



## Guía de Ejercicios N<sup>o</sup> 6: Transistor TBJ

Constante	Valor
$q$	$1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
$m_0$	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
$k$	$1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8,617 \times 10^{-5} \text{ eV K}$
$h$	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J s} = 4,136 \times 10^{-15} \text{ eV s}$
$\epsilon_0$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m} = 88,5 \text{ fF/cm}$
$\epsilon_r(\text{Si})$	11,7
$\epsilon_r(\text{SiO}_2)$	3,9

### Parte I: Parámetros y regímenes de operación

- Para un transistor TBJ NPN operando en régimen directo se pide:
  - Indique las tensiones  $V_{BE}$  y  $V_{BC}$  para que se encuentre en dicho régimen.
  - Realice un diagrama de concentración de portadores y explique el efecto transistor, indicando las corrientes que circulan en cada zona del dispositivo.
  - Explique qué condiciones deben cumplir los dopajes y dimensiones del transistor para que aumente la ganancia de corriente  $\beta_F$ .
  - Explique brevemente el efecto Early utilizando el diagrama de concentración de portadores anterior.
- Dado un transistor cuyos parámetros de fabricación son  $N_{dE} = 7,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_{aB} = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_{dC} = 1,5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $D_{pE} = 5 \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $D_{nB} = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $W_B = 300 \text{ nm}$ ,  $W_E = 250 \text{ nm}$ .
  - Halle el valor de la corriente de saturación  $I_S$  para un transistor construido en este proceso.
  - Halle el valor de  $\beta_F$  para un transistor construido con este proceso.
  - ¿Por qué para obtener un elevado valor de  $\beta_F$  se utilizan transistores NPN y no transistores PNP?
- En la figura 1 se muestra un diagrama de concentraciones de portadores minoritarios para un transistor bipolar de juntura polarizado.
  - ¿Es un transistor NPN o PNP?
  - ¿En qué régimen está polarizado el transistor? ¿Cuál es la relación entre las tensiones  $V_{BE}$  y  $V_{BC}$ ?
  - Para este caso en particular, ¿la corriente es entrante o saliente?
  - Graficar el diagrama de concentraciones de portadores minoritarios para los otros regímenes.

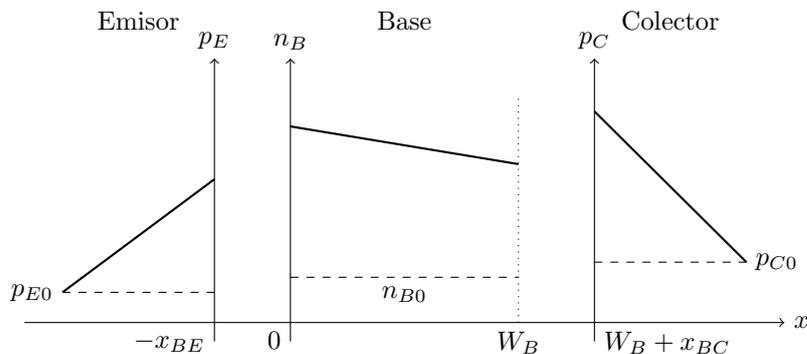


Figura 1



4. En la Fig. 2 se muestra un diagrama de concentraciones de portadores minoritarios para un transistor bipolar de juntura polarizado.
- ¿Es un transistor NPN o PNP?
  - ¿En qué régimen está polarizado el transistor? ¿Cuál es la relación entre las tensiones  $V_{BE}$  y  $V_{BC}$ ?
  - Para este caso en particular, ¿la corriente es entrante o saliente?
  - Graficar el diagrama de concentraciones de portadores minoritarios para los otros regímenes.

