

Configuraciones del transistor

a) base común.

La terminología relativa a **base común** se desprende del hecho de que la base es común a los lados de entrada y salida de la configuración. Además, la **base** es usualmente la terminal más cercana o en un potencial de tierra como se muestra en la figura 11 con transistores pnp y npn.. Esta figura indica además los sentidos de la corriente convencional (Flujo de Huecos).

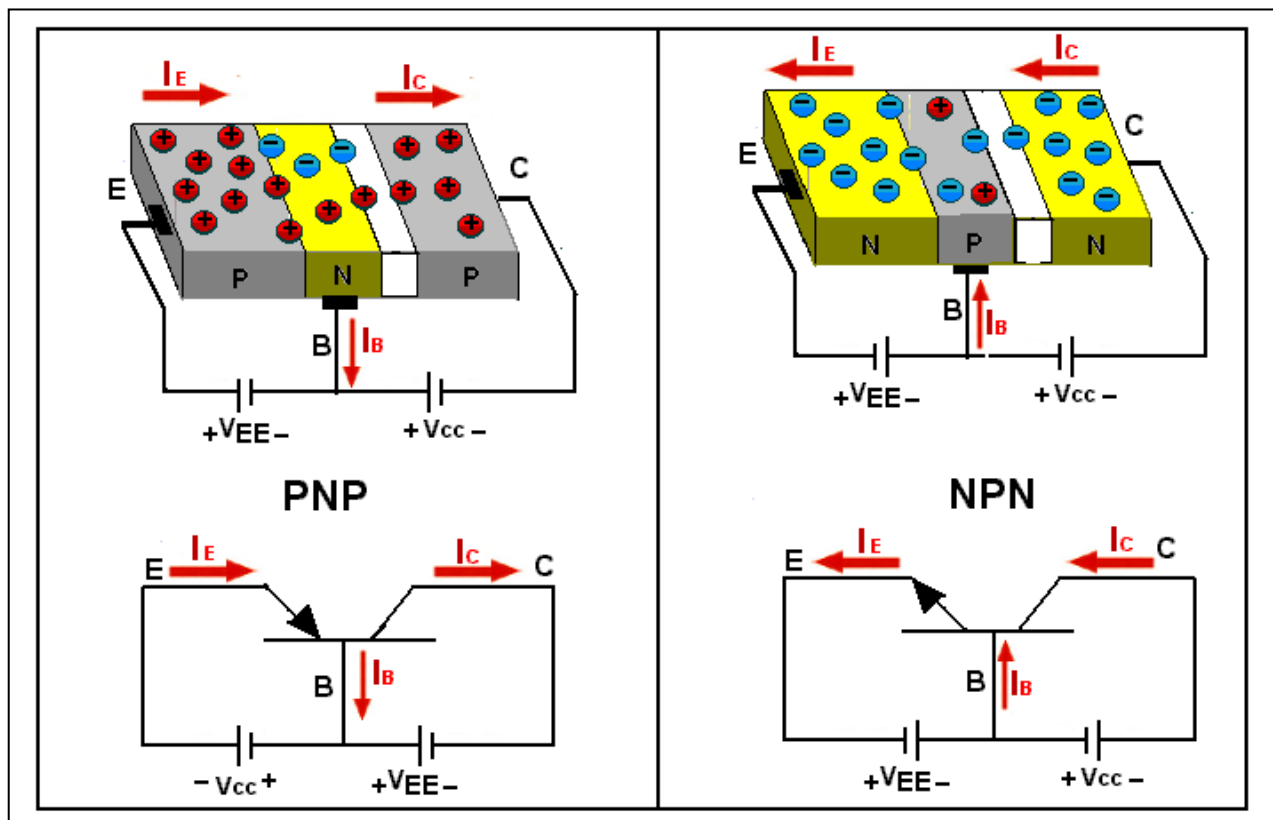


Figura #11 Configuración de base común.

De la figura #11, se puede observar que en cada caso $I_E = I_C + I_B$. También se nota que la polarización aplicada (fuentes de voltaje) es de modo que se establezca la corriente en la dirección indicada para cada rama. Es decir, compárese la dirección de I_E con la polaridad o V_{EE} para cada configuración y la dirección de I_C con la polaridad de V_{CC} .

