

PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS
2º Curso de Grado en Ingeniería Informática – 10/11

TEMA 5: El transistor bipolar

1.- En el circuito de la figura

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

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

$$V_{BE, \gamma} = 1 \text{ V}$$

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

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

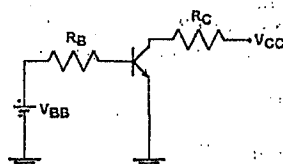
$$V_{BE, \gamma} = 0.7 \text{ V}$$

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

$$\beta = 100$$

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

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



Solución: a) $I_B = 30 \mu\text{A}$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

$$I_C = 3 \text{ mA}, \quad V_{CE} = 2 \text{ V}$$

b) $R_{C, \min} = 1.6 \text{ K}\Omega$

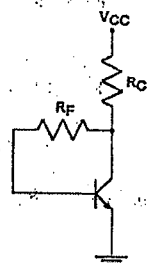
c) $R_{B, \max} = 6.25 \text{ K}\Omega$

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 $I_C = 1 \text{ mA}$.



Solución: a) $I_C = 2.05 \text{ mA}$, $V_{CE} = 4.41 \text{ V}$

b) $I_C = 2.57 \text{ mA}$, $V_{CE} = 3.03 \text{ V}$

c) $R_C = 6.25 \text{ K}\Omega$, $R_F = 9 \text{ K}\Omega$

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

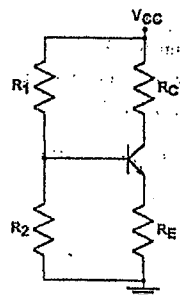
a) Determinar el punto de trabajo del dispositivo cuando:

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

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

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

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



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: $I_{R_1}/I_B = 30$, y suponiendo que:

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

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

Solución: a) $I_B = 14.7 \mu\text{A}$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

$$I_C = 1.47 \text{ mA}, \quad V_{CE} = 7.48 \text{ V}$$

b) $I_B = 12.8 \mu\text{A}$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

$$I_C = 1.28 \text{ mA}, \quad V_{CE} = 4.73 \text{ V}$$

c) $R_1 = 9.42 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 3.19 \text{ K}\Omega$, $R_E = 1.47 \text{ K}\Omega$

4.- Si se desea que el transistor se encuentre polarizado en activa, con una intensidad de colector $I_C = 6 \text{ mA}$, calcular R_1 y R_2 , siendo:

$$R_1 = 2 R_2$$

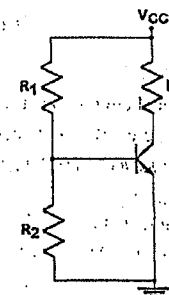
y:

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

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

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

$$\beta = 100$$



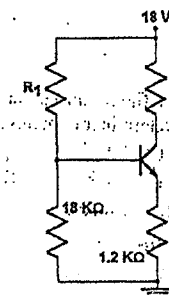
Solución: $R_1 = 165 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 82.5 \text{ K}\Omega$

5.- 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 $V_{BE, \gamma} = 0.7 \text{ V}$, 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: $\beta \gg 1$

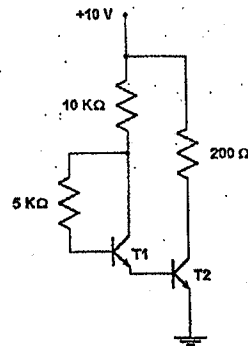
Solución: $R_C = 2.8 \text{ K}\Omega$, $R_1 = 86.5 \text{ K}\Omega$



6.- 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 ($V_{BE} = 0.7$ V en activa o saturación; $V_{CE} = 0.2$ V en saturación).

