Ej Transistores

ⓐ Calcular el punto de trabajo

$V_{CC} = 5V$

$V_{BB} = 1V$

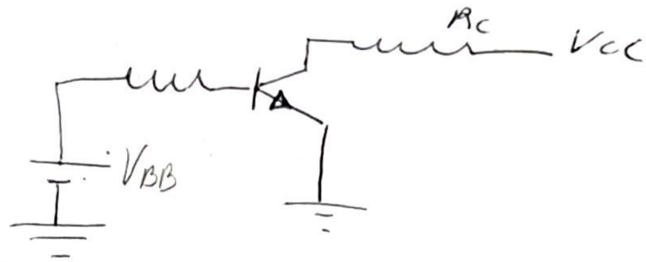
$R_C = 1K\Omega$

$R_B = 10K\Omega$

$V_{BE\gamma} = 0'7V$

$V_{CE}(\text{saturación}) = 0'2V$

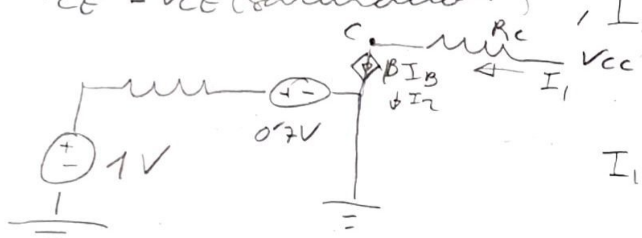
$\beta = 100$



Punto de trabajo → obtener valor de tensiones y corrientes

→ Suponemos en activa

→ $V_{CE} > V_{CE}(\text{saturación})$, $I_B > 0$, $V_{BE} = V_\gamma$, $I_C = \beta I_B$



$$I_B = \frac{1-0'7}{10^4} = 3\cdot10^{-5}A > 0$$

$I_1 = I_2$ $\quad I_1 = \frac{V_{CC} - C}{R_C}$ $\quad I_2 = \beta I_B$

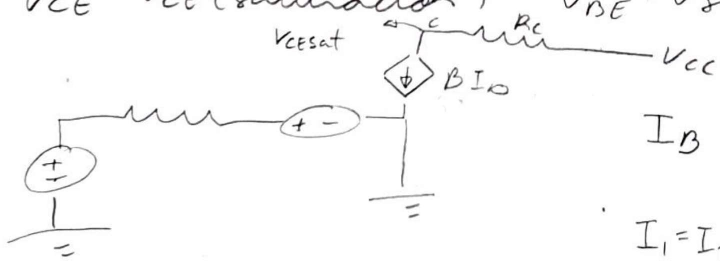
$$\frac{5-C}{10^3} = \beta \cdot I_B \qquad 5 - C = 10^3[\beta\cdot I_B] \qquad C = 5 - 10^3[\beta\cdot I_B]$$

$C = 2V > V_{CE}(\text{saturación})$ Punto de trabajo $I_B = 3\cdot10^{-5}A$; $V_{BE} = 0'7V$

$I_C = 3\cdot10^{-3}A$; $V_{CE} = 2V$

ⓑ Resistencia del colector para que pase a saturación

$V_{CE} = V_{CE}(\text{saturación})$ $\quad V_{BE} = V_\gamma$ $\quad I_B > 0$



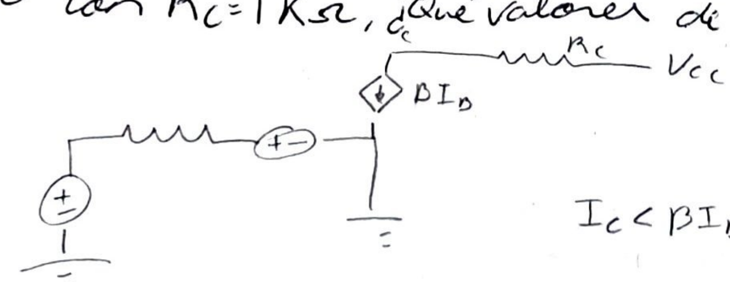
$$I_B = \frac{1-0'7}{10^4} = 3\cdot10^{-5}A > 0$$

$I_1 = I_2$ $\quad \frac{5-0'2}{R_C} < \beta I_B$

$5 - 0'2 < R_C \beta I_B$ $\quad \frac{5-0'2}{\beta I_B} < R_C > 1'6\cdot10^3\Omega$

ⓒ Con $R_C = 1K\Omega$, ¿Qué valores de R_B pasan el transistor a saturación?

sat $I_B > 0$ $\quad V_{CE} = V_{CEsat}$



$I_B = \frac{1-0'7}{R_B} > 0$ / $I_C < \beta I_B$

$I_C < \beta I_B$ $\quad I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_C}$