Para describir por completo el comportamiento de un dispositivo de tres terminales, se requiere de dos conjuntos de características, uno para los parámetros de *entrada o punto de manejo* y el otro para el lado de *salida*. El conjunto de entrada para el amplificador de base común, como se muestra en la figura 12, relacionará una corriente de entrada (I_E) con un voltaje de entrada (V_{BE}) para varios niveles de voltaje de salida (V_{CB}).

Como se observa en la figura #12, lo que se tiene es la curva equivalente a la zona directa de un diodo, especialmente cuando la salida está polarizada muy inversamente, ($V_{CB} > 10V$).

El conjunto de salida relacionará una corriente de salida (I_C) con un voltaje de salida V_{CB} para diversos niveles de corriente de entrada (I_E). Esto es, corresponde a la zona inversa del diodo y por tanto, corresponde a una corriente básicamente constante sin importar el valor del voltaje inverso. Esto quiere decir, serán líneas rectas a lo largo del Eje que partirá de un valor aproximado a $-0,6V$. Para un transistor de Silicio.

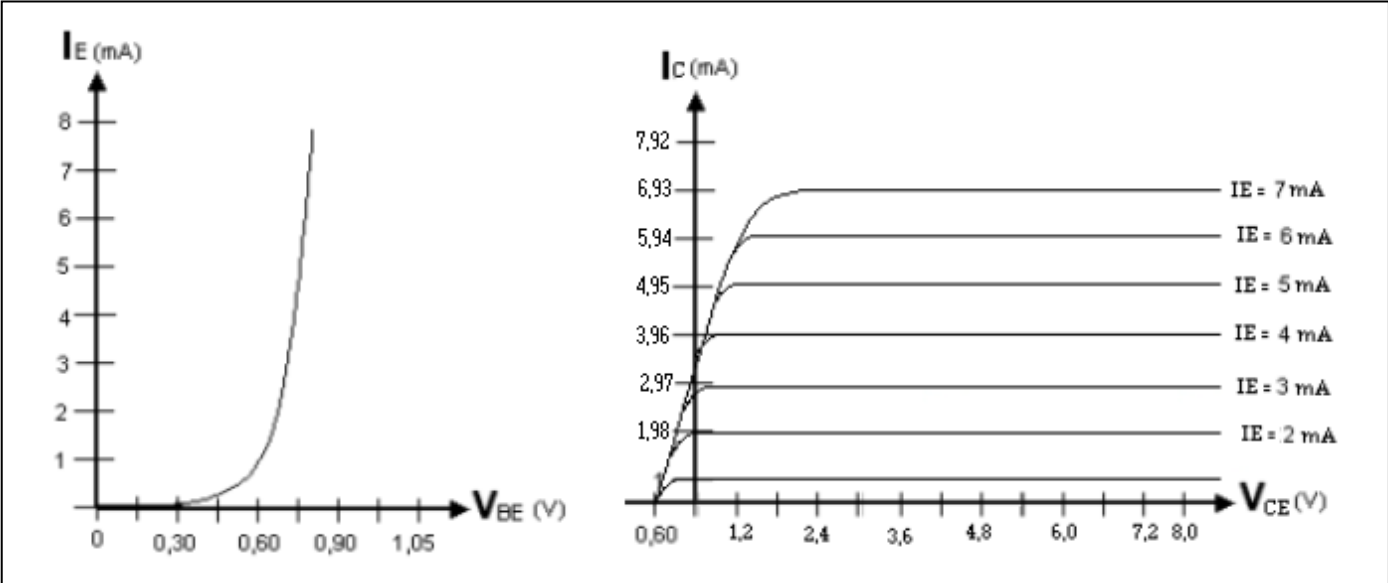


Figura #12: Curva característica de entrada

b) Configuración de emisor común.

La configuración de transistores que se encuentra con mayor frecuencia se muestra en la figura #13 para los transistores *pnp* y *npn*. Se denomina *configuración de emisor común* porque el emisor es común tanto a las terminales de entrada como a las de salida (en este caso, es también común a las terminales de la base y del colector).

