forma de la señal variable de entrada. Para ello es importante tener en cuenta los siguientes puntos:

1.- El transistor debe funcionar siempre en activa (no llegar ni a corte ni a saturación, ya que de esta forma la señal de entrada estaría recortada). Si las variaciones de $v_{be}(t)$ son simétricas interesa, en principio, polarizar al transistor en continua en el centro de la zona activa, esto es con $V_{CEQ} = (V_{CC} + V_{CESAT})/2 = V_{CC}/2$. Con esto se consigue una excursión máxima de la señal de salida.

2.- Las curvas del transistor $I_C = f(V_{CE})$ deben ser lo más homogéneas posible en la zona activa, dicho de otra forma, el parámetro $h_{FE} = I_C/I_B$ debe mantenerse constante en esta zona. En la siguiente figura puede observarse lo que ocurre si no se cumple esta condición.

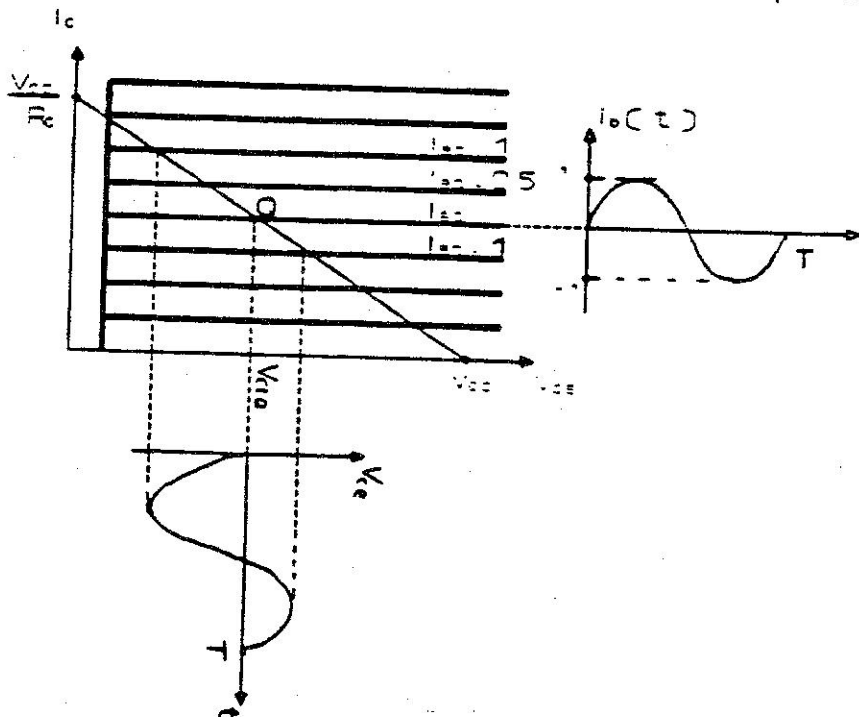


Fig. F-6.58. Amplificador con distorsión

Un circuito elemental de amplificación utilizando transistor bipolar se muestra en la figura F-6.59. Las diferencias entre este circuito y los anteriormente descritos están en que este circuito necesita solamente un batería de alimentación, tiene tres condensadores y es distinta la forma en que se introduce la señal de entrada, V_i , y se recoge la señal de salida, V_o .

Básicamente el comportamiento de este circuito es idéntico al anterior, siempre que la impedancia de los condensadores a la frecuencia de la señal de entrada sea despreciable. El condensador C_1 impide que la corriente continua circule por el generador de entrada (V_i), mientras que C_2 hace lo propio para la carga R_L . El tercer condensador desacopla la resisten