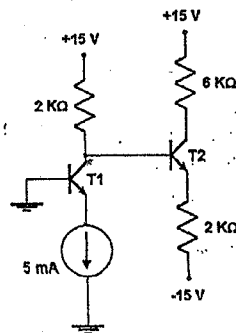
Solución:

$$\begin{aligned} T1: & (V_{BE}, I_B) = (0.7 \text{ V}, 8.5 \mu\text{A}); \\ & (V_{CE}, I_C) = (0.74 \text{ V}, 0.85 \text{ mA}) \\ T2: & (V_{BE}, I_B) = (0.7 \text{ V}, 0.86 \text{ mA}); \\ & (V_{CE}, I_C) = (0.2 \text{ V}, 49 \text{ mA}) \end{aligned}$$



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

Solución: $I_{B1} = 1.48 \text{ mA}$



8.- En el siguiente circuito:

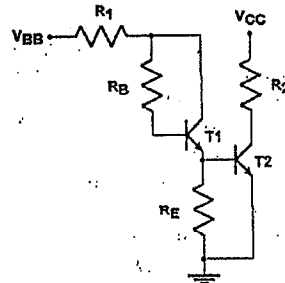
a) Encontrar el valor mínimo de la tensión V_{BB} para que el transistor T2 pase de corte a conducción.

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

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

$$\begin{aligned} R_1 &= R_E = 1 \text{ k}\Omega; R_B = 10 \text{ k}\Omega; \\ V_{BE}(\text{activa}) &= V_{BE}(\text{saturac.}) = 0.7 \text{ V}; \\ V_{CE}(\text{saturación}) &= 0.2 \text{ V}; \\ \beta &= 19. \end{aligned}$$

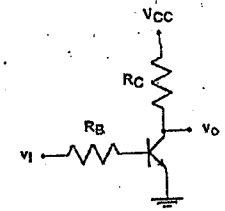
Solución: a) $V_{BB} = 2.45$ V
b) $R_2 = -689 \Omega$



9.- Para el circuito de la figura:

a) Determinar la función de transferencia, $V_O(V_i)$, para el transistor en las tres regiones de activa, corte y saturación.
b) 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, $R_B = 10 \text{ k}\Omega$, $R_C = 1 \text{ k}\Omega$)

$$\begin{aligned} \text{Solución: } V_O &= 5 \text{ V}, & V_i &\leq 0.7 \text{ V} & (\text{corte}) \\ V_O &= 8.5 \text{ V} - 5 \cdot V_i, & 0.7 \text{ V} &\leq V_i \leq 1.66 \text{ V} & (\text{activa}) \\ V_O &= 0.2 \text{ V}, & V_i &\geq 1.66 \text{ V} & (\text{saturación}) \end{aligned}$$

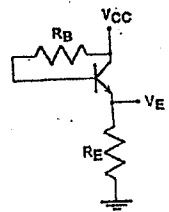


10.- Suponiendo un transistor de unión típico de silicio, deducir las expresiones de V_E para los distintos rangos de V_{CC} ($V_{CC} \geq 0$) en los que el transistor se encuentra en los estados de corte o conducción posibles. Indicar expresamente dichos rangos y el estado correspondiente del transistor. Suponer conocidos los valores de V_{CC} , R_B y R_E , y las aproximaciones lineales para el transistor: $V_{BE,\text{conducción}} \approx V_{BE\gamma}$, $V_{CE,\text{saturación}} \approx V_{CEsat}$ y $\beta \approx$ ganancia de corriente en activa (emisor común).

$$\begin{aligned} \text{Solución: } (i) \quad 0 \leq V_{CC} \leq V_{BE\gamma} &\Rightarrow \text{transistor en corte;} \\ &V_E = 0 \\ (ii) \quad V_{CC} \geq V_{BE\gamma} &\Rightarrow \text{transistor en conducción activa;} \\ V_E &= \frac{(1 + \beta)R_E}{R_B + (1 + \beta)R_E} (V_{CC} - V_{BE\gamma}) \end{aligned}$$

Nota:

El transistor no puede conducir en saturación: $V_{CC} \geq V_{BE\gamma} \Rightarrow V_{CE} \geq V_{BE\gamma} > V_{CEsat}$ (pues la unión BC no puede estar polarizada en directa, ya que $I_B \geq 0$)



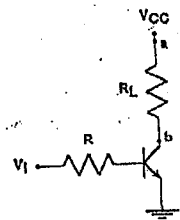
11.- Demostrar que el circuito de la figura se comporta, entre los nodos a y b, como una fuente de corriente constante, siempre y cuando el transistor esté en la región activa.