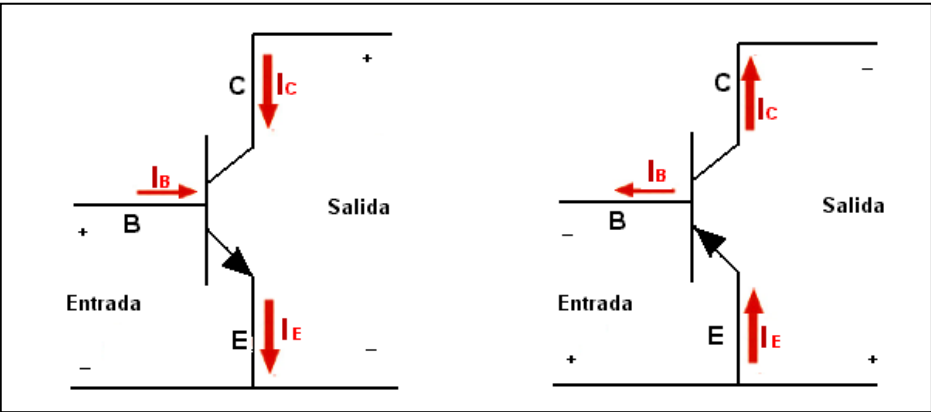


Figura #13

De nuevo se necesitan dos conjuntos de características para describir en forma completa el comportamiento de la configuración de emisor común: una para la *entrada o circuito de la base* y una para la *salida o circuito del colector*. Ambas se muestran en la figura 14.

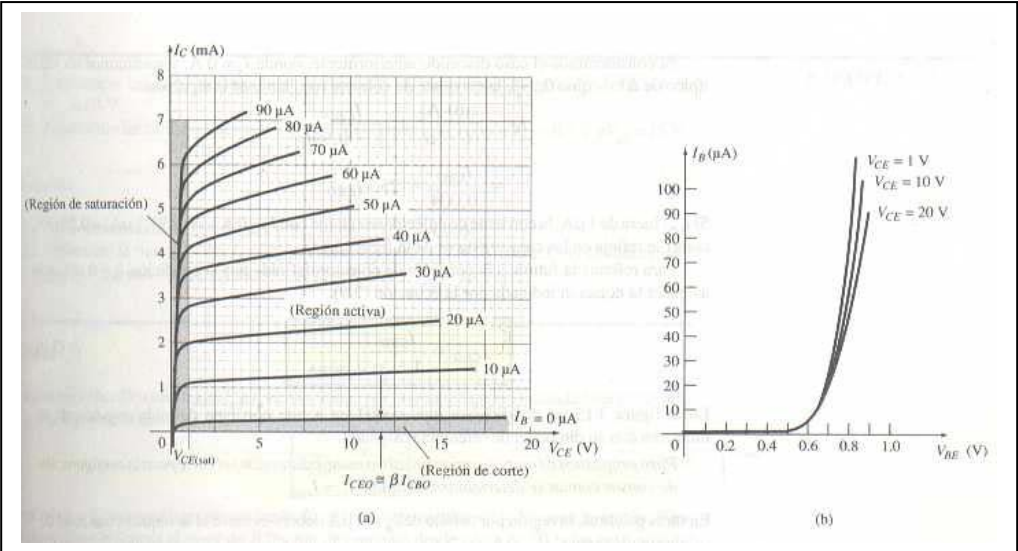


Figura 14

Las corrientes del emisor, colector y la base se muestran en su dirección de comente convencional real. Aun cuando la configuración del transistor ha cambiado, siguen siendo aplicables las relaciones de corrientes desarrolladas antes para la configuración de base común.