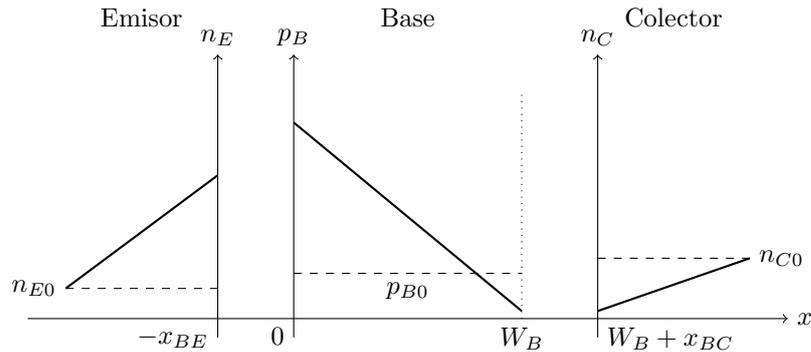


Figura 2

5. Se tiene un transistor TBJ NPN conectado como en la Fig. 3. Los parámetros del transistor se muestran en la tabla 1. Se sabe que  $V_{CC}$  tiene el valor suficiente como para que siempre se cumpla que  $V_{BC} < 0$  V. Graficar el módulo de la corriente de colector en escala semilogarítmica en función de la tensión base-emisor ( $0 < V_{BE} < 0,8$  V) para tres temperaturas: 300 K, 325 K y 350 K.

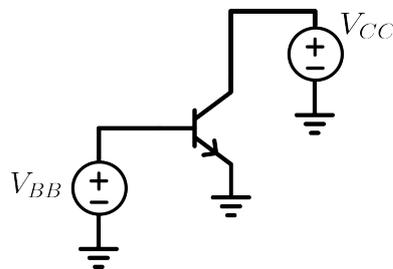


Figura 3

Parámetro	Valor
$N_{De}$	$10^{18} \text{ cm}^{-3}$
$N_{Ab}$	$10^{16} \text{ cm}^{-3}$
$N_{Dc}$	$10^{14} \text{ cm}^{-3}$
$A_E$	$10 \mu\text{m}^2$
$W_B$	$2 \mu\text{m}$
$V_A$	$\infty$

Tabla 1



**Parte II: Polarización**

6. El circuito de la Fig. 4 tiene un transistor TBJ NPN con  $\beta = 100$  y  $V_A \rightarrow \infty$ , fuentes  $V_{CC} = 12\text{ V}$  y  $V_{BB} = 4\text{ V}$ , y resistencias  $R_B = 100\text{ k}\Omega$  y  $R = 1\text{ k}\Omega$ . Calcular el punto de polarización (también llamado punto de reposo o punto Q).

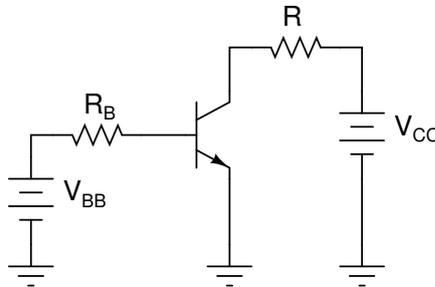


Figura 4

7. Se tiene un TBJ NPN de  $\beta_F = 200$  y  $V_A \rightarrow \infty$  polarizado como muestra la Fig. 5. Se utiliza una resistencia en el colector  $R_C = 500\ \Omega$ , una sola fuente de alimentación  $V_{CC} = 10\text{ V}$ , y dos resistencias de base  $R_{B1} = R_{B2} = 200\text{ k}\Omega$ .
- Determinar el punto de trabajo.
  - Determinar el valor de  $R_{B2}$  para que la corriente  $I_C$  sea  $6\text{ mA}$  con el dispositivo en MAD siendo  $R_{B1} = 10\text{ k}\Omega$ .
  - Determinar el punto de trabajo nuevamente con  $R_{B1} = R_{B2} = 200\text{ k}\Omega$ , pero esta vez para las siguientes tensiones de Early:  $V_{A1} = 10\text{ V}$  y  $V_{A2} = 100\text{ V}$ . ¿Puede despreciarse el efecto Early en alguno de esos dos casos? Justifique.