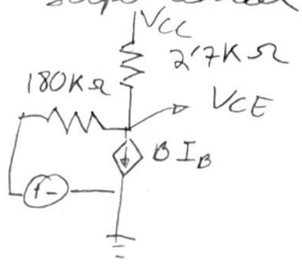
$$\frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_C} < \left(\frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}\right)\beta \qquad R_B < \frac{\left[(V_{BB} - V_{BE})\beta\right]}{\left(\frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_C}\right)}$$

$R_B < 6'25\cdot10^3\Omega$

2) Dado el siguiente circuito con $V_{CC} = 10V$

ⓐ Si se emplea un transistor con $\beta = 99$ y $R_C = 2'7K\Omega$, $R_F = 180K\Omega$, hallar los valores V_{CE} e I_C. Tomar $V_{BE,\gamma} = 0'7V$

Suponemos que está en activa



$$I_1 = I_B + I_C$$

$$\frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_E} = \frac{V_{CE} - V_{BE,\gamma}}{R_E} + \beta\left(\frac{V_{CE} - V_{BE,\gamma}}{R_E}\right)$$

$$\frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{V_{CE} - V_{BE,\gamma}}{R_F}\overbrace{(1+\beta)}^{x}$$

$$\frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{V_{CE}}{R_F}x - \frac{V_{BE,\gamma}}{R_F}x + \frac{V_{CE}}{R_C} \qquad \frac{V_{CC}}{R_C} + \frac{V_{BE,\gamma}}{R_F}x = V_{CE}\left(\frac{x}{R_F} + \frac{1}{R_C}\right)$$

$$V_{CE} = \frac{\frac{V_{CC}}{R_C} + \frac{V_{BE,\gamma}x}{R_F}}{\left(\frac{x}{R_F} + \frac{1}{R_C}\right)} = 4'42V$$

$V_{CE} > V_{CE,sat}$ y $I_B > 0$ por tanto la hipótesis es correcta

$$I_C = \beta I_B = 99\left(\frac{4'42 - 0'7}{180 \cdot 10^3}\right) = 2'046 \cdot 10^{-3} A$$

ⓑ Repetir el proceso con $\beta = 199$

Si suponemos en activa, las ecuaciones son iguales

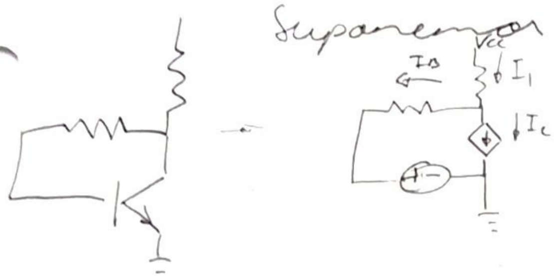
$$V_{CE} = \frac{\left[\frac{V_{CC}}{R_C} + \frac{V_{BE,\gamma} \cdot x}{R_F}\right]}{\left(\frac{x}{R_F} + \frac{1}{R_C}\right)} = 3'025V$$

→ $V_{CE} > V_{CE,sat}$ y $I_B > 0$ por ende hipótesis correcta

$$I_C = \beta I_B = 199\left(\frac{V_{CE} - V_{BE,\gamma}}{R_F}\right) = 199\left(\frac{3'025 - 0'7}{180 \cdot 10^3}\right) = 2'57 \cdot 10^{-3} A$$

② Suponiendo $\beta = 5$, determinar los valores de R_C y R_F para que $V_{CE} = 2'5\,V$ e $I_C = 1\,mA$

Suponemos en activa porque $V_{CE} > V_{CE,sat}$



$I_1 = I_B + I_C$ $\qquad I_1 = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$

$I_B = \frac{V_{CE} - V_{BE,\gamma}}{R_F}$ $\qquad I_C = 1\,mA$

$I_C = \beta I_B$ $\qquad I_B = \frac{I_C}{\beta} = 2 \cdot 10^{-4} A > 0$ por tanto la hipótesis es correcta

$I_B = \frac{V_{CE} - V_{BE,\gamma}}{R_F}$ $\qquad R_F = \frac{V_{CE} - V_{BE,\gamma}}{I_B} = 9 \cdot 10^{3}\,\Omega$

$I_1 = I_B + I_C = 2 \cdot 10^{-4} + 10^{-3} = 1'2 \cdot 10^{-3} A$ $\qquad I_1 = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \rightarrow R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_1}$

$R_C = 6'25 \cdot 10^{3}\,\Omega$

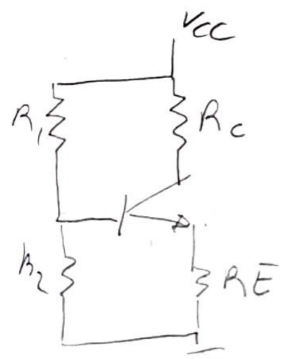
3 Dado el circuito de la figura, determinar el punto de trabajo cuando