En la configuración de emisor común las características de la salida *serán* una gráfica de la corriente de salida (I_C) versus el voltaje de salida (V_{CE}) para un rango de valores de la corriente de entrada (I_B). Las características de la entrada son una gráfica de la comente de entrada (I_B) versus el voltaje de entrada (V_{BE}) para un rango de valores del voltaje de salida (V_{CE}). Obsérvese que en las características de la figura14 la magnitud de I_B es del orden de microamperes comparada con los miliamperes de I_C . Nótese también que las curvas de I_B no son tan horizontales como las que se obtuvieron para I_E en la configuración de base común, lo que indica que el voltaje de colector a emisor afectará la magnitud de la corriente de colector. La región activa en la configuración de emisor común es aquella parte del cuadrante superior derecho que tiene la linealidad mayor, esto es, la región en la que las curvas correspondientes a I_B son casi líneas rectas y se encuentran igualmente espaciadas. 14 a esta región se localiza a la derecha de la línea sombreada vertical en V_{CEsat} por encima de la curva para I_B igual a cero. La región a la izquierda de V_{CEsat} se denomina región de saturación. *En la región activa de un amplificador emisor común la unión colector-base está polarizada inversamente, en tanto que la unión base-emisor está polarizada directamente.* Se recordará que éstas fueron las mismas condiciones que existieron en la región activa de la configuración de base común. La región activa de la configuración de emisor común puede emplearse en la amplificación de voltaje, corriente o potencia.

La región de corte en la configuración de emisor común no está tan bien definida como en la configuración de base común. Nótese, en las características de colector de la figura 14 que I_C no es igual a cero cuando $I_B = 0$. En la configuración de base común, cuando la corriente de entrada $I_E = 0$, la corriente de colector fue sólo igual a la corriente de saturación inversa I_{CO} , por lo que la curva $I_E = 0$ y el eje de voltaje fueron (para todos los propósitos prácticos) uno. La razón de esta diferencia en las características del colector puede obtenerse mediante la manipulación adecuada de las ecuaciones (1.2). Es decir, Ecuación (1.2): $I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$

Sustituyendo se tiene: $I_C = \alpha (I_C + I_B) + I_{CBO}$ Reordenando obtenemos:

$$I_C = \frac{\alpha I_B}{1 - \alpha} + \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha}$$

Si consideramos el caso discutido: anteriormente, donde $I_B = 0$ A, y sustituimos un valor típico de α tal como 0.996, la corriente de colector resultante es la siguiente:

$$I_C = \frac{\alpha(0)}{1 - \alpha} + \frac{I_{CBO}}{1 - 0.996} = 250 I_{CBO}$$

Si I_{CBO} fuera de $1 \mu A$, la corriente de colector resultante con $I_B = 0$ A seria: $250 (1\mu A) = 0.25mA$, como se refleja en las características de la figura 14. Para referencia futura, a la corriente de colector definida por la condición $I_B = 0 \mu A$ se le asignará la notación indicada por la ecuación

(1.9):

$$I_{CBO} = \left. \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha} \right|_{I_B = 0 \mu A}$$

En la figura 13 las condiciones que envuelven a esta corriente definida nuevamente se muestran con su dirección de referencia asignada.

Para propósitos de amplificación lineal (la menor distorsión) el corte para la configuración de emisor común se determinará mediante $I_C = I_{CEO}$. En otras palabras, la región por debajo de $I_B = 0$ A deberá evitarse si se requiere una señal de salida sin distorsión.

Cuando se emplea como interruptor en la circuitería lógica de una computadora, un transistor tendrá dos puntos de operación de interés: uno en el corte y el otro en la región de saturación. La condición de corte, en el caso ideal, sería $I_C = 0$ A para el voltaje V_{CE} elegido. Puesto que I_{CEO} es por lo general de pequeña magnitud para los materiales de silicio, el corte existirá para propósitos de conmutación cuando $I_B = 0$ A o $I_C = I_{CEO}$ únicamente en el caso de transistores de silicio. En los transistores de germanio, sin embargo, el corte para propósitos de conmutación se definirá como aquellas condiciones que existen cuando $I_C = I_{CBO}$. Esta condición puede obtenerse normalmente en los transistores de germanio polarizando inversamente la unión de base emisor, polarizada por lo regular en forma directa a unos cuantos décimos de volt.

Recuérdese para la configuración de base común que el conjunto de características de entrada se aproximó por una línea recta equivalente que resultó en $V_{BE} = 0.7$ V para cualquier nivel de I_E mayor de 0 A. Para la configuración de emisor común puede tomarse la misma aproximación, resultando en el equivalente aproximado. El resultado apoya nuestra anterior conclusión de que para un transistor en la región "activa" o de conducción el voltaje de base a emisor es 0.7 V. En este caso el voltaje se ajusta para cualquier nivel de la corriente de base.

c) Configuración de colector común.

