

PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

2º Curso de Grado en Ingeniería Informática – 17/18

TEMA 5: El transistor bipolar

1.- En el circuito de la figura

a) Calcular el punto de trabajo del transistor, siendo:

$$V_{CC} = 5 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 1 \text{ V}$$

$$R_C = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_B = 10 \text{ K}\Omega$$

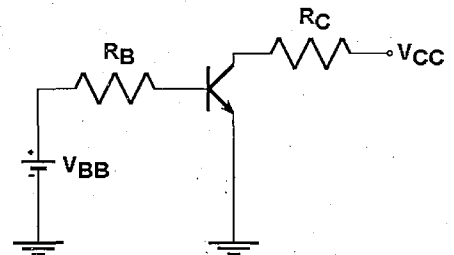
$$V_{BE,\gamma} = 0.7 \text{ V}$$

$$V_{CE(\text{saturación})} = 0.2 \text{ V}$$

$$\beta = 100$$

b) Calcular la resistencia de colector mínima que pase el transistor a saturación.

c) Con $R_C = 1 \text{ K}\Omega$, ¿qué valores de R_B pasan el transistor a saturación?

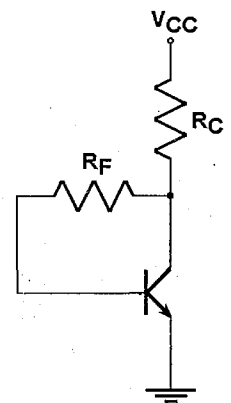


2.- En el circuito de la figura, $V_{CC} = 10 \text{ V}$:

a) Si se emplea un transistor con $\beta = 99$, y las resistencias dadas son $R_C = 2.7 \text{ K}\Omega$ y $R_F = 180 \text{ K}\Omega$, hallar los valores de V_{CE} e I_C . Tomar $V_{BE,\gamma} = 0.7 \text{ V}$.

b) Repetir (a) con $\beta = 199$.

c) Suponiendo que $\beta = 5$, determinar los valores de las resistencias R_C y R_F para que $V_{CE} = 2.5 \text{ V}$ e $I_C = 1 \text{ mA}$.



3.- La figura muestra un circuito de autopolarización para un transistor.

a) Determinar el punto de trabajo del dispositivo cuando:

$$V_{CC} = 12 \text{ V},$$

$$R_1 = 120 \text{ K}\Omega, \quad R_2 = 24 \text{ K}\Omega,$$

$$R_C = 2.4 \text{ K}\Omega, \quad R_E = 680 \Omega,$$

$$V_{BE,\gamma} = 0.7 \text{ V}, \quad \beta = 100$$

b) Determinar el punto de trabajo del dispositivo cuando:

$$V_{CC} = 15 \text{ V},$$

$$R_1 = 100 \text{ K}\Omega, \quad R_2 = 50 \text{ K}\Omega,$$

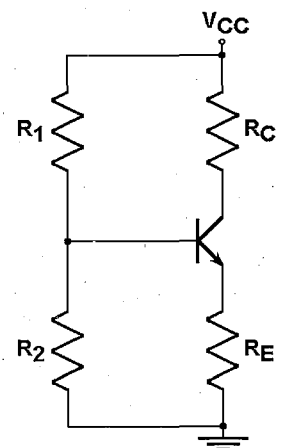
$$R_C = 5 \text{ K}\Omega, \quad R_E = 3 \text{ K}\Omega,$$

$$V_{BE,\gamma} = 0.7 \text{ V}, \quad \beta = 100$$

c) Determinar R_1 , R_2 y R_E para que el punto de funcionamiento del transistor sea tal que $V_{CE} = 6 \text{ V}$ e $I_C = 2 \text{ mA}$, al tiempo que se verifica la relación de corrientes: $I_{R1}/I_B = 30$, y suponiendo que:

$$V_{CC} = 15 \text{ V}, \quad R_C = 3 \text{ K}\Omega,$$

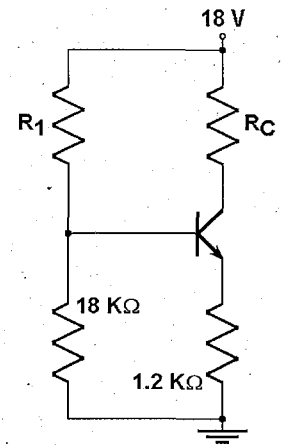
$$V_{BE,\gamma} = 0.7 \text{ V}, \quad \beta = 50$$



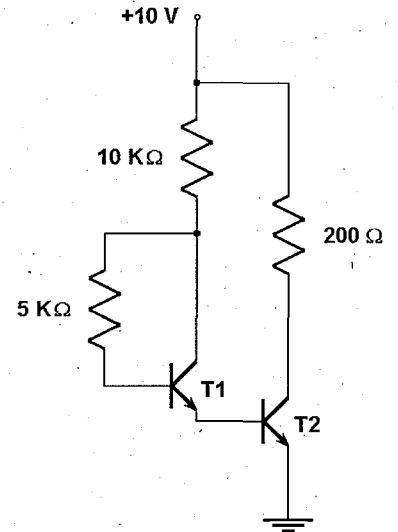
4.- Determinar R_1 y R_C para que la intensidad de colector y la tensión del colector en el punto de reposo valgan respectivamente $I_{CQ} = 2 \text{ mA}$ y $V_{CEQ} = 10 \text{ V}$.

Suponer $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, y que se verifica el criterio de estabilidad de la polarización frente a variaciones de la temperatura [$R_B \ll (\beta + 1) R_E$].

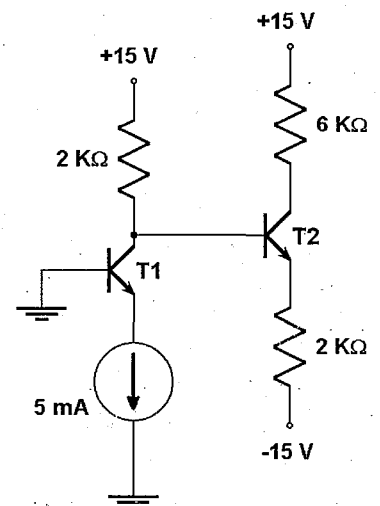
Suponer: $\beta \gg 1$



5.- Determinar el punto de trabajo (I_C , I_B , V_{CE}) de los dos transistores suponiendo que la ganancia en corriente ($\beta = 100$) es la misma para ambos ($V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ en activa o saturación; $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$ en saturación).



6.- Sabiendo que los dos transistores del circuito de la figura están en saturación, determinar la corriente de base del transistor T1 ($V_{BE,sat} = 0.7 \text{ V}$; $V_{CE,sat} = 0.2 \text{ V}$).



7.- En el siguiente circuito:

a) Encontrar el valor mínimo de la tensión V_{BB} para que el transistor T2 pase de corte a conducción.

b) Para $V_{BB} = 3 \text{ V}$ encontrar el valor mínimo que debe tomar R_2 para que el transistor T2 se encuentre saturado.

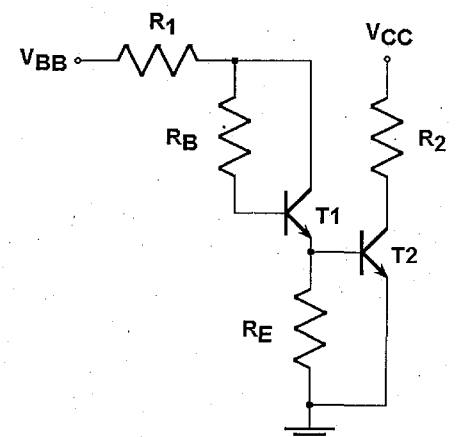
Datos: $V_{CC} = 5 \text{ V}$;

$R_1 = R_E = 1 \text{ K}\Omega$; $R_B = 10 \text{ K}\Omega$;

$V_{BE(activa)} = V_{BE(saturac.)} = 0.7 \text{ V}$;

$V_{CE(saturación)} = 0.2 \text{ V}$;

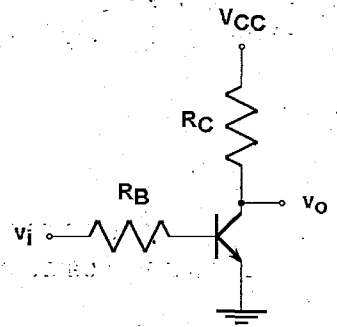
$\beta = 19$.