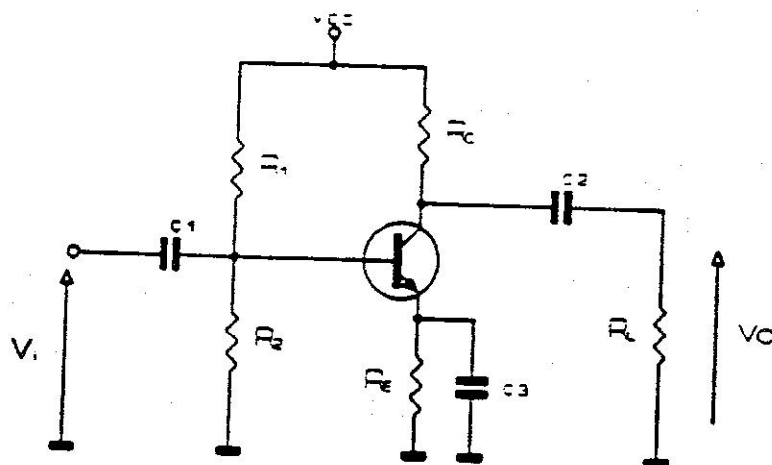


Fig. F-6.59. Amplificador en emisor común

cia de emisor (ver tema 4 : Condensadores), R_E ; es decir, frente a la señal de entrada el emisor del transistor está conectado a masa a través del condensador. Debe tenerse en cuenta que los condensadores a la frecuencia de la señal deben presentar una impedancia muy baja para que puedan cumplirse estas afirmaciones.

Aplicando el teorema de Thevenin a la izquierda de la base y el emisor del transistor, el circuito anterior se convierte en el de la figura F-6.60, en el que puede verse como la señal de entrada está superpuesta a la tensión continua de polarización. Asimismo, debe hacerse notar la similitud entre este circuito y el de la figura F-6.54.

Para calcular el punto de polarización del transistor habrá que tener en cuenta que en continua los condensadores se comportan como circuitos abiertos y los generadores de señal variable como cortocircuitos, con lo que el circuito de polarización se reduce al mostrado en la figura F-6.61.a, con su equivalente Thevenin en la figura F-6.61.b.

Una vez calculado el punto de polarización, la señal variable oscilará alrededor de dicho punto de trabajo como se indicó anteriormente.

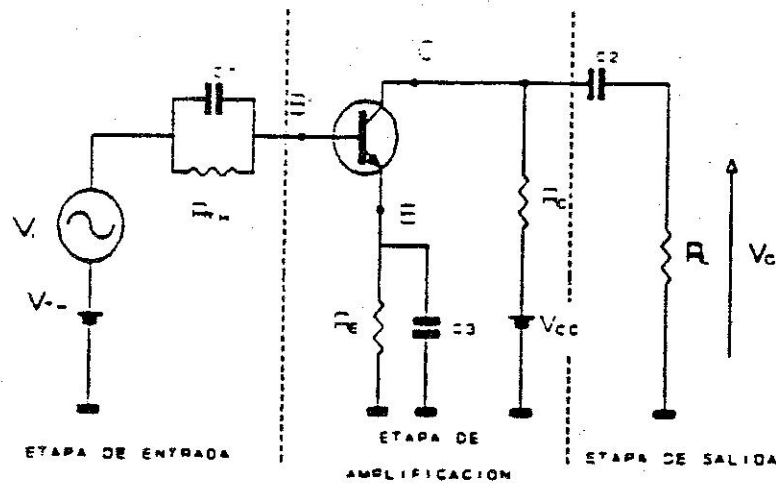


Fig. F-4.60. Circuito amplificador equivalente al de la figura F-4.59

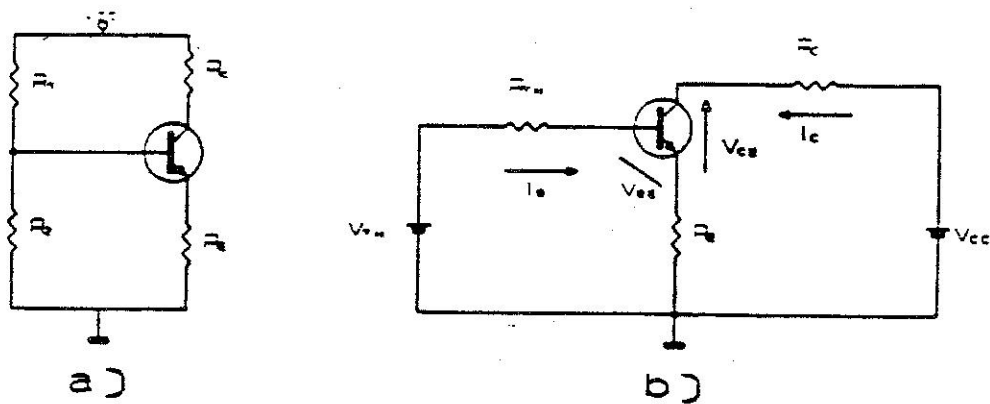


Fig. F-4.61. Circuito de polarización del amplificador de la figura F-4.59

6.7. EL TRANSISTOR BIPOLAR EN CONMUTACION

El transistor como conmutador se utiliza principalmente en sistemas digitales en los que se trata de conseguir dos estados estables perfectamente distinguibles entre sí. Por ejemplo, un estado será cuando el transistor esté funcionando en corte y el otro estado en saturación; o bien, puede ser también que en un estado esté en corte y el otro en activa, o incluso que en ambos estados esté en activa.

