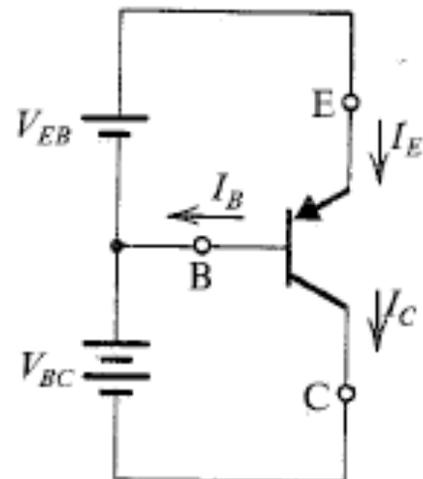
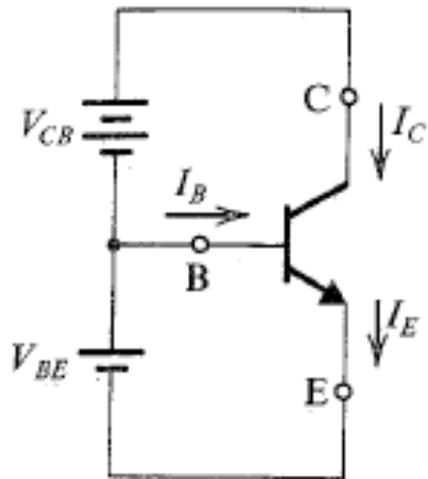
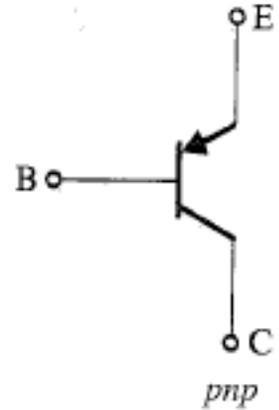
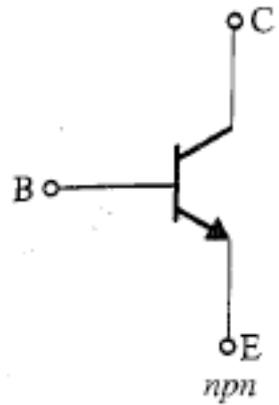


POLARIDADES DE LOS VOLTAJES Y LAS CORRIENTES EN BJTS POLARIZADOS EN LA REGIÓN ACTIVA



POLARIZACIÓN DE TRANSISTORES: ACTIVO

$$V_{BE} = 0,7V$$

$$\beta = 100$$

Suponemos que está en la región activa

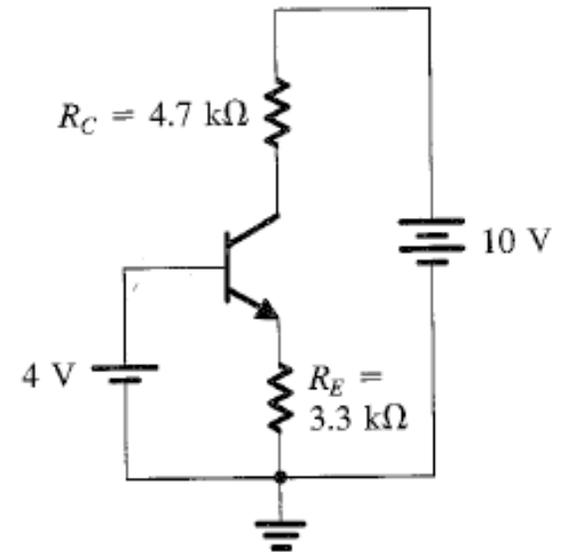
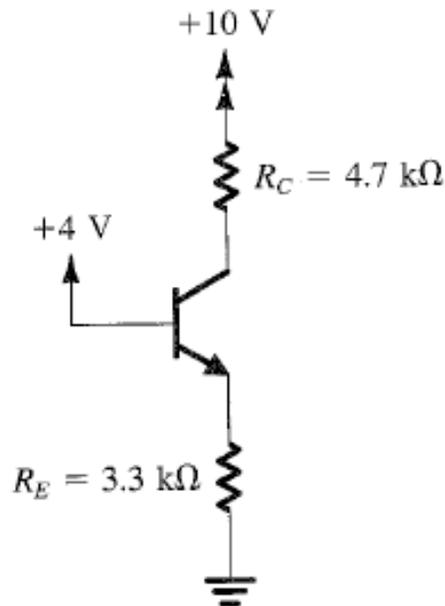
$$V_{BE} = V_B - V_E = 0,7V$$

$$V_E = 4V - 0,7V = 3,3V$$

$$I_E = \frac{3,3V}{3,3k\Omega} = 1mA$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} = \frac{100}{100 + 1} = 0,99 \quad I_C = \alpha I_E = 0,99 \times 1mA = 0,99mA \quad I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0,01mA$$

$$V_C = 10V - 4,7k\Omega \times 0,99mA = 5,34V \quad V_{CB} = 5,34V - 4V = 1,34V$$



Juntura CB polarizada en inverso, por lo tanto está activo.