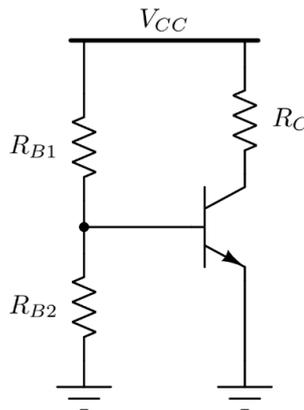


Figura 5

8. Para el circuito de la Fig. 6, siendo el transistor un TBJ PNP con  $\beta = 80$  y  $V_A \rightarrow \infty$ , y además  $R_{B1} = 50\text{ k}\Omega$ ,  $R_{B2} = 100\text{ k}\Omega$ ,  $R = 210\ \Omega$  y  $V_{CC} = 5\text{ V}$ :
- Hallar el punto Q.
  - Hallar  $R_{B1}$  tal que la caída de tensión en  $R$  sea  $V_R = 2,5\text{ V}$ .
  - Hallar nuevamente el punto Q si ahora  $V_A = 20\text{ V}$ .

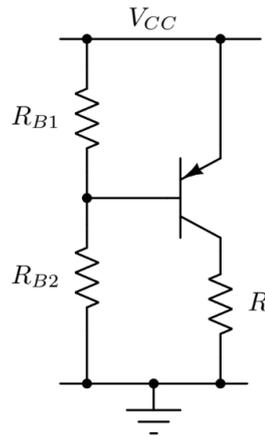


Figura 6

9. Para el circuito de la Fig. 7, donde  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $R = 100\ \Omega$  y  $\beta_F = 300$ , encuentre el valor de  $R_B$  para que  $V_X = 0\text{ V}$ . Con el valor de  $R_B$  hallado, encuentre todas las tensiones y corrientes del circuito.

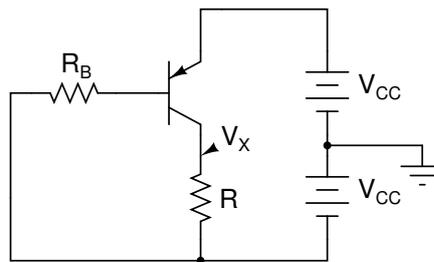


Figura 7

10. Para el circuito de la Fig. 8 con  $\beta = 500$ ,  $V_A = 20\text{ V}$ ,  $V_{CC} = 6\text{ V}$ ,  $R_B = 118\text{ k}\Omega$ ,  $R_{var} = 20\text{ k}\Omega$ , se pide:
- Hallar las corrientes  $I_C$  mínima e  $I_C$  máxima que se puede obtener según la posición del potenciómetro  $R_{var}$ . Considere un valor de  $R_C$  tal que el dispositivo se encuentre en MAD y  $V_{BE} = 0,7\text{ V}$  para la corriente máxima.
  - Explicar cómo se puede usar el circuito de la figura 8 medir la transferencia  $I_C$  vs  $V_{BE}$ . Indique las modificaciones que debería realizar y la conexión de los instrumentos.
  - ¿Qué parámetros pueden obtenerse de un ajuste de esta curva? ¿Cómo se obtienen?

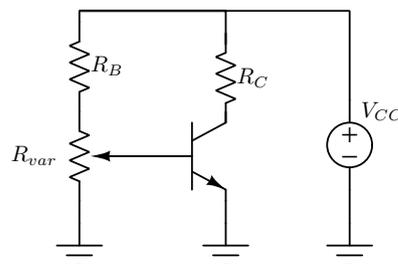


Figura 8

11. Se tiene un transistor TBJ NPN con  $\beta = 100$  y  $V_A \rightarrow \infty$  conectado como indica la Fig. 9, donde  $R_B = 100\text{ k}\Omega$ ,  $R_C$  es variable y  $V_{CC} = 5\text{ V}$ .