Al estado de funcionamiento correspondiente a la región de corte se denomina usualmente estado "OFF" y el correspondiente a la región activa o de saturación estado "ON". En "OFF" las corrientes en los terminales son pequeñas, mientras que en "ON" las corrientes son apreciables.

6.7.1. Modos de funcionamiento en conmutación

El estado OFF corresponde a un estado de alta tensión y baja corriente, por lo que se le suele llamar también estado de alta impedancia. Por el contrario, el estado ON se le suele denominar estado de baja impedancia y corresponde a una situación de baja tensión y alta corriente. En todos los casos, el estado OFF suele corresponder a una polarización del transistor en la zona de corte, mientras que el estado ON puede corresponder a las zonas activa o saturación. En el primer caso se dice que el transistor realiza la conmutación en modo corriente y en el segundo en modo saturación. En la figura F-6.62 se pueden ver los distintos modos de funcionamiento del transistor sobre las características de salida en emisor común.

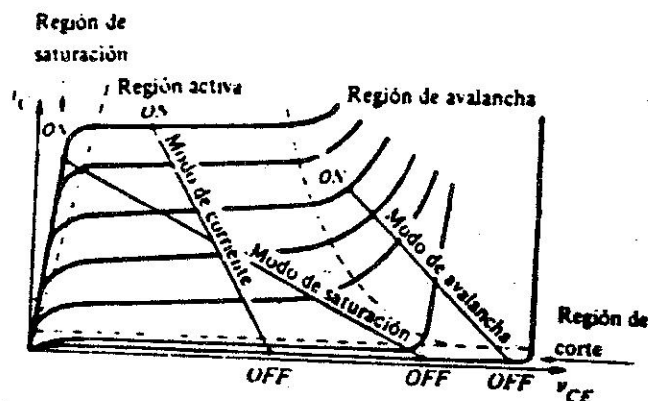


Fig. F-6.62. Modos de funcionamiento de un transistor como conmutador

El modo más utilizado es el modo saturación ya que es el que mejor reproduce las características de un conmutador ideal: en la región de corte se comporta prácticamente como un circuito abierto entre colector y emisor, mientras que en saturación se comporta casi como un cortocircuito. La principal limitación en el uso de este modo de funcionamiento es el tiempo de conmutación o tiempo necesario para que el transistor cambie de estado, por lo que cuando se requiere alta velocidad de conmutación no es apropiado este modo. En estos casos se suele recurrir al modo corriente, que no tiene tanta limitación en cuanto a la velocidad de conmutación.

6.7.2. Análisis gráfico de la conmutación

En este apartado se va a hacer un análisis gráfico de la conmutación en modo saturación, es decir, se trata de conseguir que el transistor en determinados momentos no conduzca (transistor en corte) y en otros sí lo haga (transistor en saturación).

Para hacer este análisis nos vamos a basar en el circuito de la figura F-6.63.

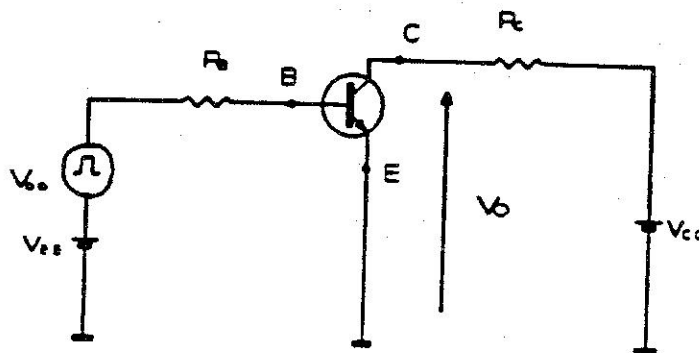


Fig. F-6.63. Circuito básico de conmutación

El proceso a seguir es análogo al empleado en la amplificación. Primeramente se analiza en continua el circuito para conseguir el punto de polarización y luego se observan las variaciones alrededor del punto de polarización debidas a v_{bb} .