POLARIZACIÓN DE TRANSISTORES: SATURADO

$$V_{BE} = 0,7V$$

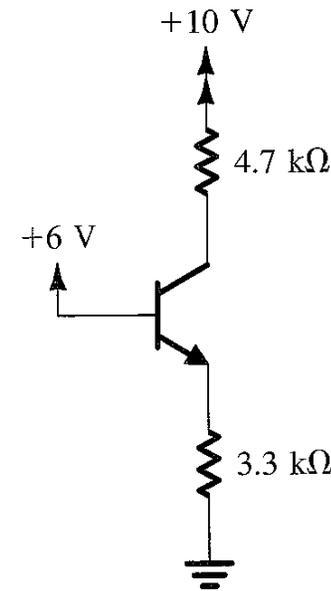
$$\beta = 100$$

Suponemos que está en la región activa

$$V_{BE} = V_B - V_E = 0,7V$$

$$V_E = 6V - 0,7V = 5,3V$$

$$I_E = \frac{5,3V}{3,3k\Omega} = 1,6mA$$



$$V_C = 10V - 4,7k\Omega \times 1,58mA = 2,57V$$

$$V_{CB} = 2,57V - 6V = -3,43V \quad I_E = 1,6mA$$

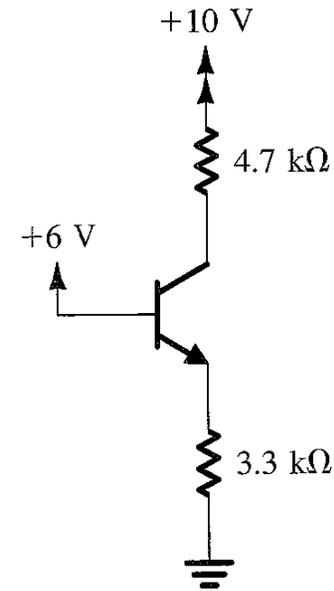
Juntura CB polarizada en directo, por lo tanto no está activo

Hay que considerar que el transistor se encuentra en la región de saturación y por lo tanto $V_{CE} = 0,2V$

$$V_{BE} = V_B - V_E = 0,7V$$

$$V_E = 6V - 0,7V = 5,3V$$

$$I_E = \frac{5,3V}{3,3k\Omega} = 1,6mA$$



$$V_C = V_E + V_{CE\max} = 5,3V + 0,2V = 5,5V$$

$$I_C = \frac{10V - 5,5V}{4,7k\Omega} = 0,96mA \quad I_B = I_E - I_C = 1,6mA - 0,96mA = 0,64mA$$

Con estos valores, $\beta I_B = 100 \times 0,64mA = 64mA$

$\beta I_B \gg I_{C\text{sat}}$ por lo tanto el transistor está saturado

POLARIZACIÓN DE TRANSISTORES: EN CORTE

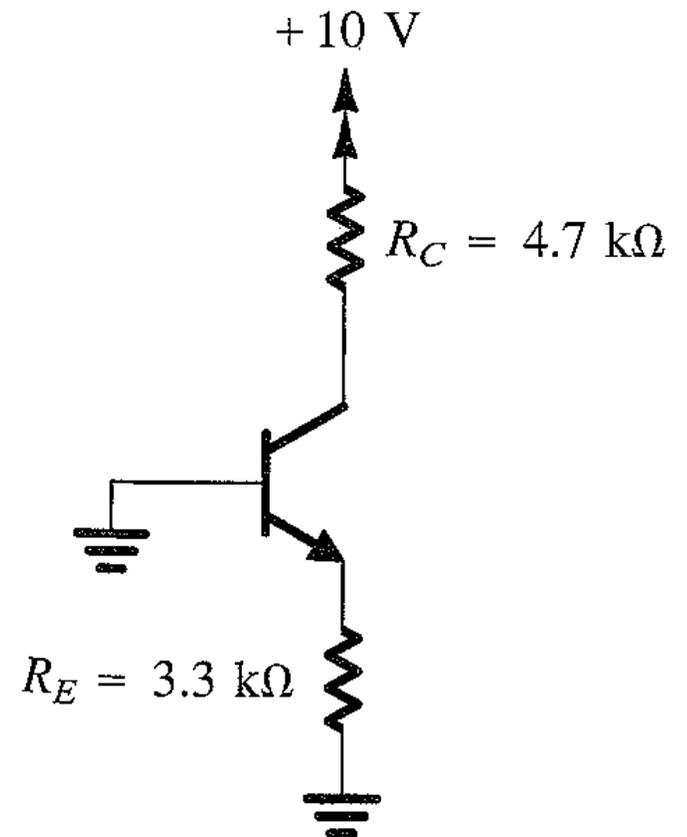
Si no hay corriente de colector, $V_E=0$ por lo tanto $V_{BE}=0$.