- a) Mediante el método de la recta de carga, estimar la tensión  $V_{CE}$  cuando  $R_C = 500 \Omega$ . Grafique.
- b) Si ahora  $R_C = 10 \text{ k}\Omega$ , **estime** la corriente de colector utilizando la recta de carga.
- c) Si ahora  $V_A = 20 \text{ V}$ , estimar el rango de  $R_C$  permitido para que el transistor permanezca en MAD.  
 ¿Cuáles son los valores máximos y mínimos que toma la corriente de colector en MAD?

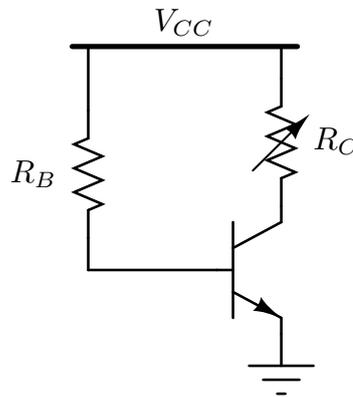


Figura 9

### Parte III: Pequeña señal

12. Dado un transistor cuyos parámetros de fabricación son  $N_{dE} = 7,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_{aB} = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_{dC} = 1,5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $D_{pE} = 5 \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $D_{nB} = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $W_B = 300 \text{ nm}$ ,  $W_E = 250 \text{ nm}$ ,  $A_E = 25 \mu\text{m}^2$ ,  $A_B = 100 \mu\text{m}^2$ ,  $\tau_{TBE} = 20 \text{ ns}$ ,  $V_A = 35 \text{ V}$ , polarizado con  $I_C = 100 \mu\text{A}$  y  $V_{CE} = 2 \text{ V}$ .
  - a) Halle los valores de los elementos del modelo de pequeña señal de bajas frecuencias ( $g_m$ ,  $r_\pi$ ,  $r_o$ ) y dibuje el circuito correspondiente.
  - b) Halle los valores de los elementos del modelo de pequeña señal de altas frecuencias ( $g_m$ ,  $r_\pi$ ,  $r_o$ ,  $C_\pi$ ,  $C_\mu$ ,  $r_\mu$ ) y dibuje el circuito correspondiente.
13. Se tiene un transistor PNP conectado al circuito de la Fig. 6, usando  $R_{B1} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{B2} = 80 \text{ k}\Omega$ ,  $R = 200 \Omega$  y  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ . Los datos del transistor son  $\beta = 300$ ,  $V_A = 60 \text{ V}$ . Calcular los parámetros del modelo de pequeña señal de bajas frecuencias y dibujar su circuito. ¿Cuánto varía la corriente de colector si  $v_{be}$  cambia en  $5 \text{ mV}$ ?

### Parte IV: Integradores

14. Para el circuito de la Fig. 10, considerando  $\beta = 50$ ,  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $R_{B1} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{B2} = 287 \text{ k}\Omega$ ,  $R = 4 \text{ k}\Omega$ ,  $V_T = 0,8 \text{ V}$ ,  $\mu_n C'_{ox} W/(2L) = 100 \mu\text{A}/\text{V}^2$ , hallar el punto de trabajo del transistor bipolar:  $(I_{CQ}, V_{CEQ})$ .

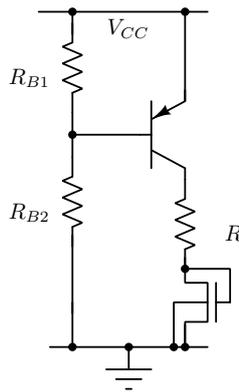


Figura 10

15. Para el circuito de la Fig. 11, donde  $V_{CC} = 9\text{ V}$ ,  $R = 180\ \Omega$  y  $\beta_F = 500$ ,

- Encuentre el valor de  $R_B$  para que  $V_X = 4,5\text{ V}$ .
- Con el valor hallado en el ítem anterior, encuentre todas las tensiones y corrientes del circuito.
- ¿Cuánto puede variar  $R$  para que el circuito se mantenga operando en *Modo Activo Directo*?