La tercera y última configuración de transistores la de *colector común*, mostrada en la figura 15 con las direcciones apropiadas de corriente y la notación de voltaje. La configuración de colector común se emplea fundamentalmente para propósitos de acoplamiento de impedancia ya que tiene una elevada impedancia de entrada y una baja impedancia de salida, que es lo opuesto a las configuraciones de base común y de emisor común.

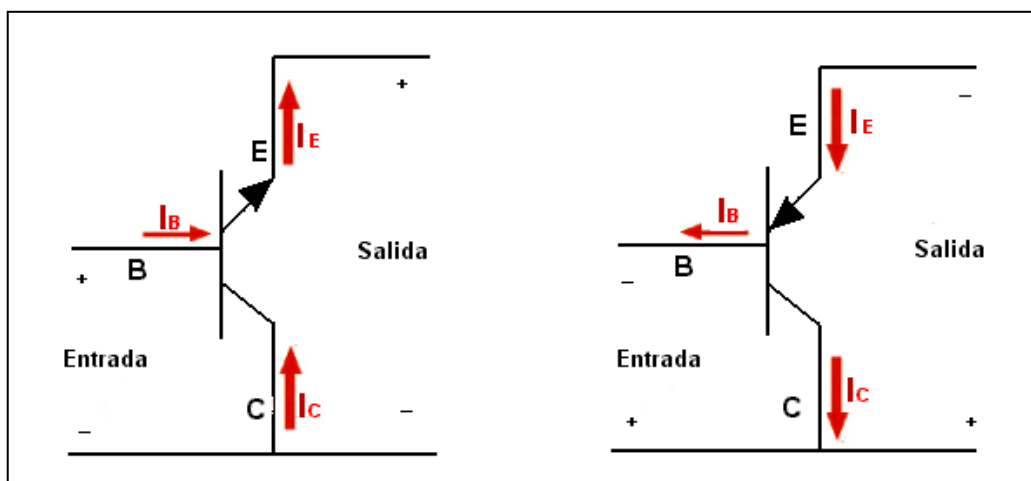


Figura 15 Notación y símbolos en la configuración de colector común.

La configuración del circuito de colector común se muestra en la figura 16 con la resistencia de carga del emisor a tierra. Nótese que el colector está conectado a tierra aun cuando el transistor está conectado de manera similar a la configuración de emisor común. Desde el punto de vista de diseño, no es necesario elegir para un conjunto de características de colector común, los parámetros del circuito de la figura 16. Pueden diseñarse empleando las características de emisor común. Para todos los propósitos prácticos, las características de salida de la configuración de colector común son las mismas que las de la configuración de emisor común. En la configuración de colector común las características de salida son una gráfica de I_E versus V_{EC} para un intervalo de valores de I_B . Por ellos, la corriente de entrada es la misma tanto para las características de emisor común como para las de colector común. El eje de voltaje para la configuración de colector común se obtiene cambiando simplemente el

signo de voltaje de colector a emisor de las características de emisor común. Por último, hay un cambio casi imperceptible en la escala vertical de I_C de las características de emisor común si I_C se reemplaza por I_E en las características de colector común (puesto que $\alpha = 1$). En el circuito de entrada de la configuración de colector común, las características de la base de emisor común son suficientes para obtener la información que se requiera.

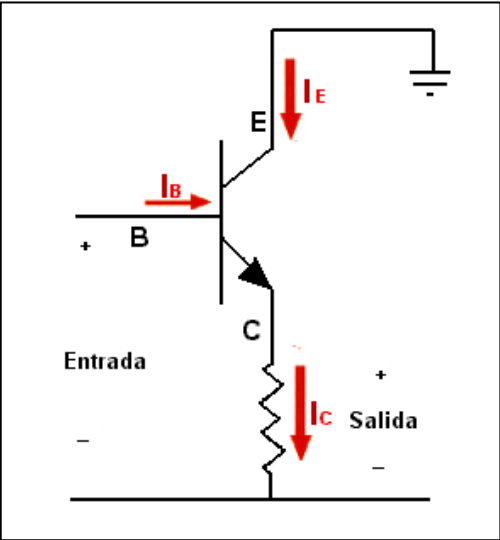


Figura 16 Configuración de colector común empleada para acoplamiento de impedancia

Límites de operación del transistor.