Si hubiera corriente de colector V_C tendría un voltaje positivo, por lo tanto $V_{BE}=0$. En cualquier caso el transistor está en la zona de corte.

Por lo tanto todas las corrientes son igual a cero.

El voltaje de colector es 10V y el de emisor 0V.

En este caso el voltaje V_{CE} es igual al de la fuente.



POLARIZACIÓN DE TRANSISTORES PNP: ACTIVO

$$V_{EB} = 0,7V$$

$$\beta = 100$$

Suponemos que está en la región activa

$$V_{EB} = V_E - V_B = 0,7V$$

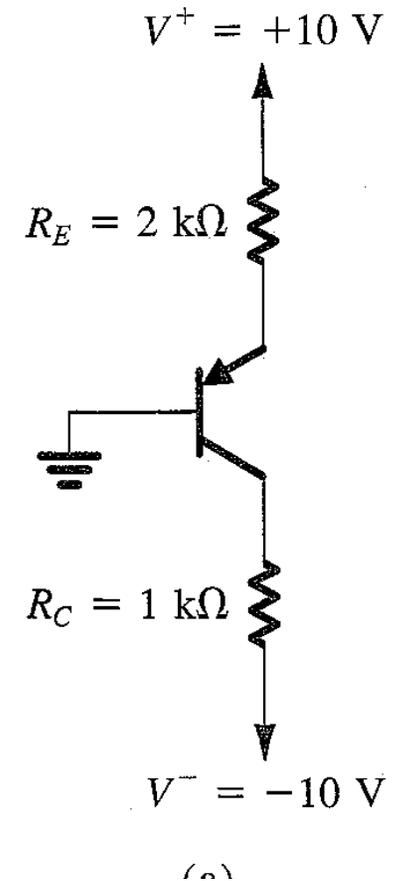
$$I_E = \frac{V^+ - V_E}{R_E} = \frac{10 - 0.7}{2} = 4.65 \text{ mA}$$

$$I_C = \alpha I_E \quad I_C = 0.99 \times 4.65 = 4.6 \text{ mA}$$

$$V_C = V^- + I_C R_C = -10 + 4.6 \times 1 = -5.4 \text{ V}$$

Juntura CB polarizada en inverso, por lo tanto está activo.

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{4.65}{101} \approx 0.05 \text{ mA}$$



POLARIZACIÓN SIN RESISTENCIA R_E : DEPENDENCIA DE β

$$V_{BE} = 0,7V \quad \beta = 100$$

La juntura base-emisor está polarizada en directo.

$$I_B = \frac{+5 - V_{BE}}{R_B} \simeq \frac{5 - 0.7}{100} = 0.043 \text{ mA}$$

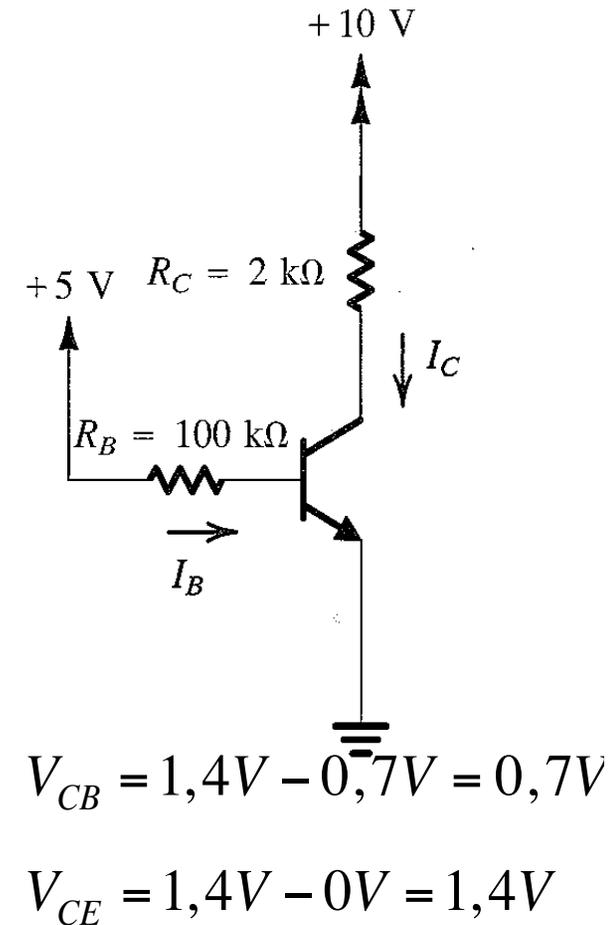
$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.043 = 4.3 \text{ mA}$$