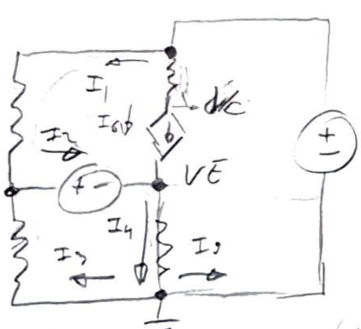
$V_{CC} = 12V$

$R_1 = 120K\Omega$ $\quad R_2 = 24K\Omega$

$R_C = 2'4K\Omega$ $\quad R_E = 680\,\Omega$

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





$I_5 = I_1 + I_6$ $\qquad I_1 + I_3 = I_2$

$I_1 + I_3 = I_2$ $\qquad I_4 - I_3 = I_1 + I_6$

$I_4 - I_3 = I_5$

$I_2 + I_6 = I_4$

$I_1 = \frac{V_{CC} - V_E - V_{BE,\gamma}}{R_1}$ $\qquad I_4 = \frac{V_E}{R_E}$ $\qquad I_3 = \frac{-V_E - V_{BE,\gamma}}{R_2}$

$I_6 = \beta I_2$

$$\frac{V_E}{R_E} - \frac{-V_E - V_{BE,\gamma}}{R_2} = \frac{V_{CC} - V_E - V_{BE,\gamma}}{R_1} + \beta\left(\frac{V_{CC} - V_E - V_{BE,\gamma}}{R_1} + \frac{-V_E - V_{BE,\gamma}}{R_2}\right)$$

$V_E = 1'00681\,V$ $\qquad I_4 = \frac{V_E}{R_E} = 1'4806 \cdot 10^{-3} A$

$I_6 = \beta I_2$ $\qquad I_2 + \beta I_2 = I_4$ $\qquad I_2(1+\beta) = I_4$ $\qquad I_2 = 1'466 \cdot 10^{-5} A = I_B$

$I_6 = \beta I_2$ $\quad I_6 = 1'47\cdot10^{-3} = I_C$ $\quad I_C = \frac{V_{CC}-V_{CE}-V_E}{R_C}$ $\quad I_C = \frac{V_{CC}-V_C}{R_C}$

$V_C = 8'472\,V$

$-\left[I_C \cdot R_C - V_{CC} + V_E\right] = V_{CE} = 7'4652\,V > 0V$ ✓

$V_C - V_E = V_{CE} = 7'4652\,V$ ✓

Punto de trabajo

$V_{BE} = V_{BE,\gamma}$ $\quad I_B = 1'466\cdot10^{-5}\,A$ $\quad V_{CE} = 7'4652\,V$ $\quad I_C = 1'47\cdot10^{-3}\,A$

(b) Determinar para los siguientes valores el punto de funcionam.

se mantiene la ecuación

$V_{CC} = 15V$

$R_1 = 100K\Omega$ $\quad R_2 = 50K\Omega$

$R_C = 5K\Omega$ $\quad R_E = 3K\Omega$

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

$I_4 - I_3 = I_1 + I_6$

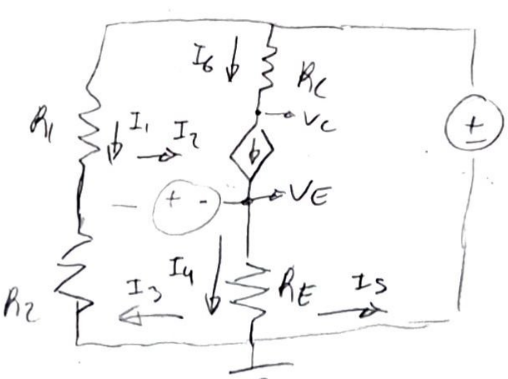
Por tanto $V_E = 3'87384\,V$ $\quad I_4 = I_2 + I_6$

$I_4 = \frac{V_E}{R_E} = \frac{3'87384}{3\cdot10^3} = 1'3\cdot10^{-3}A$ $\quad I_6 = \beta I_2$ $\quad I_4 = I_2(1+\beta) \to I_2 = 1'278\cdot10^{-5}A = I_B$

$I_6 = 100\cdot I_2 = 1'2785\cdot10^{-3}A = I_C = \frac{V_{CC}-V_{CE}-V_E}{R_C}$, $\quad V_{CE} = 4'73V$

(c) Determinar R_1, R_2 y R_E para que el punto de func del transistor sea tal que $V_{CE} = 6V$. $I_C = 2mA$, al mismo tiempo que $I_{R1}/I_B = 30$ y suponiendo que:

$V_{CC} = 15V$ $\quad R_C = 3K\Omega$ $\quad V_{BE,\gamma} = 0'7V$ y $\beta = 50$



$I_C = 2mA$ $\quad I_C = \frac{V_{CC}-V_C}{R_C} \to -\left[I_C R_C - V_{CC}\right] = V_C$

$V_C = 9V$ $\quad V_{CE} = V_C - V_E \to -\left[V_{CE} - V_C\right] = V_E = 3V$

$I_C = \beta I_2$; $\quad \frac{I_C}{\beta} = I_2 = 4\cdot10^{-5}A = I_B$

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

$I_E = 2'04\cdot10^{-3}\,A$ $\quad I_E = \frac{V_E}{R_E} \to R_E = \frac{V_E}{I_E} = 1'4705\cdot10^3\,\Omega$

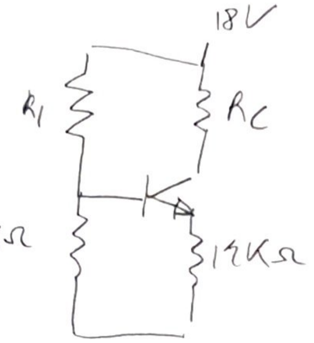
$I_{R1}/I_B = 30$ $\quad I_{R1} = 30 I_B = 30\cdot I_2 = 1'2\cdot10^{-3}$

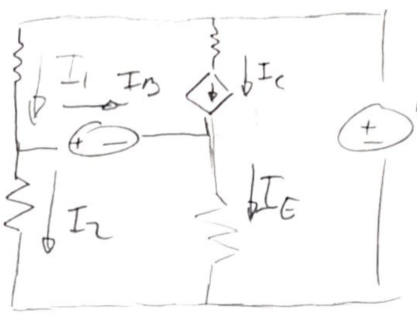
$I_{R1} = \frac{V_{CC} - V_E - V_{BE,\gamma}}{R_1} \to R_1 = 9'41667\cdot10^3\,\Omega$

$I_1 + I_3 = I_2$ $\quad I_3 = I_2 - I_1 \to I_3 = -1'16\cdot10^{-3}A$

$I_3 = \frac{-V_E - V_{BE,\gamma}}{R_2} \to R_2 = 3'1896\cdot10^3\,\Omega$

Determinar R_1 y R_C para que la intensidad de colector y la tensión valgan respectivamente $I_{CQ}=2mA$ y $V_{CEQ}=10V$, $\beta \gg 1$





$I_C=\beta I_B \rightarrow \frac{I_C}{\beta}=I_B \approx 0$

$I_{CQ}=2\cdot10^{-3}A$

$I_E=\cancel{I_B}+I_C \qquad I_E=I_C$

$V_{CE}=10 \qquad V_C-V_E=V_{CE} \qquad V_C=V_{CE}+V_E$

$2\cdot10^{-3}=\frac{18-10-V_E}{R_C}$

L.K.N

$I_1=I_B+I_2$

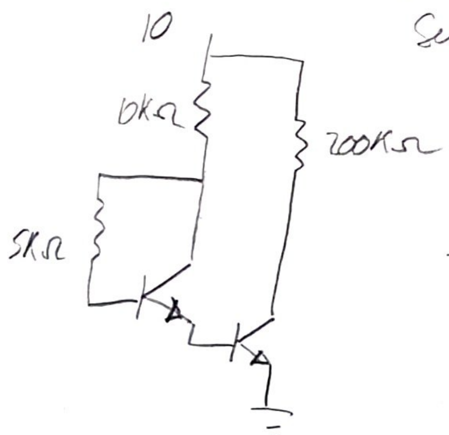
$I_B=0 \rightarrow I_1=I_2$

$I_E=\frac{V_E-0}{R_E} \rightarrow V_E=2'4V$

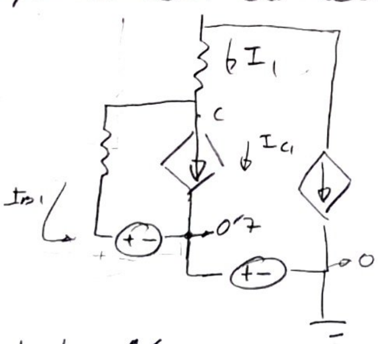
$R_C=\frac{18-10-2'4}{2\cdot10^{-3}}=2'8\cdot10^3\Omega$

$\frac{18-V_E-V_\gamma}{R_1}=\frac{V_E+V_\gamma}{R_2} \rightarrow \frac{18-V_E-V_\gamma}{\frac{V_E+V_\gamma}{R_2}}=R_1=8'65\cdot10^4\Omega$