- ¿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:

$$\begin{aligned} R &= 10 \text{ k}\Omega, & V_{CC} &= 15 \text{ V}, \\ V_{BE\gamma} &= 0.7 \text{ V}, & \beta &= 100, \end{aligned}$$

calcular dicho intervalo de valores de R_L .



Solución: $I_{RL} = \beta I_B \approx cte.$ si el transistor está en activa (pues $V_{BE} \approx cte.$)

$$I_{RL}(V_i) = \beta \frac{V_i - V_{BE}}{R}$$

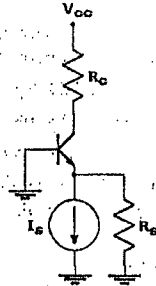
$$\text{Transistor en activa si: } 0 \leq R_L \leq \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{V_i - V_{BE}} \cdot \frac{R}{\beta}$$

$$\text{Si: } V_i = 5V \Rightarrow 0 \leq R_L \leq 344 \Omega$$

12.- Calcular los valores de I_S que hacen que el transistor:

- a) Conmute entre corte y conducción;
b) Conmute entre conducción en activa y conducción en saturación.
Considerar un transistor bipolar de unión con voltaje umbral V_{BE} , tensión de saturación V_{CEsat} y ganancia de corriente β . Suponer únicamente valores de $I_S \geq 0$.

Solución: a) $I_S = \frac{V_{BE}}{R_s}$
b) $I_S = \frac{1 + \beta}{\beta} \frac{V_{CC} - V_{CEsat} + V_{BE}}{R_C} + \frac{V_{BE}}{R_s}$



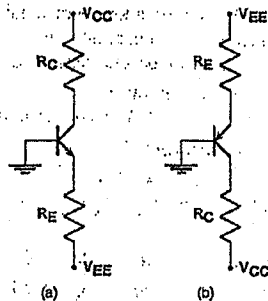
13.- Determinar la corriente de base en los transistores npn y pnp de la figura, suponiendo que en ambos casos:

$$|V_{BE}| = 0.7V, \quad \beta = 100.$$

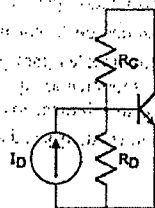
y que:

- a) $V_{CC} = +10V, \quad V_{EE} = -10V,$
 $R_C = 10K\Omega, \quad R_E = 5K\Omega;$
b) $V_{EE} = +10V, \quad V_{CC} = -10V,$
 $R_E = 10K\Omega, \quad R_C = 5K\Omega.$

Solución: a) $V_{BE} = 0.7V, \quad I_B = 810 \mu A$
 $V_{CE} = 0.2V, \quad I_C = 1.05mA$
b) $V_{BE} = -0.7V, \quad I_B = 9.2 \mu A$
 $V_{CE} = -6.1V, \quad I_C = 0.92mA$



14.- Suponiendo que la fuente de corriente toma valores $I_D \geq 0$; determinar los intervalos de valores de la misma en los que el transistor se encuentra en los distintos estados posibles de conducción. Expresar en cada uno de ellos la corriente de colector en función de I_D , R_D , R_C y de los parámetros requeridos del transistor (β , V_{BE} , V_{CEsat}).



Solución: (i) $0 \leq I_D \leq V_{BE}/R_D \Rightarrow$ transistor en corte:

$$I_C = 0$$

(ii) $I_D \geq V_{BE}/R_D \Rightarrow$ el transistor conduce en saturación:

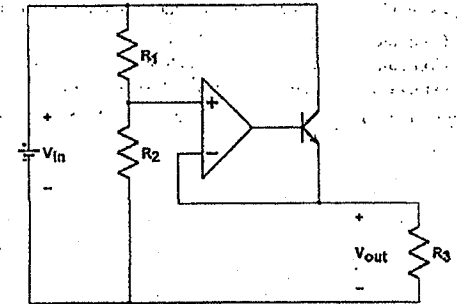
$$I_C = \frac{V_{BE} - V_{CEsat}}{R_C}$$