$$V_C = +10 - I_C R_C = 10 - 4.3 \times 2 = +1.4 \text{ V}$$

$$V_B = V_{BE} \simeq +0.7 \text{ V}$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B = 101 \times 0.043 \simeq 4.3 \text{ mA}$$

EL BJT está activo. I_C e I_E dependen mucho de β .



Si $\beta=120$

$$I_B = \frac{5 - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0,7}{100} = 0,043mA \quad I_C = \beta I_B = 5,16mA$$

Podemos calcular la corriente máxima que circularía por la malla de colector-emisor suponiendo que $V_{CE} = 0$

$$I_{C \max} = \frac{10 - 0}{2} = 5mA \quad \text{Por lo tanto el transistor está saturado.}$$

Los cálculos ahora son los siguientes, considerando $V_{CEsat} = 0,2V$

$$I_B = 0,043mA$$

$$I_C = \frac{10 - 0,2}{2} = 4,9mA$$

$$I_E = I_C + I_B = 4,943mA$$

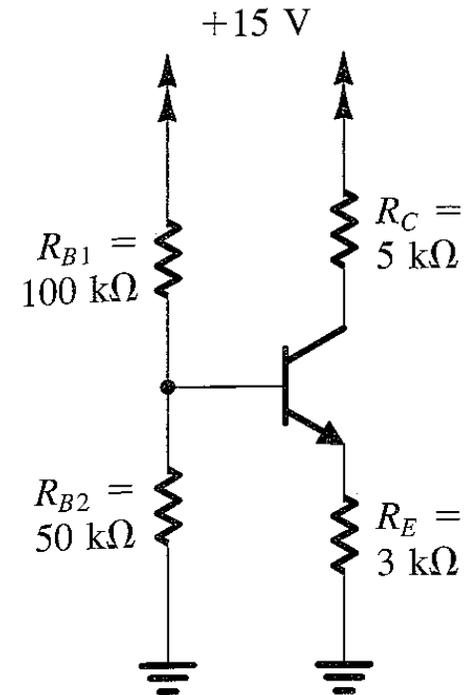
POLARIZACIÓN CON RESISTENCIA R_E

$$\beta = 100 \quad V_{BE} = 0,7V$$

En primer lugar se calcula el Thevenin en el circuito de Base.

$$V_{BB} = +15 \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = 15 \frac{50}{100 + 50} = +5 V$$

$$R_{BB} = (R_{B1} // R_{B2}) = (100 // 50) = 33.3 k\Omega$$



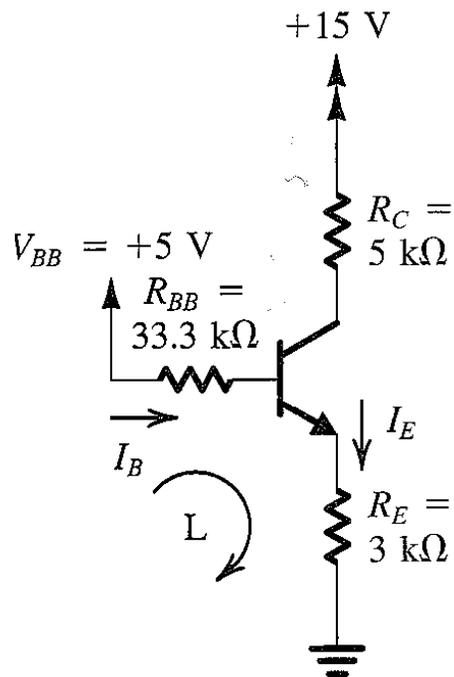
Se escribe la ecuación de la malla del circuito de base

$$V_{BB} = I_B R_{BB} + V_{BE} + I_E R_E$$

Se tiene

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

$$I_B = \frac{I_E}{(\beta + 1)}$$



$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + [R_{BB}/(\beta + 1)]} \quad I_E = \frac{5 - 0.7}{3 + (33.3/101)} = 1.29 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{1.29}{101} = 0.0128 \text{ mA} \quad I_C = \alpha I_E = 0.99 \times 1.29 = 1.28 \text{ mA}$$

$$V_B = V_{BE} + I_E R_E = 0.7 + 1.29 \times 3 = 4.57 \text{ V}$$

$$V_C = +15 - I_C R_C = 15 - 1.28 \times 5 = 8.6 \text{ V}$$

$$V_E = I_E \times R_E = 1.29 \text{ mA} \times 3 \text{ k}\Omega = 3.87 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 8.6 \text{ V} - 3.87 \text{ V} = 4.73 \text{ V}$$