Determinar el punto de trabajo de los dos transistores sabiendo que $\beta=100$ y es la misma para ambos $V_{BE,\gamma}=0'7V$ y $V_{CEsat}=0'2V$



Suponemos ambos en activa



$V_{CE}=V_C-V_E \qquad V_{CE}+V_E=V_C$

$I_{B1}=\frac{V_C-0'7-0'7}{5\cdot10^3}$

$I_{B1}=\frac{V_{CE}+\cancel{V_E}-\cancel{0'7}-0'7}{5\cdot10^3}$

L.K.N

$I_1=I_B+I_{C1}=I_B+\beta(I_B)=I_B(1+\beta)$

$I_1=\frac{10-V_C}{10\cdot10^3}=\frac{10-V_{CE}-V_E}{10\cdot10^3} \rightarrow \frac{10-V_{CE}-V_E}{10\cdot10^3}=101\,I_B$

$\frac{10-V_{CE}-0'7}{10\cdot10^3}=101\left(\frac{V_{CE}-0'7}{5\cdot10^3}\right) \qquad \frac{10-V_{CE}-0'7}{10\cdot10^3\cdot101}=\frac{V_{CE}}{5\cdot10^3}-\frac{0'7}{5\cdot10^3}$

$\frac{10-0'7}{10\cdot10^3\cdot101}+\frac{0'7}{5\cdot10^3}=V_{CE}\left(\frac{1}{5\cdot10^3}+\frac{1}{10\cdot10^3\cdot101}\right) \rightarrow V_{CE}=0'742>0'2V$

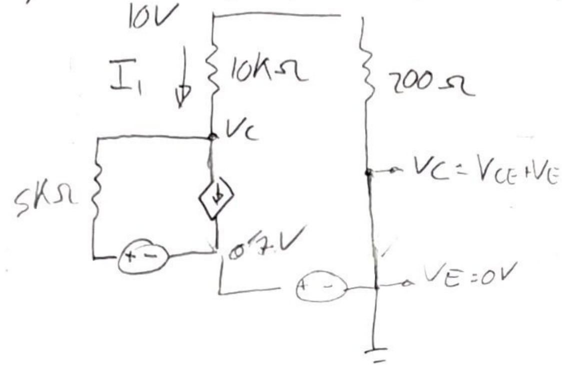
$I_{B1}=\frac{0'742-0'7}{5\cdot10^3}=8'4\cdot10^{-6}A>0$ La hipótesis es correcta para el transistor 1

$I_{B2} = I_{E_1} = I_{B1} + I_{C1} = I_{B1} + \beta I_{B1} = I_{B1}(1+100) = 8'55\cdot10^{-4} A > 0$

$I_{C2} = \beta I_{B2}$ $\qquad I_{C2} = \frac{10-V_C}{200} \to -(100\cdot 8'55\cdot10^{-4}\cdot 200-10) = V_C = -7'1$

$V_{CE} = V_C - V_E = -7'1 - 0 = -7'1 < V_{CE,sat}$ por tanto la hipótesis es falsa para el 2º transistor

Suponemos T_1 en activa y T_2 en saturación



La primera parte (del T_1 es la misma que en el apartado anterior

$I_{B1} = 8'47\cdot10^{-6}A$ $\qquad V_{CE1} = 0'7423 V$

$I_E = I_{B2} = (1+\beta)I_B = 101\cdot 8'47\cdot10^{-6} = 8'5547\cdot10^{-4}A$

$V_{CE} = V_{CE,sat}$ $\qquad V_{CE} = V_C - V_E$ $\qquad V_{CE} + \underbrace{V_E}_{=0} = V_C$

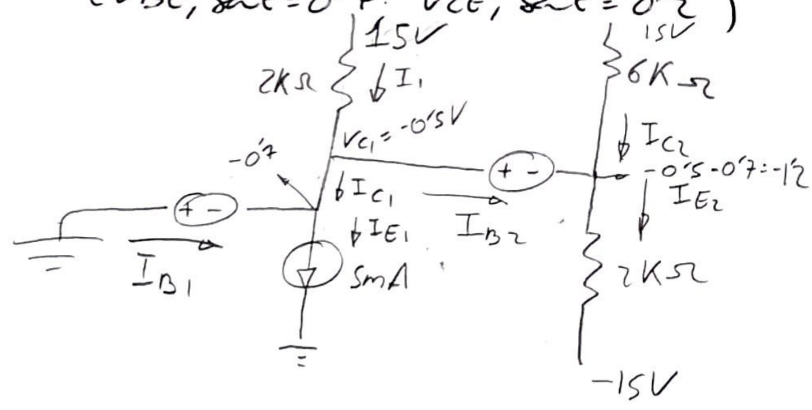
$V_C = V_{CE,sat} = 0'2$ $\qquad I_C = \frac{10-0'2}{200} = 4'9\cdot10^{-2} A < \beta I_{B2}$