Gráficamente, el análisis de este circuito es el mostrado en la figura F-6.64, en el que se observa cómo debido a la señal de entrada el transistor conmuta su estado de la zona de corte a la de saturación, produciendo a su salida una señal $v_{ce}(t)$ que puede tomar los valores 0 y V_{cc} voltios.

A la vista de la figura F-6.64 se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- 1.- El transistor se comporta como un interruptor entre colector y emisor. La conmutación de este "interruptor" es controlada por i_b .
- 2.- Las variaciones de la corriente de base (provocadas por $v_{bb}(t)$) deben ser lo

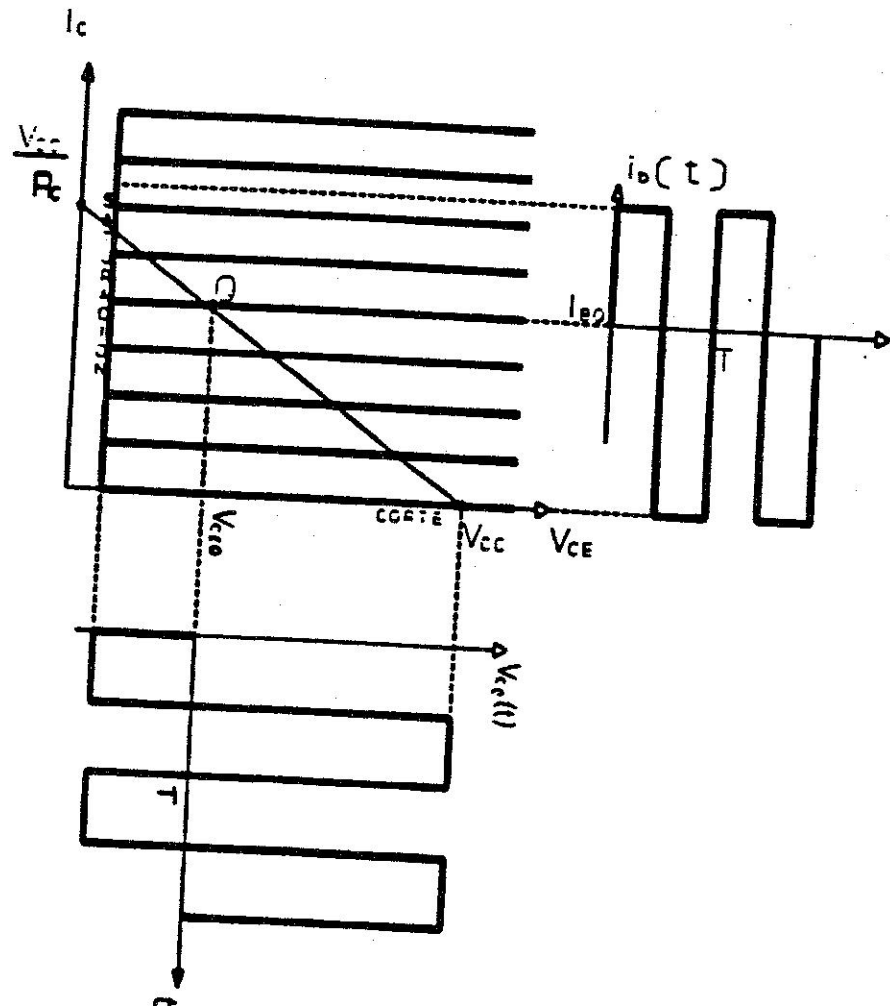


Fig. F-4.84. Análisis gráfico de la conmutación

suficientemente grandes como para llevar al transistor del corte a la saturación.

3.- Ahora no es tan importante como en el caso anterior que las curvas sean tan homogéneas en la zona activa, ya que sólo vamos a trabajar en corte y en saturación. Lo verdaderamente importante es que los tiempos de conmutación sean lo más pequeños posible. Estos tiempos de conmutación están ligados a los almacenamientos de carga y tiempos de vida medios de los portadores minoritarios de las uniones p-n.

4.- El transistor mientras está en corte y saturación apenas disipa potencia, ya que:

$$P_D = V_{CE} I_C$$

CORTE: $I_C = 0$

SATURACION: $V_{CE} = 0$

6.8. EL TRANSISTOR BIPOLAR COMO DIODO

Trataremos de ver en este apartado la forma de conseguir diodos de diversas características a partir de un transistor. Para ello se utilizarán las uniones empleadas para la construcción del transistor bipolar. Esto, que a nivel de componente discreto no parece tener excesiva utilidad, sí que la tiene cuando se trata de circuitos integrados, ya que simplifica en gran medida la construcción de dichos circuitos. Además, a la hora de analizar algunos circuitos, el transistor puede sustituirse por un diodo dependiendo de cómo esté conectado.