COMPROBACIÓN DE LA DEPENDENCIA DE β

¿Qué sucede en los ejemplos anteriores si β es 300?

$$I_B = \frac{+5 - V_{BE}}{R_B} \simeq \frac{5 - 0.7}{100} = 0.043 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 12.9 \text{ mA}$$

Considerando $V_{CEsat} = 0$

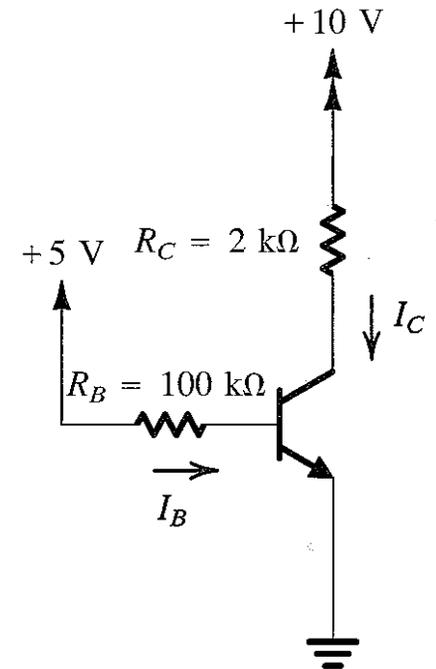
$$I_{C \text{ max}} = \frac{10V}{2k\Omega} = 5 \text{ mA}$$

Por lo tanto: $\beta I_B > I_{C \text{ sat}}$

$$I_B = 0.43 \text{ mA}$$

$$I_C = 5 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 0V$$



Saturado

$$V_{BB} = I_B R_{BB} + V_{BE} + I_E R_E \quad I_B = \frac{I_E}{(\beta + 1)}$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + [R_{BB}/(\beta + 1)]}$$

$$I_E = \frac{5V - 0,7V}{3k\Omega + [33,3k\Omega/(300 + 1)]} = 1,38mA$$

$$I_B = \frac{I_E}{(\beta + 1)} = \frac{1,38mA}{301} = 0,0045mA$$

$$\alpha = \frac{300}{301} = 0,9966$$

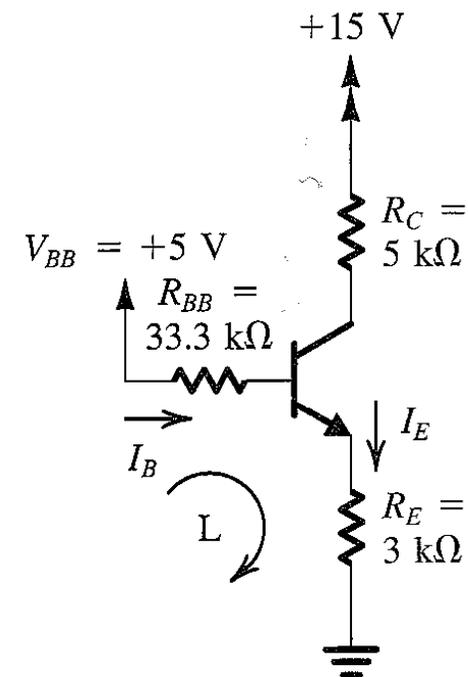
$$I_C = \alpha I_E = 0,9966 \times 1,38mA = 1,3754mA$$

$$V_B = V_{BE} + R_E I_E = 0,7V + 1,38mA \times 3k\Omega = 4,84V$$

$$V_C = 15V - R_C I_C = 15V - 1,3754mA \times 5k\Omega = 8,12V$$

$$V_E = R_E I_E = 1,38mA \times 3k\Omega = 4,14V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 8,12V - 4,14V = 3,98V$$



Activo

CONCLUSIONES

En el circuito con la resistencia R_E el transistor continúa en el modo activo frente a una variación porcentual de β de:

$$\Delta\beta = \frac{300 - 100}{100} \times 100 = 200\%$$

La variación de la corriente de colector es:

$$\Delta I_C = \frac{1,3754 - 1,28}{1,28} \times 100 = 7,45\%$$

Por lo tanto la configuración con resistencia R_E es muy estable frente a variaciones de β .