Por tanto esta es la hipótesis correcta al cumplir los requisitos tanto para el transistor 1 como para el transistor 2

$T1$: $I_{B1} = 8'47\cdot10^{-6}A$; $I_{C1} = 8'47\cdot10^{-4}A$; $I_{E1} = 8'5547\cdot10^{-4}A$ $V_{CE_1} = 0'742V$

$T2$: $I_{B2} = 8'5547\cdot10^{-4}A$, $I_{C2} = 4'9\cdot10^{-2}A$; $I_{E2} = 0$, $V_{CE_2} = 0'2V$

Sabiendo que ambos transistores están en saturación, determinar la corriente de la base ($V_{BE,sat} = 0'7$ $\quad V_{CE,sat} = 0'2$)



$V_{CE} = V_C - V_E$ $\qquad V_{CE} + V_E = V_C$

$V_{C1} = 0'2 - 0'7 = -0'5 V$

$I_1 = \frac{15-(-0'5)}{2K\Omega} = 7'75\cdot10^{-3}A$

$I_{E2} = \frac{-1'2-(-15)}{2K\Omega} = 6'9\cdot10^{-3}A$

$V_{CE} = V_C - V_E$ $\qquad V_{CE} + V_E = V_C = -1$

$I_{C2} = \frac{15-(-1)}{6K\Omega} = 2'67\cdot10^{-3}A$

$I_{B2} = I_{E2} - I_{C2} = 4'23\cdot10^{-3}A$

$I_1 = I_{C1} + I_{B2}$ $\qquad I_1 - I_{B2} = I_{C1} = 3'52\cdot10^{-3}A$

$I_{B1} + I_{C1} = I_{E1} \to I_{B1} = I_{E1} - I_{C1} = 5\cdot10^{-3} - 3'52\cdot10^{-3} = 1'48\cdot10^{-3}A$

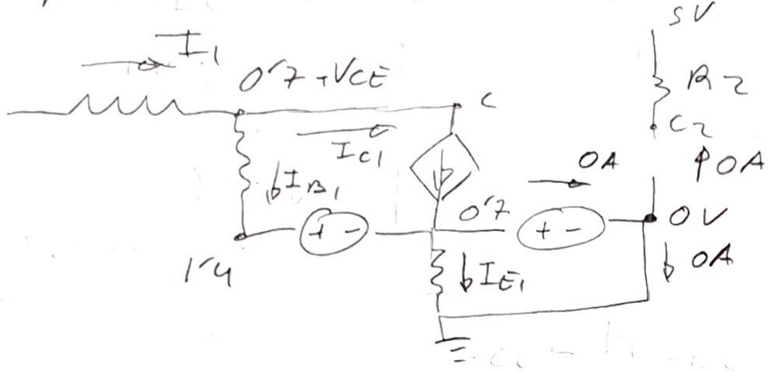
Encontrar el valor mínimo de V_{BB} para que T_2 pase de corte a conducción

Para que esté en conducción $I_B > 0$ y $V_{CE} > V_{CE,sat}$

Como $I_B > 0$, el 1º transistor debe estar en cond o en sat ✓

El punto justo a partir del que pasa es cuando se alcanza en la base-emisor el voltaje necesario

a partir de ese punto $I_B > 0$, $V_{CE} = V_{CE,sat}$



$I_1 = I_{E1}$

$I_1 = \dfrac{V_{BB} - 0'7 - V_{CE}}{R_1}$

$I_{E1} = \dfrac{0'7}{R_E} = 7 \cdot 10^{-4} A$

$I_1 = I_{C1} + I_{B1} = \beta I_{B1} + I_{B1} = I_{B1}(1+\beta)$

$I_{B1}(1+\beta) = I_{E1}$ $\quad I_{B1} = \dfrac{I_{E1}}{1+\beta} = 3'5 \cdot 10^{-5} A$

$I_B = \dfrac{0'7 + V_{CE} - 1'4}{10 \cdot 10^3}$ $\qquad (I_B) \cdot 10 \cdot 10^3 - 0'7 + 1'4 = V_{CE} = 1'05V$

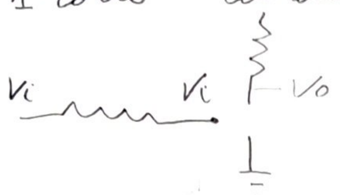
Se cumple que $V_{CE} > V_{CE,sat}$ por tanto el transistor 1 está correctamente en activa