8.- Para el circuito de la figura:

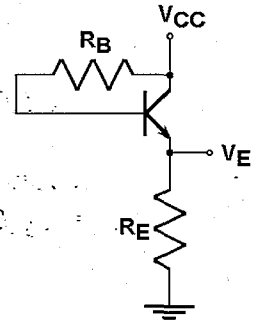
- Determinar la función de transferencia, $V_o(V_i)$, para el transistor en las tres regiones de activa, corte y saturación.
- Determinar el rango de valores de V_i para el que es válida cada una de las funciones anteriores, y dibujar la función de transferencia para tensiones de entrada desde -5 V hasta +5 V.

($V_{BE} = 0.7$ V, $V_{CE,sat} = 0.2$ V, $\beta = 50$;
 $V_{CC} = +5$ V, $R_B = 10$ K Ω , $R_C = 1$ K Ω .)



9.- Suponiendo un transistor de unión típico de silicio, 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 , y las aproximaciones lineales para el transistor: $V_{BE,conducción} \approx V_{BE\gamma}$, $V_{CE,saturación} \approx V_{CEsat}$ y $\beta \equiv$ ganancia de corriente en activa (emisor común).



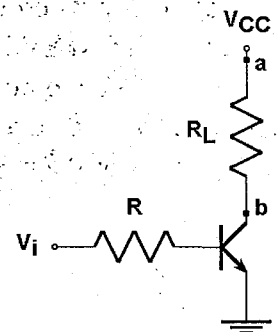
10.- Demostrar que el circuito de la figura se comporta, entre los nodos a y b, como una fuente de corriente constante, siempre y cuando el transistor esté en la región activa.

- ¿Qué relación existe entre la corriente en la carga R_L y la tensión de entrada V_i ?
- ¿Entre qué valores puede variar R_L para que el transistor funcione en activa?

Suponiendo que $V_i = 5$ V, y que:

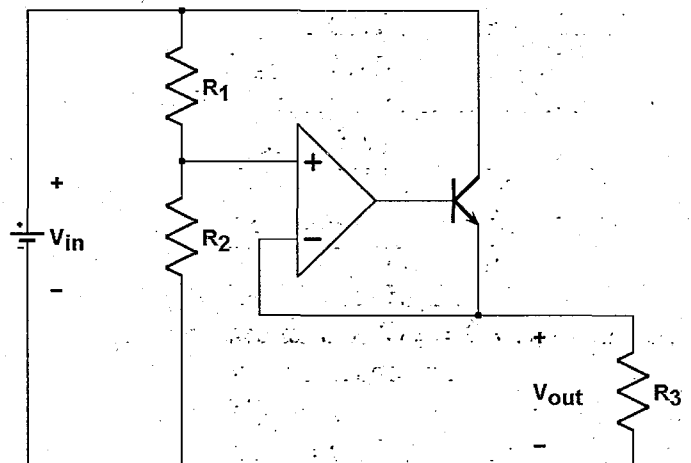
$R = 10$ K Ω , $V_{CC} = 15$ V,
 $V_{BE\gamma} = 0.7$ V, $\beta = 100$,

calcular dicho intervalo de valores de R_L .



11.- En el circuito de la figura, el amplificador operacional es ideal, $V_{in} = 15$ V, $R_1 = 10$ K Ω , $R_2 = 5$ K Ω , $R_3 = 5$ K Ω y el transistor está caracterizado por $h_{FE} = 100$, $V_{BE}^{act} = 0.6$ V y $V_{CE}^{sat} = 0.2$ V. Calcular:

- El voltaje de salida V_{out} .
- Las corrientes del transistor.



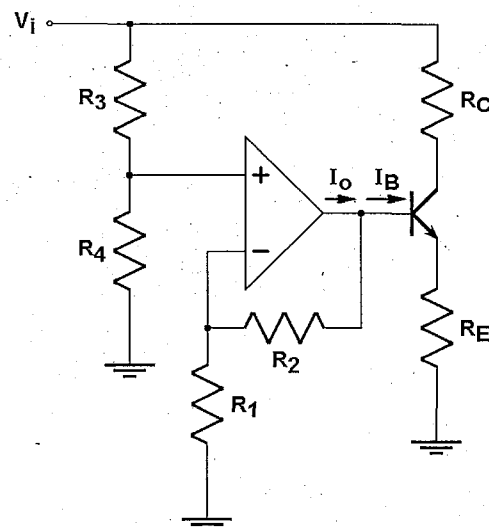
12.- El amplificador operacional de la figura es ideal y está funcionando en la región lineal.

a) ¿A partir de qué tensión de entrada, V_i , comenzará a conducir el transistor?

b) Para $V_i = 10$ V, encontrar la intensidad I_o . ¿Entra o sale del operacional?

Datos: $R_1 = R_4 = R_E = R_C = 1$ K Ω ; $R_2 = 9$ K Ω ; $R_3 = 19$ K Ω ;

$\beta = 100$; $V_{BE(activa)} = 0.6$ V.

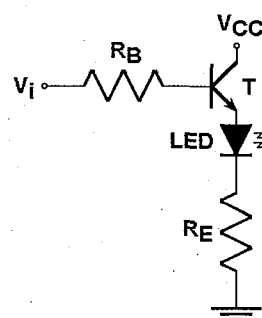


13.- Sabiendo que v_i toma valores tales que: $v_i \leq V_{CC}$, deducir las expresiones de la corriente que circula por el LED, i_{LED} , utilizando los modelos lineales para gran señal del transistor bipolar de unión (T) y del LED, suponiendo que éste presenta una resistencia despreciable en conducción. Indicar los intervalos de v_i en que son válidas cada una de las expresiones de i_{LED} dadas.

Considerar que: $V_{CC} \gg V_{BE\gamma} + V_\gamma$,

y suponer conocidos: V_{CC} , R_B y R_E ;

V_γ (del LED); β , $V_{BE\gamma}$ y V_{CEsat} (del transistor).

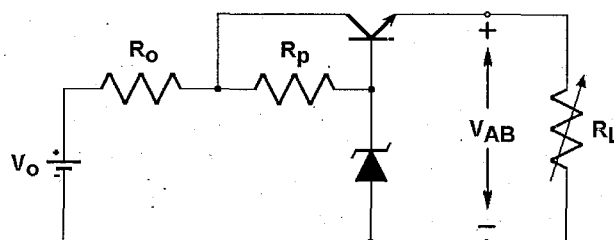


14.- La figura representa un circuito estabilizador por diodo zener y transistor. El circuito se emplea para obtener un voltaje de salida V_{AB} prácticamente independiente de las variaciones de voltaje de la fuente original (de equivalente de Thévenin V_o , R_o) y de la corriente consumida por la carga R_L .

a) Suponiendo que no se conecta la resistencia R_L (salida en circuito abierto), calcular el mínimo voltaje que se precisa en V_o ($V_o^{min.}$) para que el zener esté trabajando en la región inversa zener (modelo: V_Z , R_Z).

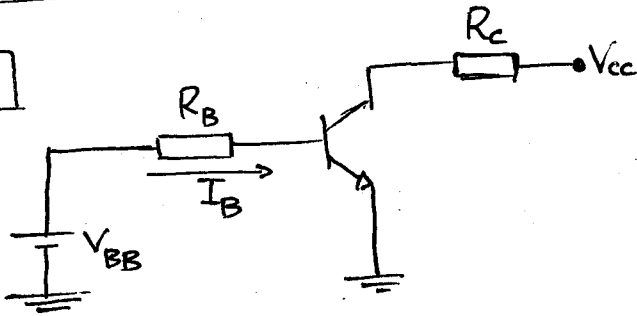
b) Suponiendo que $V_o > V_o^{min.}$ y que el transistor trabaja en la región activa (modelo: h_{FE} , $V_{BE}^{act.}$), calcular una expresión para el voltaje y la resistencia equivalente de Thévenin entre los terminales A y B.

c) A partir de los resultados anteriores, calcular el factor de estabilización de voltaje, $S_v = \partial V_{AB} / \partial V_o$.



HOJA 5: TRANSISTORES

1.



$$V_{CC} = 5V$$

$$V_{BB} = 1V$$

$$R_C = 1K\Omega$$

$$R_B = 10K\Omega$$

$$V_{BE, \gamma} = 0.7V$$

$$V_{CE, sat} = 0.2V$$

$$\beta = 100$$

2) ¿Punto de trabajo?