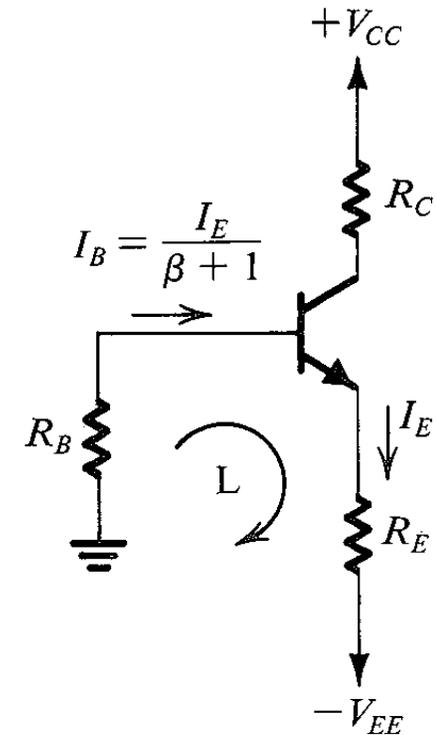
CONFIGURACIÓN CLÁSICA CON DOS FUENTES NPN

Una variación de la configuración estable ante variaciones de β consiste en alimentar el transistor con fuentes en Colector y Emisor mientras que la base queda conectada a tierra. Del circuito se puede ver que

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + R_B / (\beta + 1)}$$

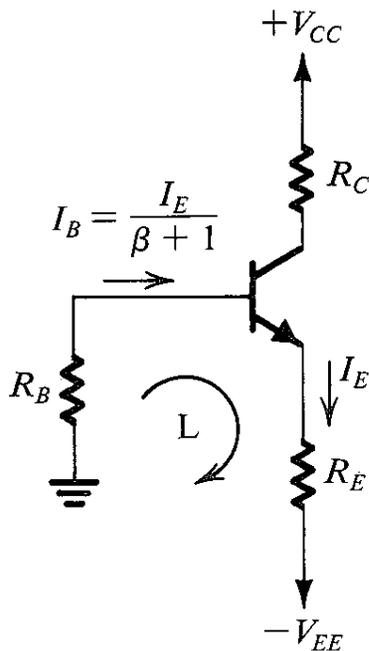
Esta es la misma ecuación desarrollada para el circuito con R_E , cambiando V_{BB} por V_{EE} , por lo tanto los resultados son similares.

La resistencia R_B puede eliminarse si cuando se use el transistor como amplificador, la señal a amplificar no entre por la Base.



EJERCICIO

Para el circuito dado calcule las corrientes I_E , I_C , I_B , y el voltaje V_{CE} , si $R_C=2K\Omega$, $R_E=3,3 K\Omega$, $R_B=0$, $V_{CC}=10V$ y $V_{EE}=10V$ sabiendo que $V_{BE}=0,7V$ y $\beta=100$.



$$I_E = \frac{10V - 0,7V}{3,3K\Omega} = 2,94mA$$

$$I_C = \alpha I_E = 0,99 \times 2,94mA = 2,91mA$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2,91mA}{100} = 0,0291mA = 29,1\mu A$$

$$V_{CC} + V_{EE} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} = 0,99$$

$$V_{CE} = 4,48V$$

CONFIGURACIÓN CLÁSICA CON DOS FUENTES PNP

Considerar que $V_{EB} = 0,7$ $\beta = 100$ $\alpha = \frac{100}{101} = 0,99$

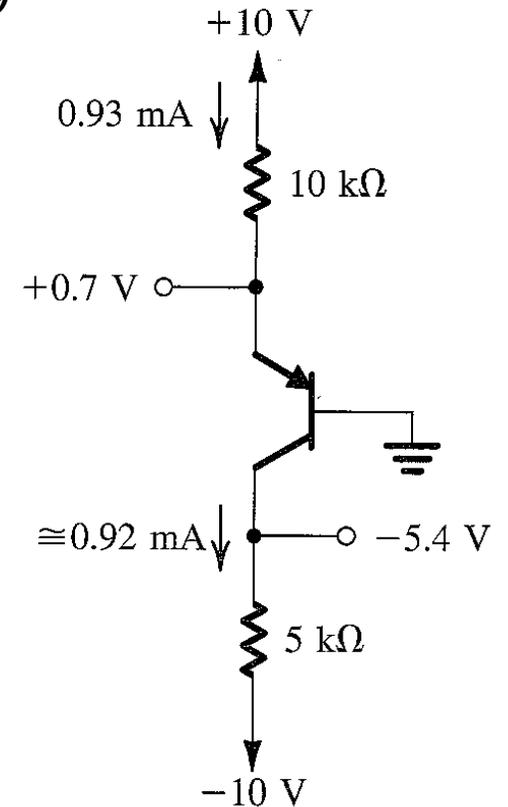
$$V_{CC} = R_E I_E + V_{EB}$$

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{EB}}{R_E} = \frac{10V - 0,7V}{10k\Omega} = 0,93mA$$