Para cada transistor existe una región de operación sobre las características, la cual asegurara que los valores nominales máximos no sean excedidos y la señal de salida exhibe una distorsión mínima. Una región de este tipo, se ha definido para las características de transistor de la figura 17. Todos los límites de operación se definen sobre una típica hoja de especificaciones de transistor.

Algunos de los límites se explican por sí mismos, como la corriente máxima de colector (denominada, por lo general, en la hoja de especificaciones, como corriente *continua* de colector) y el voltaje máximo de colector a emisor (abreviada a menudo como I_C y V_{CEO}) Para el transistor de la figura 17, $I_C máx$ se especificó como de 50 mA y V_{CEO} como de 20 V. La línea vertical de las características definida como V_{CESat} especifica la mínima V_{CE} que puede aplicarse sin caer en la región no lineal denominada región de saturación.

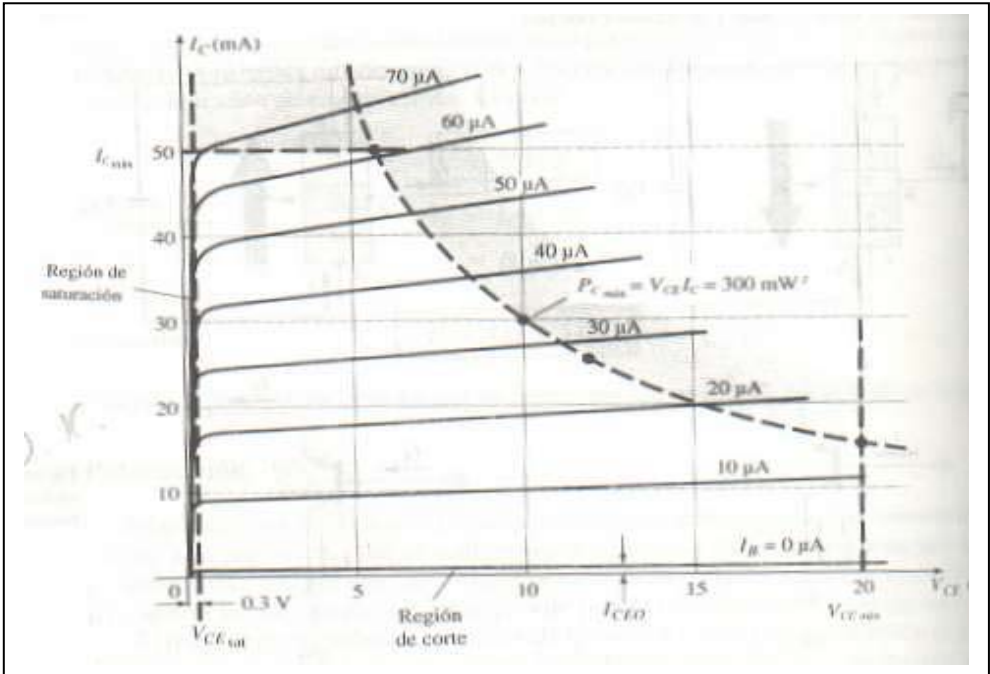


Figura 17: Límites del transistor

El nivel de V_{CEsat} está regularmente en la vecindad de los 0.3 V especificado para este transistor. El máximo nivel de disipación se define por la siguiente ecuación:

$$2.0) \quad P_{C\text{ máx}} = V_{CE} * I_C$$

Para el dispositivo de la figura 17, la disipación de potencia de colector se especificó como de 300 mW. Surge entonces la cuestión de cómo graficar la curva de disipación de potencia de colector especificada por el hecho de que $P_{C\text{ máx}} = V_{CE} * I_C = 300 \text{ mW}$. En cualquier punto sobre las características el producto de V_{CE} e I_C debe ser igual a 300 mW. Si elegimos para I_C el valor máximo de 50 mA y lo sustituimos en la relación anterior, obtenemos que $V_{CE} = 6 \text{ V}$.