► Suponemos saturación:

$$V_{BB} - R_B I_B - V_{BE} = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = 30 \cdot 10^{-6} A = 30 \mu A > 0$$

$$V_{CE} = V_{CE, sat} = 0.2V$$

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = 4.8 mA$$

¿ $4.8 mA < \beta I_B = 3 mA$?
NO → suposición falsa

► Suponemos activa:

$$V_{BB} - R_B I_B - V_{BE} = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = 30 \cdot 10^{-6} A = 30 \mu A > 0$$

$$I_C = \beta I_B = 3 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 2V > 0.2V \checkmark \text{ correcto } \rightarrow \text{ está en activa}$$

$$Q = (V_{CE}, I_C) = (2V, 3mA)$$

b) Resistencia colector mínima que pase el transistor a saturación:
Suponemos que estamos en activa y añadimos la hipótesis de saturación:

$$V_{BE} = V_{\gamma} = 0.7V$$

$$V_{CE} = V_{CE, sat} = 0.2V$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$V_{BB} - R_B I_B - V_{BE} = 0 \rightarrow I_B = 30 \mu A \rightarrow I_C = \beta I_B = 3 mA$$

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} = 0 \rightarrow R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = 1.6 K\Omega$$

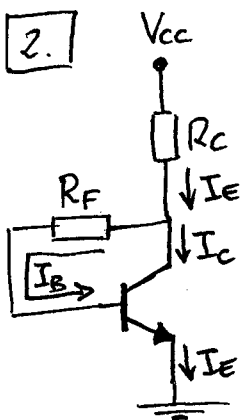
c) Si $R_C = 1K\Omega$, ¿qué valores de R_B pasan el transistor a saturación?

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = 4.8 mA$$

$$I_C = \beta I_B \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = 48 \mu A$$

$$V_{BB} - I_B R_B - V_{\gamma} = 0 \Rightarrow R_B = \frac{V_{BB} - V_{\gamma}}{I_B} = 6.25 K\Omega$$

2.



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

Debido a su configuración, el circuito no puede estar en saturación: suponemos que está en activa.

$$V_{BE} = V_{\gamma} ; I_C = \beta I_B ; I_E = I_C + I_B \Rightarrow I_E = (1 + \beta) I_B$$

$$V_{BE} + R_F I_B + (\beta + 1) I_B R_C = 10 \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{\gamma}}{(\beta + 1) R_C + R_F} = \frac{9'3 \text{ V}}{450 \text{ K}\Omega} = 20'7 \mu\text{A}$$

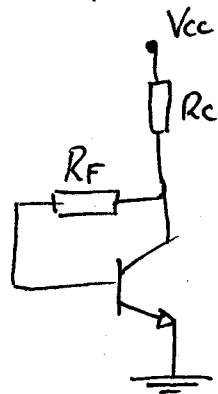
$$I_C = 2'05 \mu\text{A} ; I_E = 22'75 \mu\text{A}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_E = V_{\gamma} + I_B R_F = \underline{4'42 \text{ V}} > 0'2 \text{ V} = V_{CE, \text{sat}} \checkmark$$

b) Repetir el apartado anterior con $\beta = 199$.

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{\gamma}}{(\beta + 1) R_C + R_F} = 12'9 \mu\text{A} ; I_C = 2'57 \text{ mA} ; V_{CE} = \underline{3'02 \text{ V}} > 0'2 \text{ V} \checkmark$$

c) Suponiendo $\beta = 5$ y $V_{CE} = 2'5 \text{ V}$ y $I_C = 1 \text{ mA}$ ¿ R_C y R_F ?



$$I_C = \beta I_B \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1 \text{ mA}}{5} = 0'2 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 2'5 \text{ V} = V_{\gamma} + R_F I_B \Rightarrow R_F = \underline{9 \text{ K}\Omega}$$

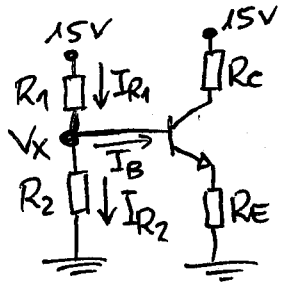
$$V_{CC} - V_{CE} = 7'5 \text{ V} = R_C I_E \Rightarrow R_C = \frac{7'5 \text{ V}}{1'2 \text{ mA}} = \underline{6'25 \text{ K}\Omega}$$

c) Determinar R_1, R_2 y R_E para que el punto de funcionamiento del transistor sea tal que $V_{CE} = 6V$ y $I_C = 2mA$, al mismo tiempo que se verifica la relación de corrientes $I_{R_1}/I_B = 30$.

DATOS: $V_{CC} = 15V$; $R_C = 3K\Omega$; $V_{BE, \gamma} = 0.7V$; $\beta = 50$.

$$I_C = \beta I_B \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0.04mA; I_E = I_C + I_B = 2.04mA$$

$$I_{R_1} = 30 I_B = 1.2mA$$



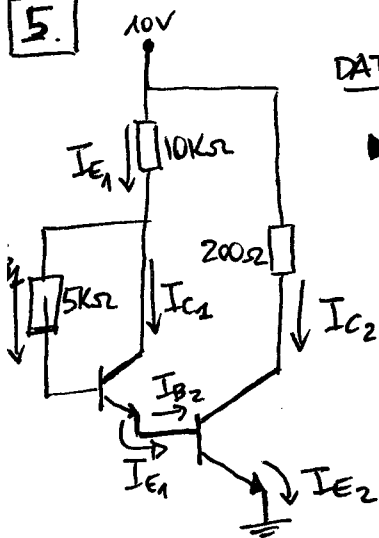
$$I_{R_2} = I_{R_1} - I_B = 1.2mA - 0.04mA = 1.16mA$$

$$R_E I_E + 6 + I_C R_C = 15 \Rightarrow R_E = \frac{15 - 6 - I_C R_C}{I_E} = 1.47K\Omega$$

$$15 - I_{R_1} R_1 - V_{BE} - I_E R_E = 0 \Rightarrow R_1 = \frac{15 - V_{BE} - I_E R_E}{I_{R_1}} = 9.42K\Omega$$

$$15 - I_{R_1} R_1 - I_{R_2} R_2 = 0 \Rightarrow R_2 = \frac{15 - I_{R_1} R_1}{I_{R_2}} = 3.186K\Omega$$

5.



DATOS: $\beta = 100$; $V_{BE} = 0.7V$; $V_{CE, sat} = 0.2V$

► Suponemos que los dos están en activa:

$$I_{E1} = I_{B2}$$

$$V_{BE} + V_{BE} + 5K I_{B1} + 10K (\beta + 1) I_{B1} = 10V \Rightarrow I_{B1} = 847\mu A$$

$$I_{E1} = 0.85mA \approx I_{C1} = I_{B2}$$

$$V_{CE1} = 10 - 10K I_{E1} - V_{BE} = 0.74V$$

$$V_{CE2} = 10 - 200 I_{C2} = -74V \neq 0.2V \text{ Suposición falsa}$$

► Suponemos T_1 en activa y T_2 en saturación.

Para T_1 los cálculos valen los de arriba

$$V_{CE2} = 0.2V$$

$$I_{C2} = \frac{10 - 0.2V}{200\Omega} = 49mA < \beta I_B = 85mA \quad \checkmark$$

En conclusión:

$$T_1: Q_1 = (0.74V, 0.85mA)$$

$$T_2: Q_2 = (0.2V, 49mA)$$

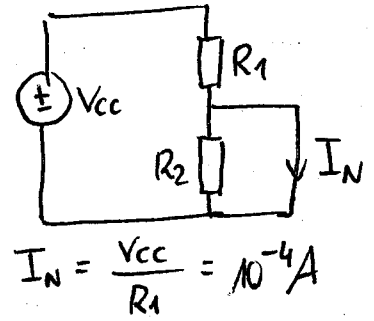
3.