$$I_C = \alpha I_E = 0,92mA$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0,0092mA$$

$$V_{EC} = 10V + 10V - 0,93mA \times 10k\Omega - 0,92 \times 5k\Omega = 6,10V$$



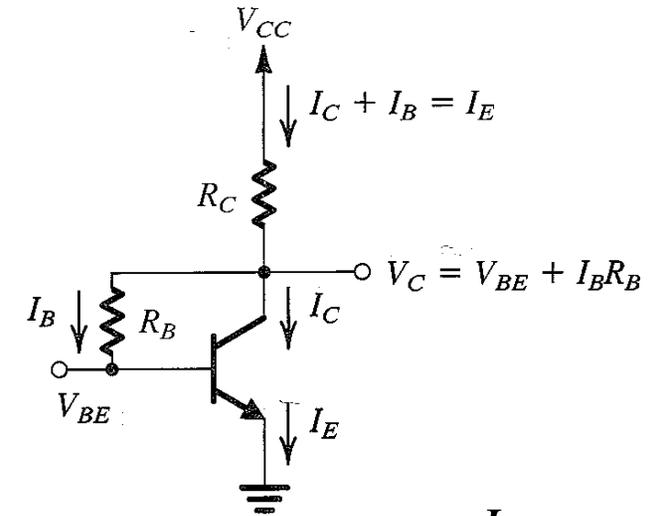
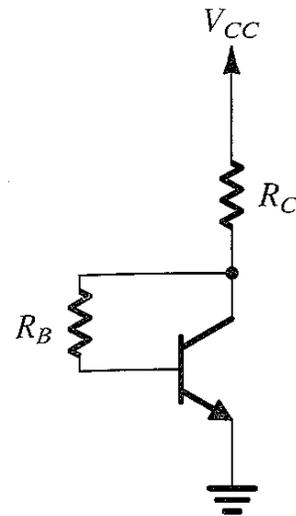
POLARIZACIÓN DE BJT NPN CON RESISTENCIA CB

$$V_{CC} = I_E R_C + I_B R_B + V_{BE}$$

$$= I_E R_C + \frac{I_E}{\beta + 1} R_B + V_{BE}$$

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B / (\beta + 1)}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C (\beta + 1) + R_B}$$



$$V_{CC} = R_C (\beta + 1) I_B + R_B I_B + V_{BE}$$

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha}$$

Punto de operación independiente de las variaciones de β

$$I_C = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C (\beta + 1) + R_B}$$

$$I_C \approx \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C}$$

$$V_{CC} = R_C I_E + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_E$$

REGIÓN DE OPERACIÓN DEL NPN CON RESISTENCIA CB

Para estar en la zona activa y no pasar a saturación la juntura Base -Colector debe estar polarizada en inverso. Para un NPN esto significa $V_{CB} > 0$. Con las ecuaciones anteriores:

Hay varias formas de calcular este voltaje. Una de ellas:

$$V_{CB} = I_B R_B = \frac{I_C}{\beta} R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\beta R_C}$$

Para que el transistor pueda operar $V_{CC} > V_{BE}$ por lo tanto V_{CB} siempre es mayor que cero.

El punto de operación siempre está en la región activa.