$I_1 = I_{E1} = \dfrac{V_{BB} - 0'7 + V_{CE}}{10^3} \rightarrow (I_{E1}) \cdot 10^3 + 0'7 + V_{CE} = \underline{\underline{V_{BB} = 2'45V}}$

Para el circuito de la figura

ⓐ Determinar la función de transferencia $V_o(V_i)$ en las tres regiones $V_{BE}=0'7V$, $V_{CE,sat}=0'2V$, $\beta=50$; $V_{CC}=5V$, $R_B=10K\Omega$, $R_C=1K\Omega$

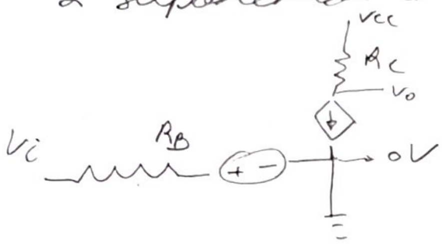
1º Corte Condiciones $V_{BE}<V_\gamma$



$V_i<V_\gamma \rightarrow V_i<0'7\,V$

$V_o=V_{CC}$

2º Suponemos en activa $I_B>0$, $V_{CE}\geq V_{CE,sat}$



$$I_B=\frac{V_i-V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C=\beta I_B \qquad I_C=\frac{V_{CC}-V_o-0}{R_C}$$

$$50\,\frac{V_i-V_{BE}}{R_B}=\frac{V_{CC}-V_o}{R_C}\rightarrow 50\,\frac{V_i-0'7}{10}=\frac{5-V_o}{1}$$

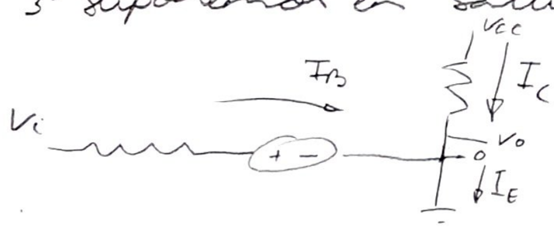
$$\frac{V_i-0'7}{10}=\frac{5-V_o}{50} \qquad 5(V_i-0'7)=5-V_o \qquad 5-5(V_i-0'7)=V_o$$

$$V_o=8'5-5V_i \qquad V_o=V_C \qquad V_{CE}=V_C-\cancel{V_E}^{\,0} \qquad V_{CE}>V_{CE,sat}$$

$$8'5-5V_i>0'2 \qquad -5V_i>0'2-8'5 \qquad \underline{V_i<\frac{-0'2+8'5}{5}=1'66}$$

$$I_B>0 \qquad V_i-V_{BE}>0 \qquad \underline{V_i>0'7}$$

3º Suponemos en saturación



$$I_B=\frac{V_i-V_{BE}}{R_B} \qquad I_C=\frac{V_{CC}-V_o}{R_C}$$

$$I_B>0\rightarrow V_i>V_{BE} \qquad V_{CE}=V_o-\cancel{V_E}^{\,0} \qquad V_{CE}=V_o=V_{CE,sat}=0'2V$$

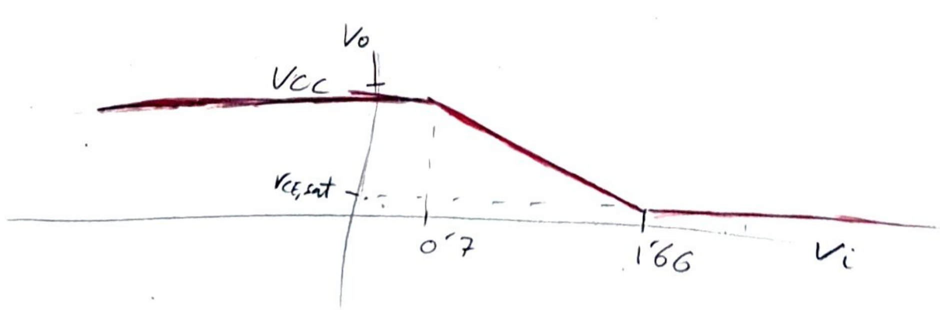
$$I_C<\beta I_B \qquad \frac{V_{CC}-V_o}{R_C}<\beta\,\frac{V_i-V_{BE}}{R_B} \qquad \frac{5-0'2}{1}<50\,\frac{V_i-0'7}{10}$$

$$\frac{5-0'2}{5}<V_i-0'7 \qquad \frac{5-0'2}{5}+0'7<V_i>\underline{1'66}$$

la más restrictiva

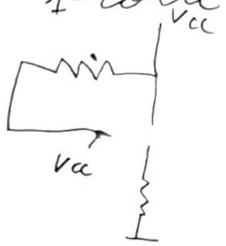
ⓑ Dibujar la función de transferencia

$$V_o\begin{cases} V_{CC} & V_i<0'7 \quad \text{corte}\\ 8'5-5V_i & 0'7<V_i<1'66 \quad \text{activa}\\ V_{CE,sat} & V_i>1'66 \quad \text{saturación}\end{cases}$$