(pues la unión BC no puede estar polarizada en inversa, ya que $I_C \geq 0$)

15.- En el circuito de la figura, el amplificador operacional es ideal, $V_{in} = 15V$, $R_1 = 10K\Omega$, $R_2 = 5K\Omega$, $R_3 = 5K\Omega$ y el transistor está caracterizado por $h_{FE} = 100$, $V_{BEact} = 0.6V$ y $V_{CEsat} = 0.2V$. Calcular:

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

Solución: a) $V_{out} = 5V$
b) $I_B \approx 10 \mu A$
 $I_C \approx I_E = 1mA$

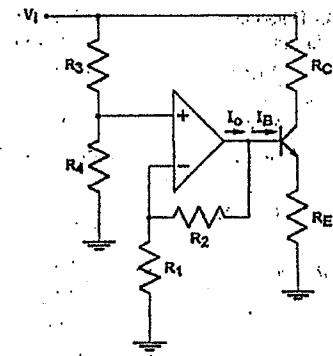


16.- El amplificador operacional de la figura es ideal y está funcionando en la región lineal.

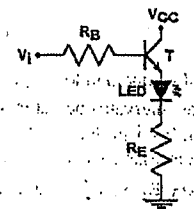
- a) ¿A partir de qué tensión de entrada, V_i , comenzará a conducir el transistor?
b) Para $V_i = 10V$ encontrar la intensidad I_O . ¿Entra o sale del operacional?

Datos: $R_1 = R_4 = R_E = R_C = 1K\Omega$, $R_2 = 9K\Omega$, $R_3 = 19K\Omega$, $\beta = 100$; $V_{BE(activa)} = 0.6V$.

Solución: a) $V_i = 1.2V$
b) $I_O = 0.54mA$ (saliendo del A.O.)



17.- 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_γ (del LED); β , $V_{BE\gamma}$ y V_{CEsat} (del transistor);
 V_{CC} , R_B y R_E .

Solución: (a) $v_i \leq V_{BE\gamma} + V_\gamma \Rightarrow$ T y LED en corte: $i_{LED} = 0$

(b) $v_i \geq V_{BE\gamma} + V_\gamma \Rightarrow$ T y LED en conducción ($i_{LED} \geq 0$):

$$(i) \quad V_{BE\gamma} + V_\gamma \leq v_i \leq V_{BE\gamma} + V_\gamma + (V_{CC} - V_\gamma - V_{CEsat}) \left[1 + \frac{R_B}{(1 + \beta)R_E} \right] \Rightarrow$$

$$\text{T en activa: } i_{LED} = (1 + \beta) \frac{v_i - V_{BE\gamma} - V_\gamma}{R_B + (1 + \beta)R_E}$$

$$(ii) \quad v_i \geq V_{BE\gamma} + V_\gamma + (V_{CC} - V_\gamma - V_{CEsat}) \left[1 + \frac{R_B}{(1 + \beta)R_E} \right] \Rightarrow$$

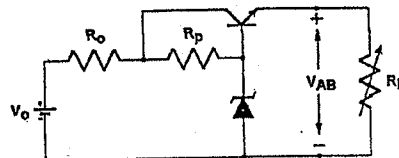
$$\text{T en saturación: } i_{LED} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat} - V_\gamma}{R_E}$$

18.- 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, $S_v = \delta V_{AB} / \delta V_O$.



Solución: a) $V_{O\min} = V_Z$

$$b) \quad V_{th} = V_Z - V_{BE}^{act.} + \frac{R_Z}{R_O + R_p + R_Z} (V_O - V_Z)$$

$$R_{th} = \frac{R_Z}{R_O + R_p + R_Z} \left(R_O + \frac{R_p}{h_{FE} + 1} \right)$$

$$c) \quad S_v = \frac{R_Z}{R_O + R_p + R_Z}$$