Son cinco las posibles configuraciones que permiten la transformación de un transistor bipolar en un diodo. Para ello nos apoyaremos en las ecuaciones de Ebers-Moll ya descritas en un apartado anterior.

1.- Unión Emisor-Base (Colector flotante)

La configuración es la siguiente:

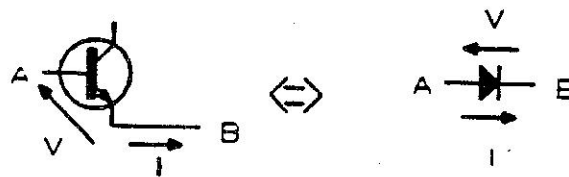


Fig. F-4.85. Configuración como diodo (E-B)

En este caso

$$V = V_{BE}$$

$$I_C = 0$$

$$I = -I_E = I_{EO} D(BE) = I_{EO} D(V)$$

que es la ecuación por la que se rige un diodo cuya corriente inversa de saturación (ver tema 5) es I_{EO} . Se ha conseguido un diodo a partir de un transistor bipolar entre la unión emisor-base con el colector en circuito abierto.

2.- Unión Colector-Base (Emisor flotante)

En este caso la configuración es la mostrada en la figura F-6.66.

$$V = V_{EC}$$

$$I_E = 0$$

$$I = -I_C = I_{CO} D(BC) = I_{CO} D(V)$$

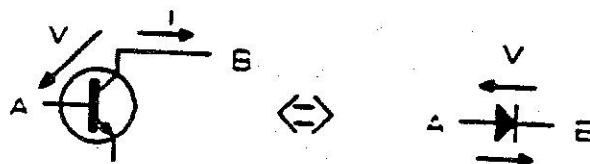


Fig. F-6.66. Configuración como diodo (C-B)

3.- Unión Emisor-Base (Colector unido a base)

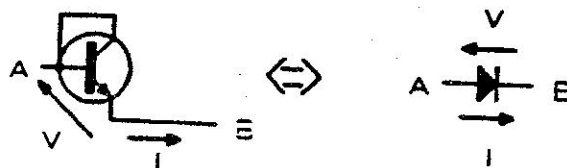


Fig. F-6.67. Configuración como diodo (E-B)

4.- Unión Colector-Base (Emisor unido a base)

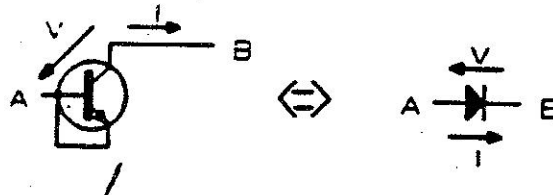
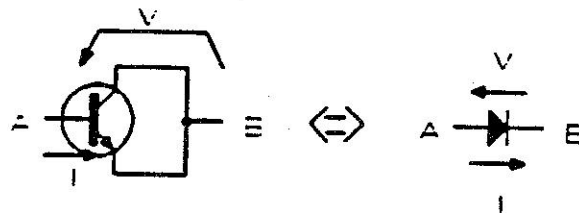


Fig. F-4.88. Configuración como diodo (C-B)

5.- Unión B-E y B-C en paralelo (Colector y emisor unidos)

Fig. F-4.89. Configuración como diodo ($V_{CE} = 0$)

Las características de las diferentes configuraciones son distintas, por lo que se elegirá una u otra en función de las necesidades.

- Si se desea una alta tensión de ruptura en inverso se emplearán las configuraciones 2 ó 4 que hacen uso de la unión B-C (el colector se dopa menos que el emisor, con lo que su unión puede soportar una tensión en inverso mayor).

- En cuanto a la corriente inversa de saturación en las configuraciones 1 y 3 es pequeña (la sección transversal del emisor es mucho menor que la de la base). Por otro lado, la configuración 5 tiene una gran corriente inversa al haber dos uniones en paralelo, con lo que se sumarán las corrientes de ambas uniones.

- El tiempo de recuperación es más corto en el caso 3 (el almacenamiento de carga es menor) y más largo en el caso 5 (hay almacenamiento de carga en las dos uniones a la vez).

- Por último, la configuración 3 corresponde a la tensión umbral en directo menor.