Si las curvas de características no están disponibles o no aparecen en la hoja de especificaciones (como ocurre con frecuencia), uno simplemente debe estar seguro que I_C , V_{CE} y su producto caigan dentro del intervalo que aparece en la siguiente ecuación:
 $I_{CEO} \leq I_C \leq I_{C\text{máx}}$; $V_{CE\text{sat}} \leq V_{CE} \leq V_{CE\text{máx}}$ y $V_{CE} * I_C \leq P_{C\text{máx}}$.

Punto de operación Q o punto Quiescente.

El análisis o diseño de un amplificador de transistor requiere del conocimiento de la respuesta del sistema, tanto de cd (Continuo) como de ca (Alterno). Con demasiada frecuencia se supone que el transistor es un dispositivo mágico que puede alcanzar el nivel de la entrada aplicada de ca sin la asistencia de una fuente de energía externa. En realidad, el nivel mejorado de potencia de salida de ca es resultado de una transferencia de energía de las fuentes aplicadas de cd. Por lo tanto, el análisis o diseño de cualquier amplificador electrónico tiene dos componentes: la parte de cd y la correspondiente de ca. Afortunadamente, el teorema de superposición es aplicable y la investigación de las condiciones de cd puede separarse por completo de la respuesta de ca. Sin embargo, hay que tener presente que durante el diseño o etapa de síntesis, la selección de los parámetros para los niveles de cd requeridos afectarán la respuesta de ca, y viceversa.

El término *polarización* es un vocablo que incluye todo lo referente a la aplicación de voltajes de cd para establecer un nivel fijo de corriente y voltaje. Para amplificadores de transistor, el voltaje y la corriente de cd resultantes establecen *un punto de operación* sobre las curvas características, el cual define la región que se empleará para la amplificación de la señal aplicada. Ya que el punto de operación es un punto fijo sobre las curvas características, se le conoce también como *punto quiescente* (abreviado punto Q). Por definición, *quiescente* significa quieto, inmóvil, inactivo.

El nivel de cd de operación de un transistor se controla por varios factores, incluyendo el rango de posibles puntos de operación sobre las características del dispositivo. Una vez que se han definido los niveles deseados de corriente y voltaje de cd, debe construirse una red o circuito externo que establecerá el punto de operación deseado. Cada diseño también determinará la estabilidad del sistema, es decir, qué tan sensible es el sistema a las variaciones de temperatura. Es deseable un circuito altamente estable y se comparará la estabilidad de algunos circuitos de polarización básicos. Para el BJT que se polarizará en su región de operación lineal o activa debe cumplirse:

- La unión de base a emisor *debe* estar polarizada directamente (voltaje de la región p más positivo) con un voltaje resultante de polarización directa entre la base y el emisor de aproximadamente 0.6 a 0.7 V si el transistor es de Silicio.
- La unión de base a colector *debe* estar polarizada inversamente (región n más positiva), estando el voltaje de polarización inversa en cualquier valor dentro de los límites máximos del dispositivo.

[Nótese que en la polarización directa el voltaje en la unión $p-n$ es p -positivo, en tanto que en la polarización inversa es opuesto (inverso) con n -positiva. El énfasis que se hace sobre la letra inicial debe brindar un medio que ayude a memorizar la polaridad de voltaje necesaria.]

La operación en las regiones de corte, de saturación y lineal de la características del BJT se obtienen de acuerdo con lo siguiente:

1. *Operación en la región lineal:* Unión base-emisor con polarización directa, Unión base-colector con polarización inversa
2. *Operación en la región de corte:* Unión base-emisor con polarización inversa.
3. *Operación en la región de saturación:* Unión base-emisor con polarización directa, Unión base-colector con polarización directa.

