

Cálculo de las tensiones y corrientes en un transistor

Analicemos el circuito de la Figura 1.

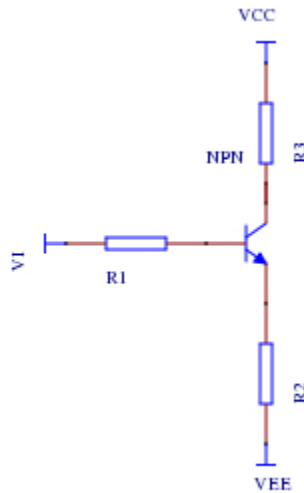


FIGURA 1: Circuito a analizar

Este es un circuito genérico, pensado solamente para ver como se plantean las ecuaciones de malla y se calculan las corrientes, y las tensiones en cada nodo.

VI es una tensión, en principio continua, aplicada a la entrada.

VCC y VEE son tensiones continuas aplicadas a R2 y R3.

La ecuación para la Malla Base-Emisor es:

$$V_I - I_B R_1 - V_{BE} - I_E R_2 - V_{EE} = 0$$

Si tomamos  $V_{BE} = 0.7V$  y relacionamos  $I_E$  con  $I_B$  asumiendo que estamos en la zona "Activa":

$$I_E = (\beta + 1) I_B = (\beta + 1) I_C / \beta$$

obtenemos

$$V_I - V_{EE} - 0,7V = I_B [R_1 + R_2 * (\beta + 1)] = I_E [R_1 / (\beta + 1) + R_2] \quad (1)$$

Por lo tanto, fijado  $V_I$ ,  $V_{EE}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  y conociendo  $\beta$  puedo conocer  $I_E$  (e  $I_C$  e  $I_B$ ):

$$I_E = (V_I - V_{EE} - 0,7V) / [R_1 / (\beta + 1) + R_2] \quad (2)$$

Al conocer IB podemos determinar en cual de las infinitas curvas que relacionan VCE con IC se encuentra el dispositivo.

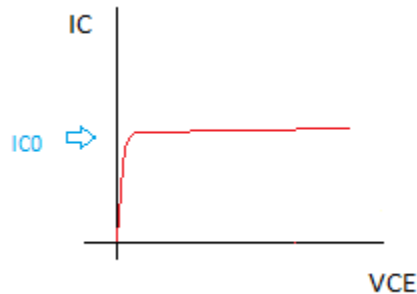


FIGURA 2: Condición obtenida de la malla Base - Emisor

La zona fuera de saturación, donde la corriente de colector se mantiene constante, tiene un valor:

$$I_{C0} = \beta (V_I - V_{EE} - 0,7V) / [R_1 + (\beta+1) R_2] .$$

Observación 1: El valor de IE (ídem para IB e IC) **NO depende** del valor de VCC ni del valor de R3, salvo por el hecho de que estos pueden hacer que el transistor no se encuentre en la zona activa.

Observación 2: A los fines de fijar la corriente de emisor (y la de colector y base) VI y VEE están cumpliendo el mismo rol. En la ecuación (2) **solamente** importa la diferencia entre ambas tensiones. En los circuitos de las figuras 1.5, y 1.6 se usa VI = 0V y VEE = -12 V, mientras que en los de las figuras 1.7 y 1.8 se fija un valor para VI (con un divisor de tensión) y VEE = 0V.

Observación 3: VI - VEE - 0,7V debe ser mayor que 0V para que el transistor esté en la zona activa.

Observación 4: Si  $\beta \gg 1$ ; entonces  $(\beta+1) / \beta \approx 1$

Si tomamos ahora la Malla Colector-Emisor, tenemos:

$$V_{CC} - I_C R_3 - V_{CE} - I_E R_2 - V_{EE} = 0 \tag{3}$$

Por lo tanto:

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{EE} - I_C [R_3 + (\beta+1) R_2 / \beta] = V_{CC} - V_{EE} - I_E [\beta R_3 / (\beta+1) + R_2] \tag{4}$$

Observación 1: A los fines de fijar la tensión entre Colector y Emisor VCC y VEE están cumpliendo el mismo rol. En la ecuación **solamente** importa la diferencia entre ambas tensiones.

Observación 2: En un gráfico de VCE vs IC la ecuación (4) es una recta de ordenada al origen (VCC - VEE) y pendiente  $[R_3 + (\beta+1) R_2 / \beta]$ . Por lo tanto la diferencia entre VCC y VEE, y los valores de R2 y R3 me definen la **RECTA DE CARGA** (marcada en rojo en la Figura 3).

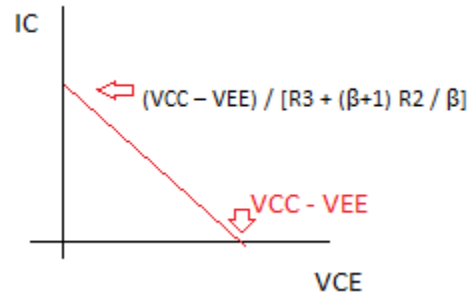


FIGURA 3: Condición obtenida de la malla Colector - Emisor

Como las condiciones establecidas gráficamente en las Figuras 2 y 3 se deben cumplir simultáneamente, la intersección de ambas curvas será el **punto de trabajo** donde se encuentre funcionando el circuito.