2) DATOS: $V_{CC} = 12V$, $R_1 = 120K\Omega$, $R_2 = 27K\Omega$, $R_C = 27K\Omega$, $R_E = 000\Omega$

$$V_B = 0.7V$$

$$\beta = 100 \quad I = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 8.3 \mu A$$

$$V_{Th} = V_{AB} = R_2 I \approx 2V$$



$$I_N = \frac{V_{CC}}{R_1} = 10^{-4} A$$

$$R_{eq} = \frac{V_{Th}}{I_N} = 20K\Omega$$

Entonces podemos hacer la siguiente simplificación:

Suponemos activa:

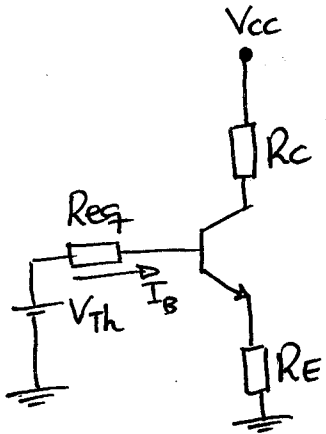
$$V_{Th} - I_B R_{eq} - V_B - R_E (\beta + 1) I_B = 0 \Rightarrow I_B = 14.7 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 1.47 mA$$

$$I_E = I_B + I_C = 1.4847 mA$$

$$V_{CE} = -R_E I_E + V_{CC} - R_C I_C = 7.46V > 0.2V \checkmark$$

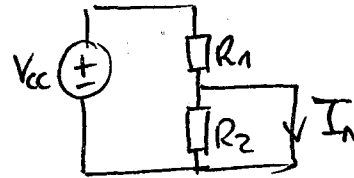
$$Q = (7.46V, 1.47mA)$$



b) DATOS: $V_{CC} = 15V$; $R_1 = 100K\Omega$; $R_2 = 50K\Omega$; $R_C = 5K\Omega$; $R_E = 3K\Omega$; $V_B = 0.7V$; $\beta = 100$

$$I = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 10^{-4} A$$

$$V_{Th} = V_{AB} = R_2 I = 5V$$



$$I_N = \frac{V_{CC}}{R_1} = 150 \mu A$$

$$R_{eq} = 33333.3 \Omega$$

Suponemos activa:

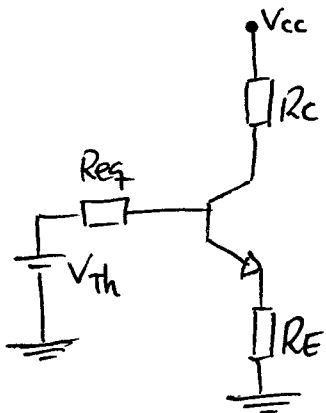
$$V_{Th} - I_B R_{eq} - V_B - R_E (\beta + 1) I_B = 0 \Rightarrow I_B = 12.8 \mu A$$

$$I_C = 1.293 mA$$

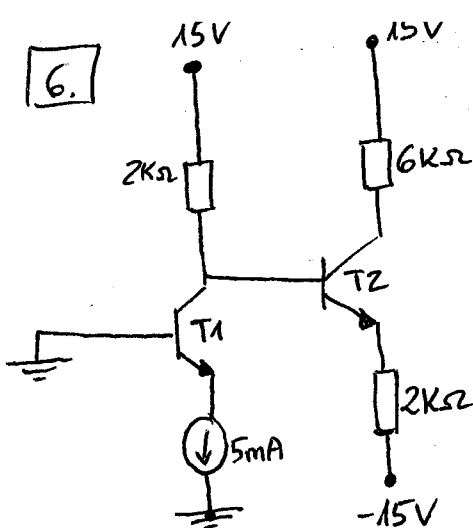
$$I_E = 1.301 mA$$

$$V_{CE} = -R_E I_E + V_{CC} - R_C I_C = 4.63V > 0.2V \checkmark$$

$$Q = (4.63V, 1.293mA)$$

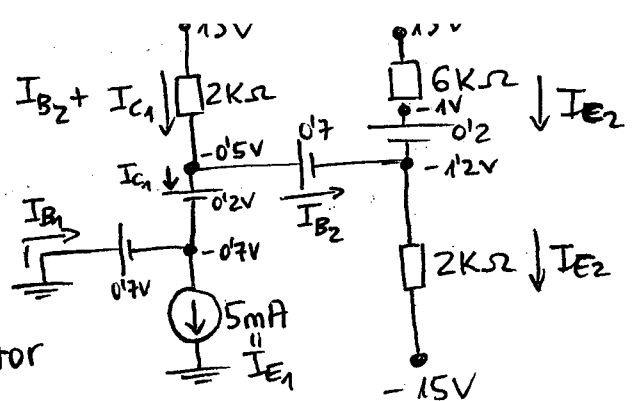


6.



Sabiendo que los dos transistores del circuito están en saturación, determinar la corriente de base del transistor T1.

$$V_{BE,sat} = 0.7V; V_{CE,sat} = 0.2V$$



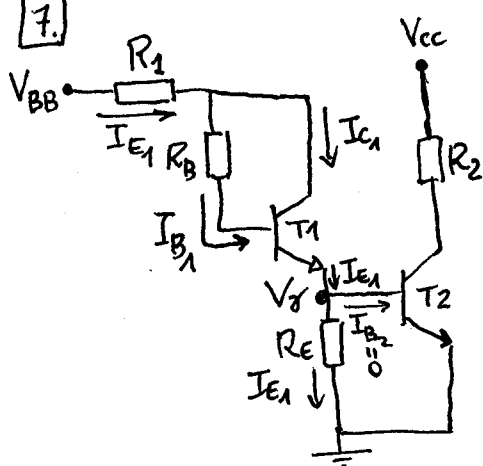
$$I_{C2} = \frac{15 - (-1)V}{6K\Omega} = 2.6mA; I_{E2} = \frac{-1.2 + 15V}{2K\Omega} = 6.9mA$$

$$I_{B2} = I_{E2} - I_{C2} = 6.9 - 2.6 = 4.23mA$$

$$I_{B2} + I_{C1} = \frac{15 - (-0.5)}{2K} = 7.75mA; I_{C1} = 7.75mA - 4.23mA = 3.52mA$$

$$I_{B1} = I_{E1} - I_{C1} = 5mA - 3.52mA = 1.48mA$$

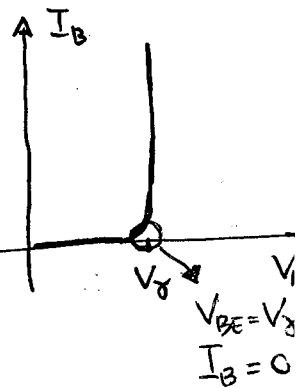
7.



a) Valor mínimo de la tensión V_{BB} para que el transistor T2 pase de corte a conducción.

$$I_{E1} = \frac{V_{BE}}{R_E} = \frac{0.7}{1K\Omega} = 0.7mA$$

$$V_{BB} = 2V_{BE} + R_B I_{B1} + R_1 I_{E1} = 2V_{BE} + \frac{R_B I_E}{\beta + 1} + R_1 I_E = 2.45V$$



b) $V_{BB} = 3V$, encontrar el valor mínimo que debe tomar R_2 para que el transistor T2 se encuentre saturado.

$$V_{BB} = 3V = 2V_{BE} + R_B I_{B1} + R_1 (\beta + 1) I_{B1} \Rightarrow I_{B1} = \frac{3 - 2V_{BE}}{R_B + R_1 (\beta + 1)} = 53\mu A$$

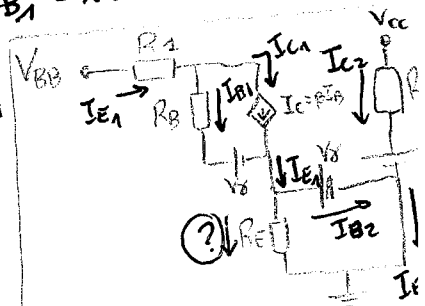
$$\Rightarrow I_{E1} = (\beta + 1) I_{B1} = 1.07mA$$

$$\text{Por otro lado: } I_{E1} = \frac{V_{BE}}{R_E} + I_{B2} \Rightarrow I_{B2} = 0.37mA$$

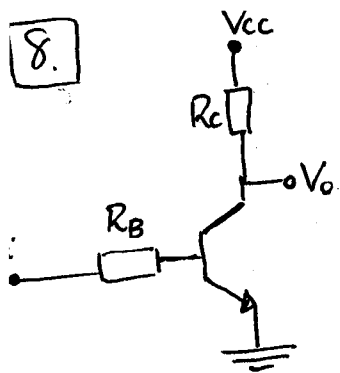
$$I_{C2} = \beta \cdot 0.37 = 7.03mA$$

$$V_{CC} = 0.2 + I_{C2} R_2 \Rightarrow R_2 = \frac{V_{CC} - 0.2}{I_{C2}} = 690\Omega$$

$$\boxed{V_{CE2,sat} = V_{CE2}} \\ \boxed{I_C = \beta I_B}$$



8.



2) Determinar la función de transferencia $V_o(V_i)$ para el transistor en las tres regiones.

• ACTIVA: $I_B = \frac{V_i - V_\gamma}{R_B}$

$V_o = V_{cc} - I_C R_C = V_{cc} - \beta R_C \cdot \frac{V_i - V_\gamma}{R_B}$

$V_o = 8.5 - 5V_i$

• SATURACIÓN: $V_o = V_{CE, sat} = 0.2V$

• CORTE: $V_o = V_{cc} = 5V$

b) Rango de validez y dibujo.