POLARIZACIÓN DEL PNP CON RESISTENCIA CB

$$V_{CC} = R_C(\beta + 1)I_B + R_B I_B + V_{EB}$$

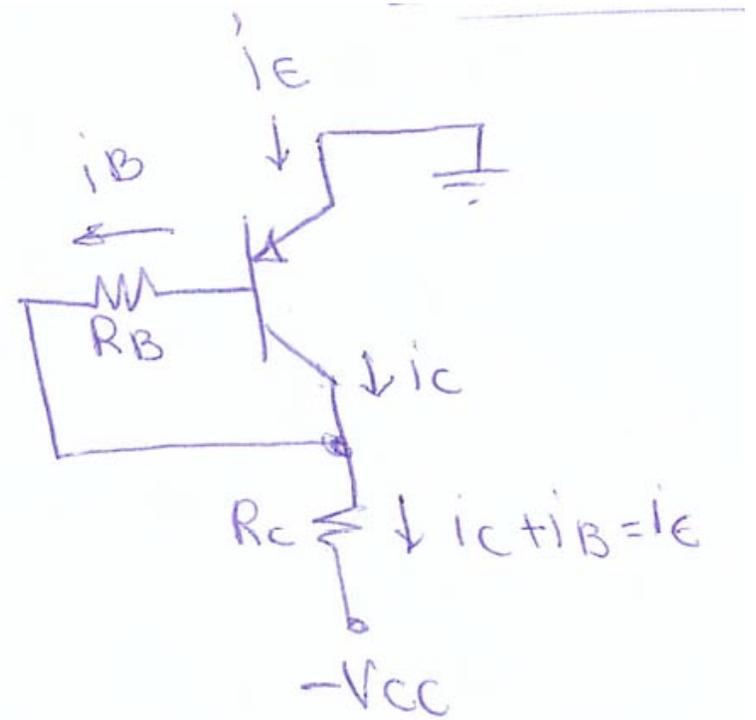
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{EB}}{R_C(\beta + 1) + R_B}$$

$$I_C = \beta \frac{V_{CC} - V_{EB}}{R_C(\beta + 1) + R_B} \quad I_C \approx \frac{V_{CC} - V_{EB}}{R_C}$$

Punto de operación independiente de las variaciones de β si $R_C(\beta + 1) \gg R_B$

$$V_{CC} = R_C I_E + V_{EC}$$

$$V_{EC} = V_{CC} - R_C I_E$$



REGIÓN DE OPERACIÓN DEL PNP CON RESISTENCIA CB

Para estar en la zona activa y no pasar a saturación la juntura Base -Colector debe estar polarizada en inverso. Para un NPN esto significa $V_{BC} > 0$. Con las ecuaciones anteriores:

Hay varias formas de calcular este voltaje. Una de ellas:

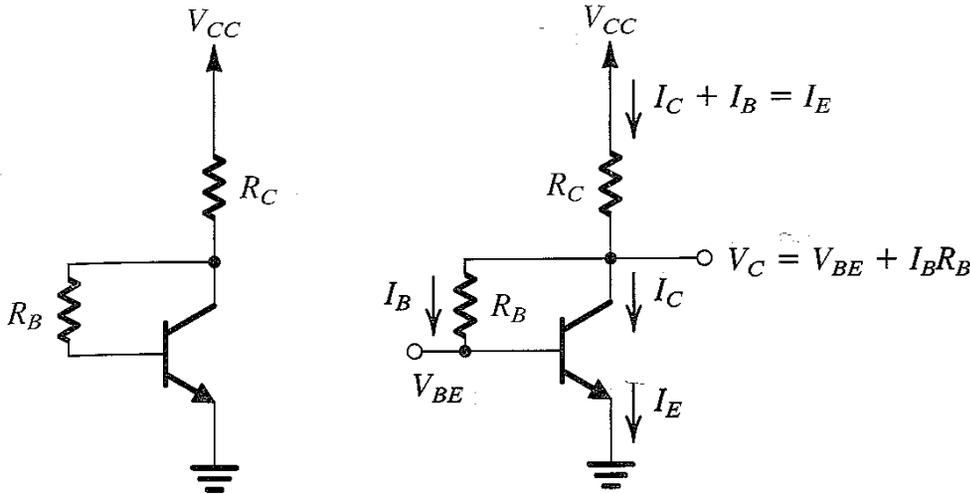
$$V_{BC} = I_B R_B = \frac{I_C}{\beta} R_B = \frac{V_{CC} - V_{EB}}{\beta R_C}$$

Para que el transistor pueda operar $V_{CC} > V_{EB}$ por lo tanto V_{BC} siempre es mayor que cero.

El punto de operación siempre está en la región activa.

EJERCICIO

Para el circuito dado calcule las corrientes I_E , I_C , I_B , y el voltaje V_{CE} , si $R_C = 2K\Omega$, $R_B = 170K\Omega$, $V_{CC} = 10V$, sabiendo que $V_{BE} = 0,7V$ y $\beta = 100$.



$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \frac{R_B}{\beta + 1}}$$

$$I_E = \frac{10V - 0,7V}{2K\Omega + \frac{170K\Omega}{101}} = 2,53mA$$

$$I_C = \alpha I_E = 2,5mA$$

$$V_{CC} = R_C I_E + R_B I_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0,025mA = 25\mu A$$

$$V_{CC} = R_C I_E + R_B \frac{I_E}{\beta + 1} + V_{BE}$$

$$V_{CE} = V_C = V_{CC} - R_C I_E = 4,94V$$