9) Deducir las expresiones de V_E para los distintos rangos de V_{CC} ($V_{CC} \geq 0$) en los que el transistor se encuentra en los estados de corte o conducción posibles. Indicar expresamente dichos rangos y el estado correspondiente del transistor. Suponer conocidos los valores de V_{CC}, R_B y R_E

1º Corte

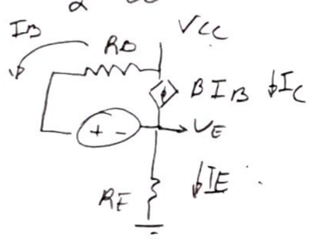


$V_E = 0\,V$ $\quad V_{CC} < V_{BE\gamma}$

$V_{BE} = V_B - \cancel{V_E}^{\,0}$

$V_{BE} = V_B = V_{CC}$

2º Conducción $\rightarrow I_B > 0 \quad V_{CE} > V_{CE,sat}$



$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE\gamma} - V_E}{R_B}$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

L.K.N

$$I_B + I_C = I_E$$

$$I_B + \beta I_B = I_E$$

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

$I_B > 0 \rightarrow V_{CC} - V_{BE\gamma} - V_E > 0 \quad V_{CC} > V_{BE\gamma} + V_E$

$V_{CE} = V_C - V_E, \quad V_{CE} = V_{CC} - V_E > V_{CE,sat} \quad V_{CC} > V_{CE,sat} + V_E$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE\gamma} - V_E}{R_B}(1+\beta) = \frac{V_E}{R_E}$$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE\gamma}}{R_B}(1+\beta) - \frac{V_E}{R_B}(1+\beta) = \frac{V_E}{R_E}$$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE\gamma}}{R_B}(1+\beta) = \frac{V_E}{R_E} + \frac{V_E}{R_B} + \frac{V_E\beta}{R_B}$$

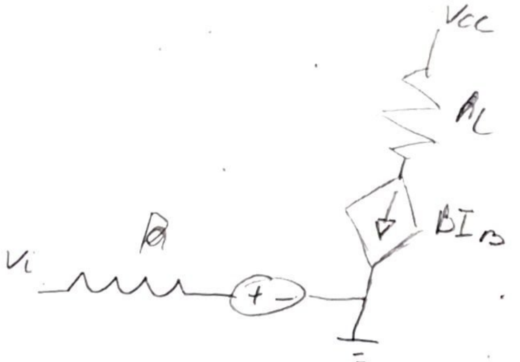
$$\frac{V_{CC} - V_{BE\gamma}}{\cancel{R_B}}(1+\beta) = \frac{V_E R_B + V_E R_E + V_E \beta R_E}{R_E \cancel{R_B}}$$

$$R_E[V_{CC} - V_{BE\gamma}(1+\beta)] = V_E(R_B + R_E + R_E\beta)$$

$$\frac{R_E[[V_{CC} - V_{BE\gamma}](1+\beta)]}{R_B + R_E + R_E\beta} = V_E$$

Demostrar que el circuito de la figura se comporta entre a y b como una fuente de corriente constante cuando el transistor está en activa
ⓐ ¿Qué relación existe entre la I en R_L y la tensión V_i?

ⓑ ¿Entre qué valores puede variar R_L para que funcione en activa?



ⓐ $I_B = \dfrac{V_i - V_{BE,\gamma}}{R_B}$

$I_C = \beta I_B \qquad I_{RL} = I_C = \beta \dfrac{V_i - V_{BE,\gamma}}{R_B}$

ⓑ

$I_C = \dfrac{V_{CC} - V_{CE}}{R_L} = \dfrac{\beta[V_i - V_{BE,\gamma}]}{R_B}$

$V_{CC} - V_{CE} = R_L \, \beta \left(\dfrac{V_i - V_{BE,\gamma}}{R_B}\right) \rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_L \beta \left(\dfrac{V_i - V_{BE,\gamma}}{R_B}\right)$

$V_{CE} > 0 \qquad V_{CC} - R_L \beta \left(\dfrac{V_i - V_{BE,\gamma}}{R_B}\right) > 0 \qquad V_{CC} > R_L \beta \left(\dfrac{V_i - V_{BE,\gamma}}{R_B}\right)$

$\dfrac{V_{CC}}{\beta\left(\dfrac{V_i - V_{BE,\gamma}}{R_B}\right)} > R_L \rightarrow R_L < 348'83\ \Omega$.