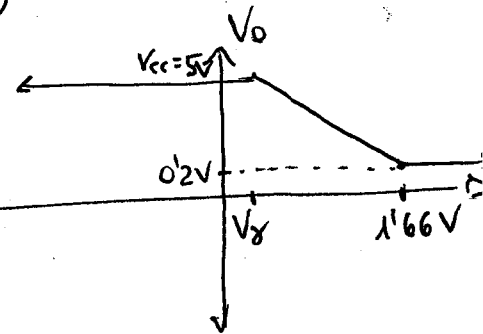
• ACTIVA: (hacemos primero las otras que son más fáciles)
 $0.7V = V_\gamma < V_i < 1.66V$

• SATURACIÓN: $V_{cc} - R_C I_C - V_{CE} = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{cc} - V_{CE}}{\beta R_C} = 96\mu A$

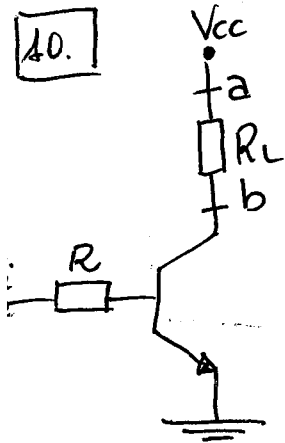
$V_i = V_\gamma + R_B I_B = 1.66V$

$V_i > 1.66V$

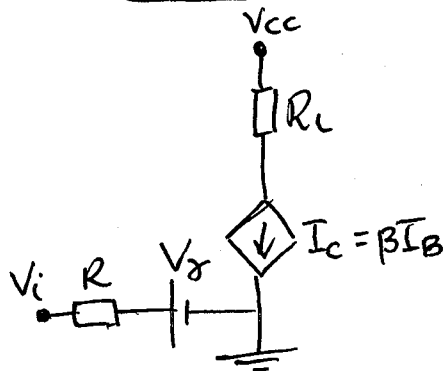
• CORTE: $I_B = 0 \Leftrightarrow I_B = \frac{V_i - V_\gamma}{R_B} < 0 \Leftrightarrow V_i < V_\gamma$



10.



2) En activa



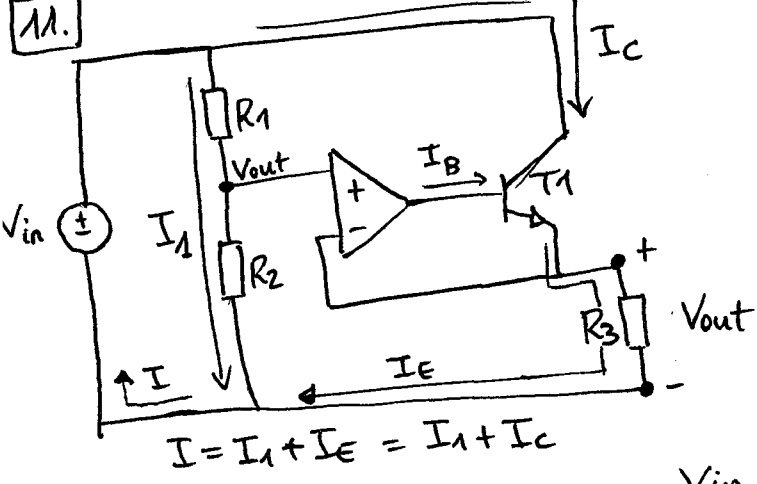
$I_B = \frac{V_i - V_\gamma}{R}$

$I_{R_L} = \beta I_B = \beta \frac{V_i - V_\gamma}{R}$

Esto solo pasa si el transistor está en activa.

b) $V_{cc} - 0.2 = I_C R_L^{max} \Rightarrow R_L^{max} = \frac{(V_{cc} - 0.2) \cdot R}{\beta (V_i - V_\gamma)} = \underline{\underline{344 \Omega}}$

11.



DATOS: $V_{in} = 15V$ $R_1 = 10K\Omega$
 $h_{FE} = \beta = 100$ $R_2 = 5K\Omega$
 $V_{BE, \gamma} = 0.6V$ $R_3 = 5K\Omega$
 $V_{BE, sat} = 0.2V$

2) ¿Vout? b) ¿Corrientes T1?

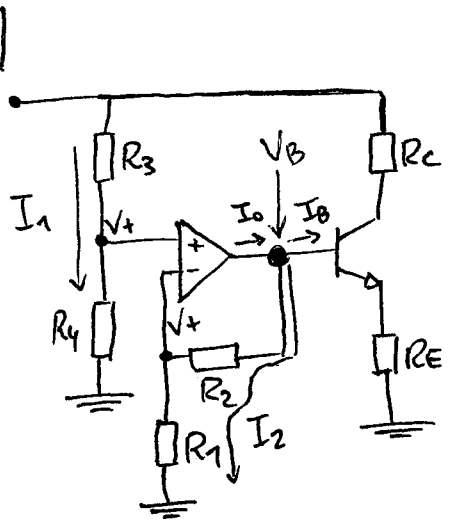
2) $V_{in} = I_1 R_2 + I_1 R_1 \rightarrow I_1 = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$
 $V_{out} = I_1 \cdot R_2 \Rightarrow V_{out} = \frac{V_{in} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 5V$

b) Suponemos transistor en activa:

$I_E = I_{R3} = \frac{V_{out}}{R_3} = 1mA$; $I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = 10\mu A$
 $I_C = I_E \cdot \frac{\beta}{\beta + 1} = 0.99mA \approx 1mA$

$V_{CE} = V_{in} - V_{out} = 15 - 5 = 10V$

12.



DATOS: $R_1 = R_4 = R_E = R_C = 1K\Omega$
 $R_2 = 9K\Omega$ $R_3 = 19K\Omega$
 $\beta = 100$ $V_{BE, \gamma} = 0.6V$

2) ¿A partir de qué tensión de entrada comenzará a conducir el transistor?

b) Para $V_i = 10V$, encontrar la intensidad I_C entra o sale del operacional?

$I_1 = \frac{V_i - 0}{R_3 + R_4}$; $V_+ = R_4 I_1 = \frac{V_i R_4}{R_3 + R_4}$; $I_2 = \frac{V_+ - 0}{R_1} = \frac{V_i R_4}{R_1 (R_3 + R_4)}$

El momento en que empieza a conducir es el momento que pasa de corte a activa $\Rightarrow I_B = I_E = 0 = I_C$ y $V_{BE} = V_{\gamma}$.
 Entonces, como $I_E = 0$ y $V_{BE} = V_{\gamma} \Rightarrow V_B = V_{\gamma} = I_2 (R_1 + R_2) = \frac{1}{2} \cdot V_i \Rightarrow$
 $\Rightarrow V_i = 2V_{\gamma} = 1.2V //$

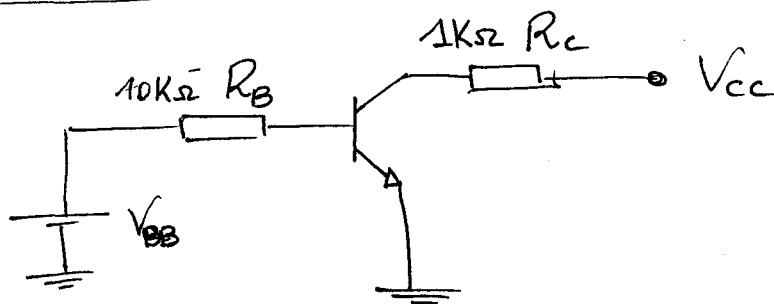
a) $V_i = 10V \Rightarrow V_B = 5V = V_{\gamma} + R_E I_E \Rightarrow I_E = 4.4mA$

• Suponemos activa: $I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = 44\mu A$; $I_0 = I_1 + I_B = 544\mu A$
 $I_2 = \frac{5V}{R_1 + R_2} = 500\mu A$ Sale del ampl. op.