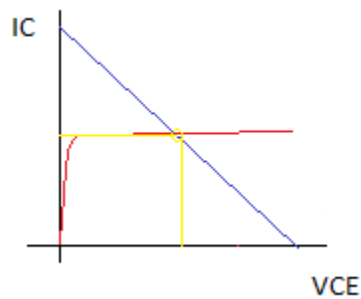


FIGURA 4: Punto de trabajo

Las tensiones en cada terminal del transistor serán:

$$V_C = V_{CC} - I_C R_3 \quad (5)$$

$$V_E = V_{EE} + I_E R_2 \quad (6)$$

$$V_B = V_1 - I_B R_1 \approx V_E + 0,7 \text{ V} \quad (7)$$

Observación de impedancias: La Ecuación (1) se puede pensar como un divisor de tensión, con el siguiente circuito:

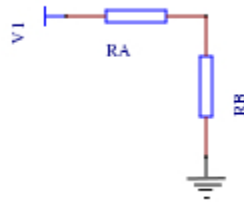


FIGURA 5: IMPEDANCIAS

Donde  $V1 = V1 - VEE - 0,7V$  y las resistencias serán  $RA = R1$  ,  $RB = R2 * (\beta+1)$  si la corriente que circula es **IB** o  $RA = R1 / (\beta+1)$  y  $RB = R2$  si la corriente que circula es **IE**. En el primer caso se trata de la **Impedancia** vista desde la **Entrada**, y en el segundo de la que se observa desde el emisor, en este caso la **Salida**.

Resta saber cual es la impedancia que se ve desde el terminal del Colector (para pensar).

**EJERCICIO: PARA CADA CASO PARTICULAR DE LA PRACTICA, REEMPLACE V1, VCC, VEE, R1, R2 Y R3 POR LOS VALORES CORRESPONDIENTES Y CALCULE LAS RESPECTIVAS CORRIENTES Y LAS TENSIONES DE CONTINUA.**

#### Cálculo de Ganancias para variación de señal de entrada

Ahora supongamos que V1 ADEMÁS del valor de continua tiene sumada una señal senoidal de alterna pequeña,  $v1$ , de frecuencia  $f0$ , de manera que se puede aproximar razonablemente al transistor, que es no-lineal, por su valor de continua mas las variaciones de corriente multiplicados por su resistencia dinámica.

Se puede describir entonces la ecuación de la Malla Base- Emisor:

$$(V1 + v1) - (IB + iB) R1 - (VBE + vBE) - (IE + iE) R2 - VEE = 0 \quad (8)$$

donde  $iB$ ,  $vBE$  e  $iE$  representan las **variaciones** generadas por la tensión senoidal de alterna pequeña  $v1$ .

Pero como  $V1 - IB R1 - VBE - IE R2 - VEE = 0$ , se obtiene

$$v1 - iB R1 - vBE - iE R2 = 0 \quad (9)$$

donde  $vBE = re iE$  ;  $re \approx 25 mV / IC0$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La tensión de emisor [Ec. (6)] será ahora

$$V_E + v_e = V_{EE} + (I_E + i_E) R_2, \quad (10)$$

Y la variación de tensión en el emisor será entonces, usando las ecuaciones (6), (9) y (10)

$$v_E = i_E R_2 = v_1 R_2 / [R_2 + r_e + R_1 / (\beta + 1)] \quad (11)$$

que es la ecuación de la tensión en la resistencia  $R_2$  de un divisor de tensión alimentado con  $v_1$  y con resistencias  $R_2$  y  $[r_e + R_1 / (\beta + 1)]$ . Si  $R_2 \gg [r_e + R_1 / (\beta + 1)]$  entonces  $v_E \approx v_1$

La tensión de colector [Ec. (5)] será ahora

$$V_C + v_C = V_{CC} - (I_C + i_C) R_3 \quad (12)$$

Y la variación de tensión de colector será entonces, usando las ecuaciones (5), (11) y (12)

$$v_C = -i_C R_3 = -\beta i_E R_3 / (\beta + 1) \approx -i_E R_3 = -v_1 R_3 / [R_2 + r_e + R_1 / (\beta + 1)] \quad (13)$$

El signo (–) en la ecuación (13) indica que la señal en el colector está desfasada  $180^\circ$  con respecto a la entrada, es decir que cuando una crece la otra decrece. Si  $R_2 \gg [r_e + R_1 / (\beta + 1)]$  entonces  $v_C \approx -v_1 R_3 / R_2$

Resumiendo: Si tomo como salida el emisor, el circuito tiene una tensión de salida de la misma amplitud que la entrada, pero la corriente de entrada estará amplificada a la salida  $(\beta + 1)$  veces. Si tomo como salida el colector, el circuito tiene una tensión de salida que será  $(- R_3 / R_2)$  la de entrada.