Cálculo del Punto de operación Q

En general, lo importante es calcular los valores de voltajes y corrientes del transistor para una polarización dada. Por tal motivo, se agregará la letra Q a cada una de los términos que se desean obtener y que son: la corriente de base I_{BQ} ; la corriente de colector I_{CQ} ; la corriente de emisor I_{EQ} ; el voltaje base-emisor V_{BEQ} y el voltaje colector-emisor V_{CEQ} . En la mayoría de los casos, la corriente de base I_{BQ} es la primera cantidad que se determina junto con el voltaje base emisor V_{BEQ} , una vez que I_{BQ} se conoce, las relaciones de las ecuaciones de malla pueden aplicarse para encontrar las restantes variables como la corriente de colector I_{CQ} , etc. Las similitudes en los análisis serán inmediatamente obvias y las ecuaciones son tan similares para diversas configuraciones que una ecuación de malla puede derivarse de otra quitando o agregando términos.

Como se mencionó con anterioridad, solo se requieren dos ecuaciones de malla para calcular el punto Q del transistor y estas corresponden a las ecuaciones de entrada y salida del mismo, sin embargo, también se necesitan las curvas del transistor o en su peor caso el valor del H_{FE} del transistor como mínimo. El siguiente ejemplo nos dará una idea muy clara de las ecuaciones de malla.

Para el circuito de polarización dado y las curvas características del transistor, calcule el punto Q.

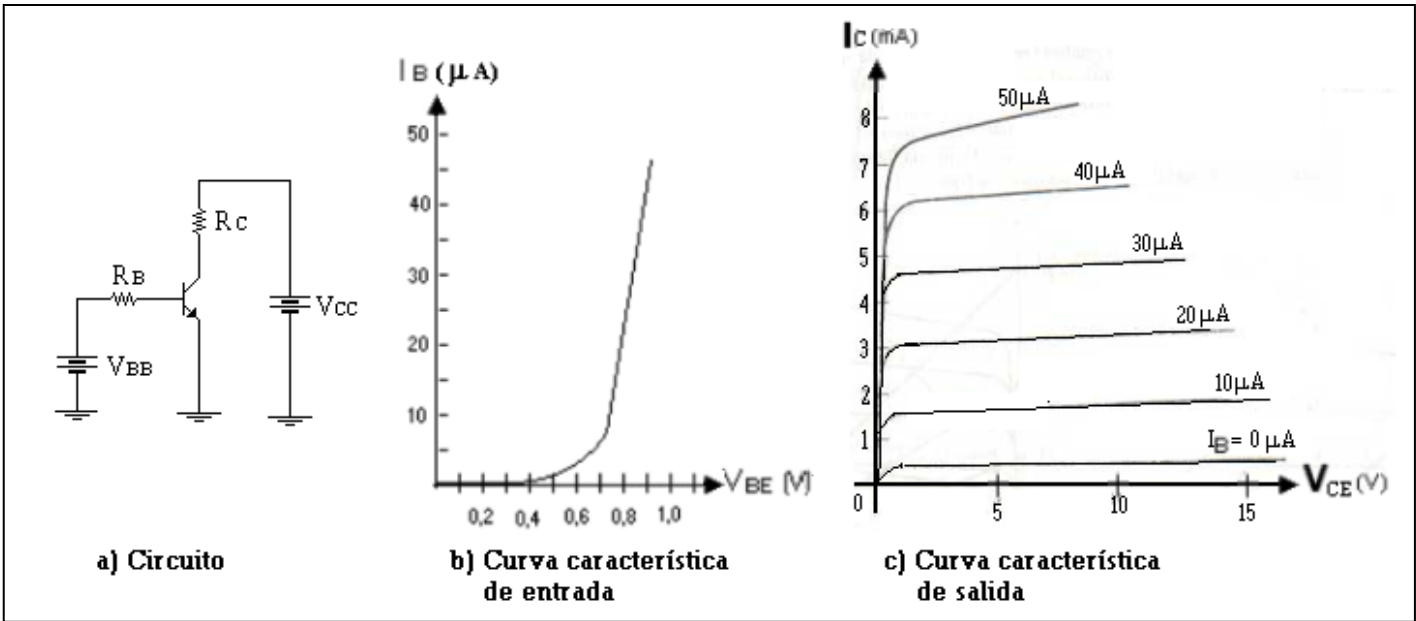


Figura #18: Polarización del transistor