$V_{CE} = V_i - R_C I_C - R_E I_E \rightarrow V_{CE} \approx 10V > 0.2V$ Suposición correcta ✓

HOJA 5 : TRANSISTORES

1



$$V_{\gamma} = 0.7V$$

$$V_{CE,sat} = 0.2V$$

$$\beta = 100$$

$$V_{BB} - R_B I_B - V_{BE} = 0 \Leftrightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = 30 \mu A$$

$$\text{¿Sat?} \rightarrow V_{CE} = 0.2V$$

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{4.8}{1k\Omega} = 4.8mA < \underset{3mA}{\beta I_B} ?$$

Falsa \Rightarrow NO SATURACIÓN

$$\text{¿Activa?} \rightarrow I_C = \beta I_B = 3mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 2V > 0.2V \checkmark$$

correcto \Rightarrow ACTIVA

$$Q = (2V, 3mA)$$

¿Resistencia mínima para que el transistor pase a saturación $\rightarrow R_C$

$$\text{Act-Sat} \begin{cases} V_{CE} = 0.2V \\ I_C = \beta I_B \end{cases}$$

Sabemos que.

$$I_B = 30 \mu A \rightarrow I_C = 3mA$$

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} = 0$$

$$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ 5V & 3mA & 0.2V \end{matrix}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{4.8V}{3mA} = 1.6k\Omega$$

¿Resistencia mínima de base para que el transistor pase a saturación $\rightarrow R_B$

Sabemos que $I_B = 48 \mu A$

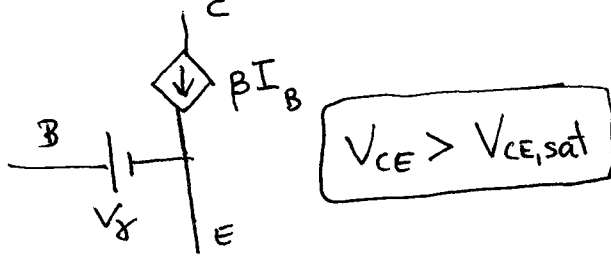
$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = 4.8mA$$

$$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ 5V & 1k\Omega & 0.2V \end{matrix}$$

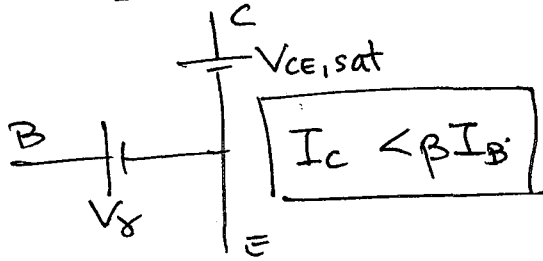
$$V_{BB} - I_B R_B - V_{\gamma} = 0 \Rightarrow R_B = 6.25k\Omega$$

NPN

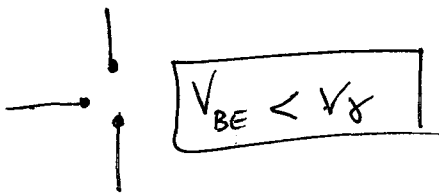
Activa



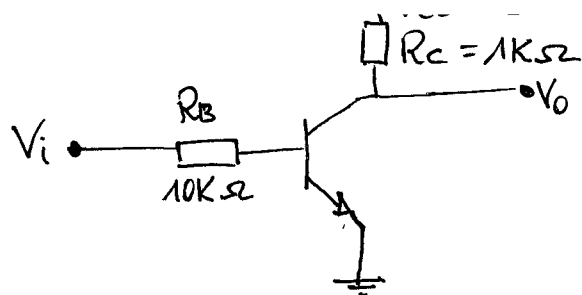
SATURACIÓN



CORTE



8.



En corte $\rightarrow V_o = V_{cc} = 5V$

En saturación $\rightarrow V_o = 0.2V$

En activa $\rightarrow V_o = V_{cc} - I_c R_c = V_{cc} - \beta I_B R_c = V_{cc} - \beta R_c \cdot \frac{V_i - V_\gamma}{R_B} \rightarrow$
 $\rightarrow V_o = 8.5 - 5V_i$

b) rango de validez ; $V_\gamma = 0.7$ $V_{sat} = 0.2V$ $\beta = 50$

• En corte : $I_B < 0 \rightarrow I_B = \frac{V_i - V_\gamma}{R_B} < 0 \Leftrightarrow V_i < V_\gamma$

• En saturación:

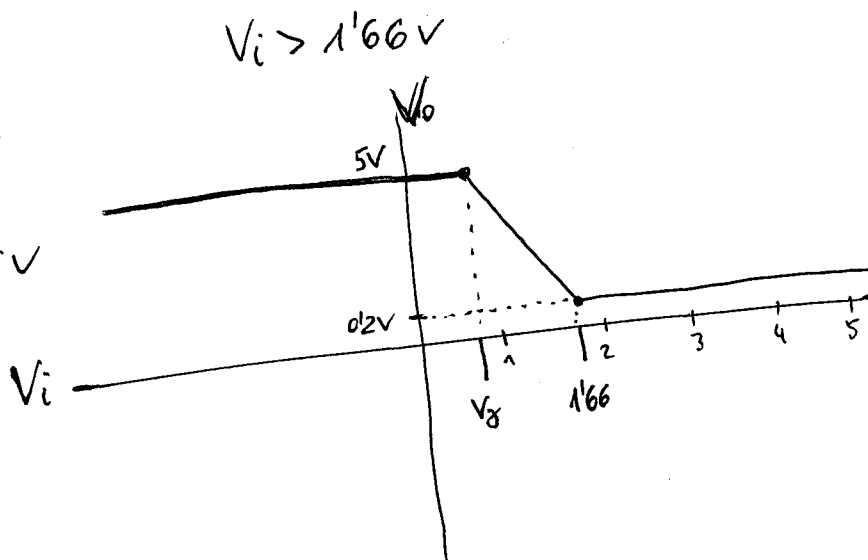
$$V_{cc} - R_c I_c - V_{CE} = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{cc} - V_{CE}}{\beta R_c} = \frac{4.8}{50K} = 96 \mu A$$

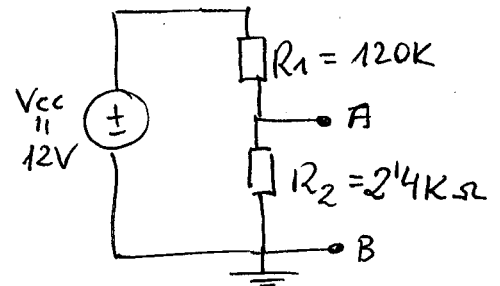
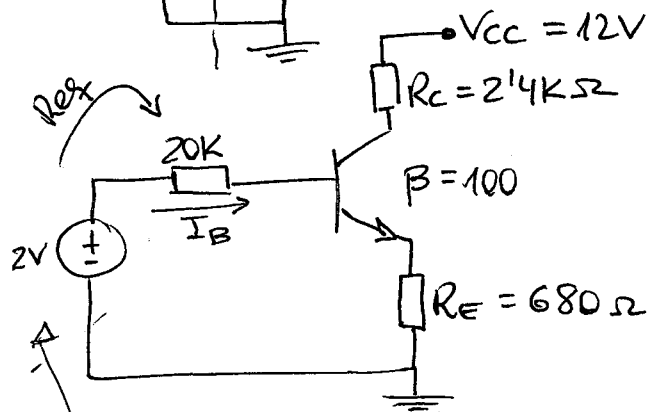
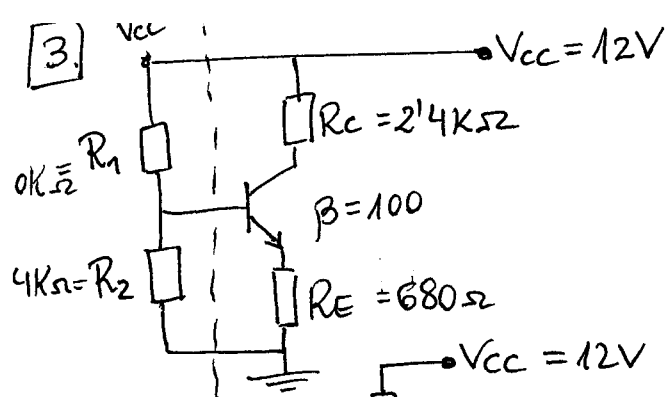
\uparrow \uparrow
 βI_B $0.2V$

$$V_i = V_\gamma + R_B I_B = 1.66V$$

• En activa:

$$0.7 < V_i < 1.66V$$





$V_{ABTh} = 2V$ $R_{eq} = 20K$

Si activa $\rightarrow 2V - R_B I_B - V_{BE} - R_E (\beta + 1) I_B = 0$

$\rightarrow I_B = 14.7 \mu A \Rightarrow I_C = \beta I_B = 1.47 mA$

$\Rightarrow I_E = I_B + I_C = 1.4847 mA$

$V_{CE} = -R_E I_E + V_{CC} - R_C I_C = 7.46V > 0.2V \quad \checkmark$

$Q(7.46V, 1.47 mA)$

b) Resultados

$V_{CC} = 15V$
 $R_1 = 100K\Omega ; R_2 = 50K\Omega$
 $R_C = 5K\Omega ; R_E = 3K\Omega$

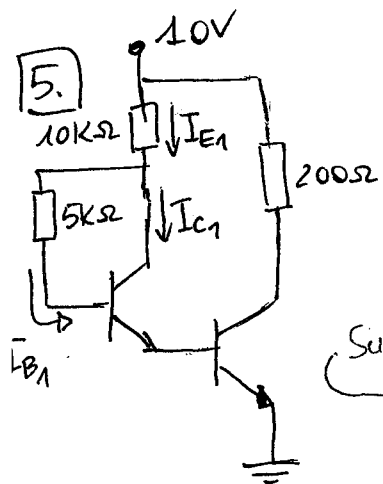
result. \rightarrow
 $V_{eqTh} = 5V$
 $R_{eq} = 33.3K\Omega$
 $Q = (4.7V, 1.28mA)$

$$c) Q(V_{CE}, I_C) = (2.5V, 1mA)$$

$$V_{CE} = 2.5V = V_{\gamma} + R_F I_B \Rightarrow R_F = 9K\Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 200\mu A$$

$$V_{CC} - V_{CE} = 7.5V = R_C I_E \Rightarrow R_C = \frac{7.5V}{1.2mA} = 6.25K\Omega$$



$$\beta = 100$$

$$V_{\gamma} = 0.7V$$

$$V_{CE,sat} = 0.2V$$

▷ Suponemos que ambos están en activa:

$$I_{E1} = I_{B2}$$

Suponemos T_1 en activa

$$\rightarrow 2V_{\gamma} + 5K I_{B1} + 10K(\beta + 1) I_{B1} = 10V \Rightarrow I_{B1} = 847\mu A$$

$$0.85mA = I_{E1} \approx I_{C1} = I_{B2}$$

Suponemos T_2 en activa

$$\rightarrow V_{CE1} = 10 - 10K I_{E1} - V_{\gamma} = 0.74V$$

$$V_{CE2} = 10 - 200 I_{C2} = -7.1V \neq 0.2V$$

SUPOSICIÓN FALLIDA

▷ Suponemos activa - saturación

Para T_1 en activa todo es "reciclable"

Suponemos T_2 en saturación

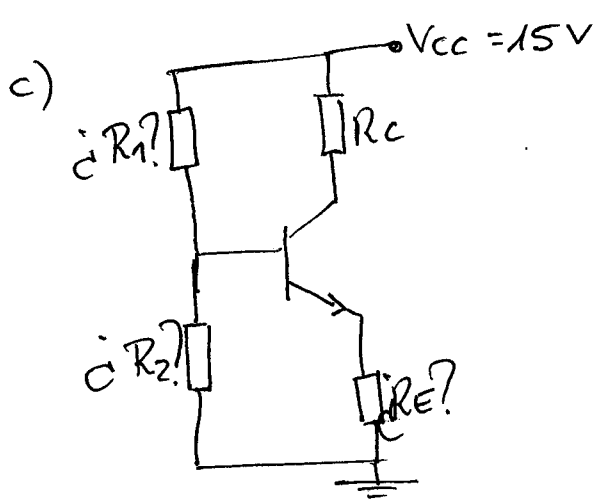
$$V_{CE2} = 0.2V$$

$$I_{C2} = \frac{10 - 0.2V}{200\Omega} = 49mA < \beta I_{B2} = 85mA$$

En conclusión

$$T_1(0.74V, 0.85mA)$$

$$T_2(0.2V, 49mA)$$



DATOS:

$$Q = (6V, 2mA)$$

$$I_{R1} = 30 I_B$$

$$I_C = 2mA \rightarrow I_E = I_C \frac{\beta+1}{\beta} = 2.04mA$$

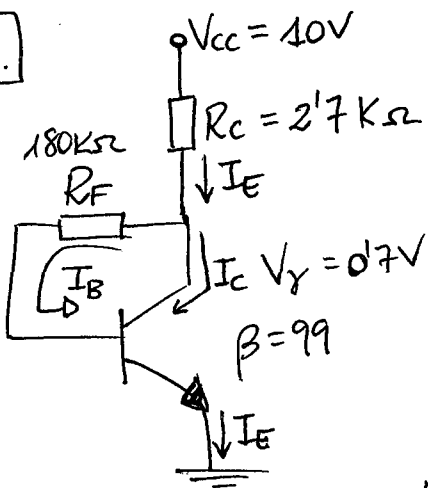
$$R_E I_E + V_{CE} + R_C I_C = 15V \rightarrow R_E = 1.47K\Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2mA}{50} = 40\mu A \Rightarrow I_{R1} = 1.2mA \Rightarrow I_{R2} = 1.16mA$$

$$V_B = I_E R_E + V_{BE} = 3.7V \Rightarrow R_2 = \frac{3.7V}{1.16mA} = 3.19K\Omega$$

$$R_1 = \frac{11.3V}{1.2mA} = 9.42K\Omega$$

2.



¿Q(V_{CE}, I_C)?

Suponemos activa

$$I_C = \beta I_B$$

$$V_{BE} + R_F I_B + (\beta+1) I_B R_C = 10 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(\beta+1)R_C + R_F} = \frac{9.3V}{450K\Omega} = 20.7\mu A$$

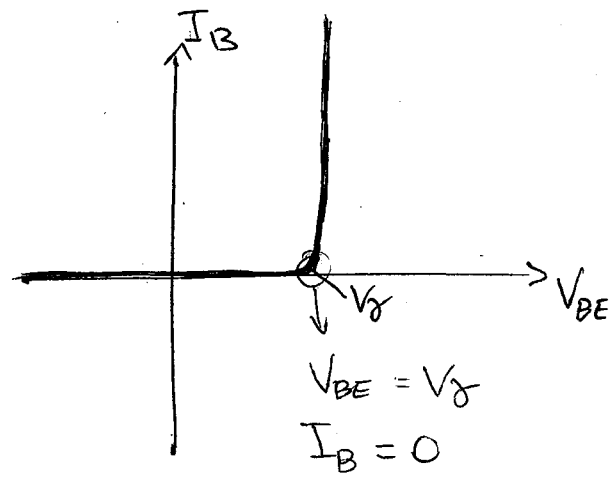
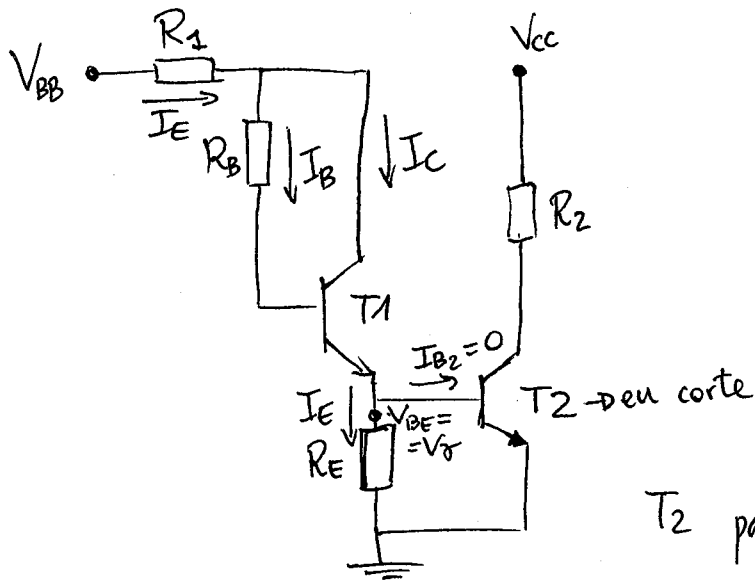
$$I_C + I_B = \Rightarrow I_C = 2.05\mu A$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_E = 4.42V > 0.2V$$

b) lo mismo con $\beta = 199$

$$I_B = 12.19\mu A ; I_C = 2.57mA ; V_{CE} = 3.02V > 0.2V$$

7.



T_2 pasa de corte a conducción

$$I_{E1} = \frac{V_\gamma}{R_E} ; \quad V_{BB} = 2V_\gamma + R_B I_B + R_1 I_E = 2V_\gamma + R_B \frac{I_E}{\beta+1} + R_1 I_E$$

$$\Rightarrow V_{BB} = 3.5 V_\gamma = 2.45 \text{ V}$$

b) $V_{BB} = 3\text{V}$, R_2 min para que T_2 esté en saturación.

$$V_{BB} = 3\text{V} = 2V_\gamma + R_B I_{B1} + R_1 (\beta+1) I_{B1} \Rightarrow I_{B1} = 53 \mu\text{A}$$

$$\Rightarrow I_{E1} = (\beta+1) I_{B1} = 1.07 \text{ mA}$$

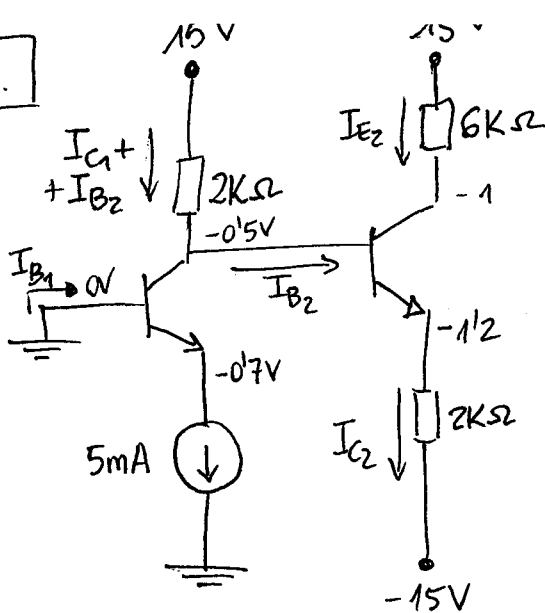
$$\text{Además: } I_{E1} = \frac{V_\gamma}{R_E} + I_{B2} \Rightarrow I_{B2} = 0.37 \text{ mA}$$

$$I_{C2} = \beta \cdot 0.37 = 7.03 \text{ mA}$$

$$\boxed{V_{CE} = V_{CE,sat}} \\ \boxed{I_C = \beta I_B}$$

$$I_{C2} R_2 = V_{CC} - 0.2\text{V} = 4.8\text{V} \Rightarrow R_2 = \frac{4.8}{I_{C2}} = \boxed{690 \Omega}$$

6.



Los dos están en saturación

$$I_{B1} = I_{E1} - I_{C1}$$

$$I_{E2} = \frac{15 - (-1)}{6K} = 2.66 \text{ mA}$$

$$I_{C2} = \frac{-1.2 + 15}{2K} = 6.9 \text{ mA}$$

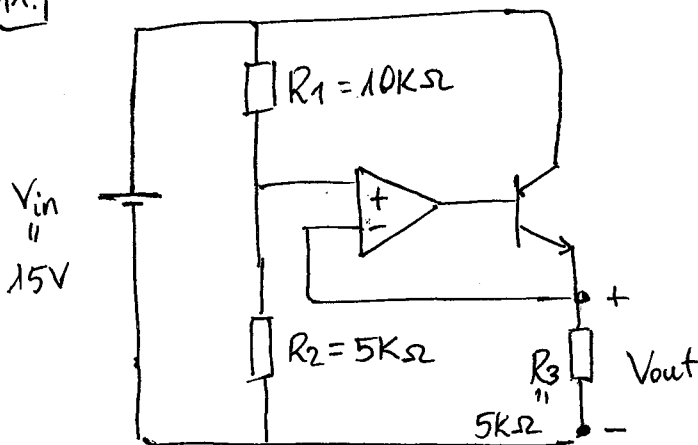
$$\Rightarrow I_{B2} = I_{E2} - I_{C2} = 4.23 \text{ mA}$$

$$I_{C1} + I_{B2} = \frac{15 - (-0.5)}{2K} = 7.75 \text{ mA}$$

$$I_{C1} = 7.75 \text{ mA} - 4.23 \text{ mA} = 3.52 \text{ mA}$$

$$I_{B1} = I_{E1} - I_{C1} = 5 \text{ mA} - 3.52 \text{ mA} = 1.48 \text{ mA}$$

11.



$$h_{FE} = \beta = 100$$

$$V_{\gamma} = 0.6 \text{ V}$$

$$V_{CE,sat} = 0.2 \text{ V}$$

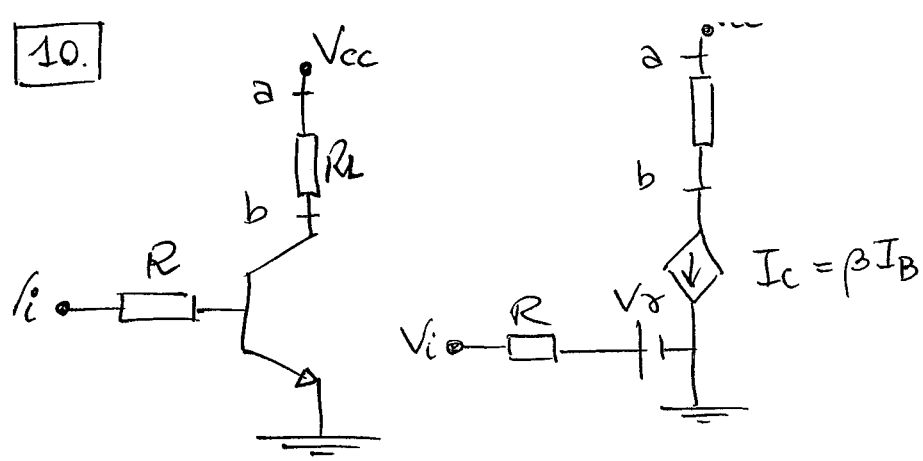
$$V_{out} = V_- = V_+ = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \text{ V}$$

$$I_E = I_{R3} = \frac{V_{out}}{R_3} = 1 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 10 \text{ V} \rightarrow \text{Suponemos activa} \rightarrow I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} \approx 10 \mu\text{A}$$

$$I_C = I_E \frac{\beta}{\beta + 1} = 0.99 \text{ mA}$$

10.

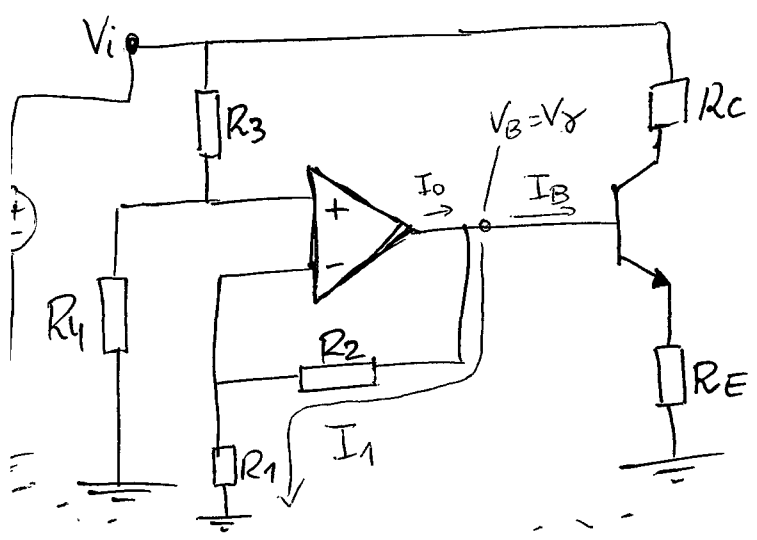


$$I_B = \frac{V_i - V_\gamma}{R}$$

$$I_{R_L} = \beta \frac{V_i - V_\gamma}{R} \rightarrow \text{siempre y cuando el transistor est\u00e9 en la regi\u00f3n activa.}$$

$$b) V_{CC} - 0.2 = I_C R_L^{\max} = \beta \frac{V_i - V_\gamma}{R} \cdot R_L^{\max} \Rightarrow R_L^{\max} = \frac{(V_{CC} - 0.2) \cdot R}{\beta (V_i - V_\gamma)} = \underline{\underline{344 \Omega}}$$

12.



$$V_+ = V_i \frac{R_4}{R_3 + R_4} = V_-$$

$$I_1 = \frac{V_+}{R_1}$$

$$V_B = (R_1 + R_L) I_1 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_i = \frac{V_i}{2} \Rightarrow \underline{\underline{V_i = 2V_\gamma = 1.2V}}$$

b)

$$V_i = 10V \rightarrow V_B = 5V = V_\gamma + R_E I_E \rightarrow I_E = 4.4 \text{ mA}$$

• Suponemos activa:

$$\left. \begin{aligned} I_B &= \frac{I_E}{\beta + 1} = 44 \mu A \\ I_1 &= \frac{5V}{R_1 + R_2} = 500 \mu A \end{aligned} \right\} I_0 = I_1 + I_B = 544 \mu A$$

$$V_{CE} = V_i - R_C I_C - R_E I_E \approx V_i - (R_C + R_E) I_E = 1.2V > 0.2V$$

sup. correcta ✓