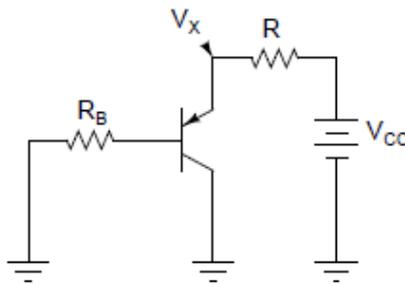


Figura 11

16. Para el circuito de la Fig. 12, donde los parámetros del transistor son  $\beta = 200$  y  $V_A = 50\text{ V}$ , se pide:

- Hallar el punto de polarización o reposo Q, siendo  $R_B = 330\text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 1,8\text{ k}\Omega$  y  $V_{CC} = V_{BB} = 5\text{ V}$ .
- Reemplazar  $R_B$  y  $R_E$  para lograr  $g_m = 28\text{ mS}$  y  $V_E = V_{CC}/2$ .
- Hallar el modelo de pequeña señal para bajas frecuencias del transistor en esta situación. Explique que representa cada componente de dicho modelo.
- Suponiendo ahora que  $V_{BB} = 5\text{ V}$ , pero que  $V_{CC}$  es una tensión variable, hallar el rango de tensiones para los cuales es válido el modelo del punto b).

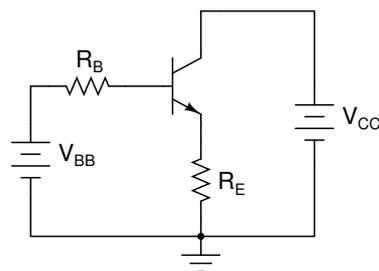


Figura 12



17. En la Fig. 13 se muestra la medición de una curva de salida correspondiente a un circuito como el de la figura 9, donde el transistor tiene  $\beta = 250$  y la tensión de alimentación es  $V_{CC} = 3\text{ V}$ .
- Determinar el valor de la resistencia de base utilizada en esta medición.
  - Si debido a variaciones del proceso el  $\beta$  del transistor es un 10% mayor que su valor nominal, ¿qué corriente cambia? ¿ $I_B$  o  $I_C$ ? Calcule el nuevo valor.
  - A partir de la recta de carga, determinar el máximo y el mínimo valor de  $R_C$  utilizados en esta medición. Asumiendo que para medir cada punto de la curva la resistencia de colector se varía en un mismo valor  $\Delta R_C$ , calcule este paso en  $R_C$  entre mediciones.
  - A partir de la curva medida, estime el valor de la tensión de Early y  $r_o$ .

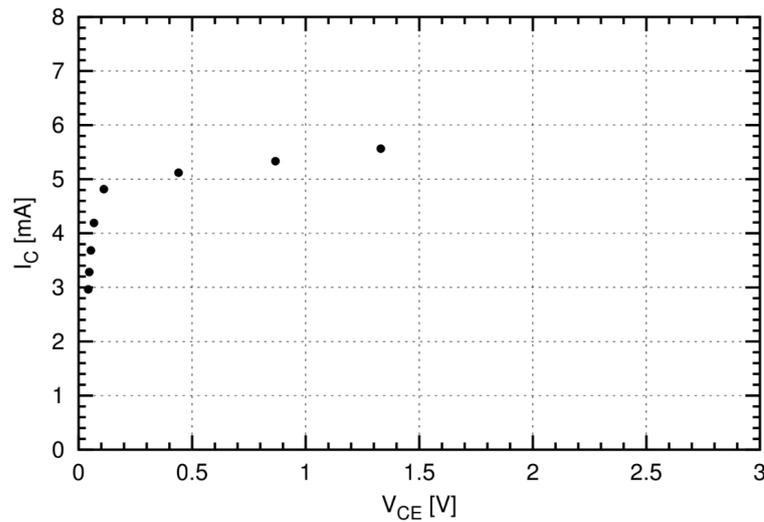


Figura 13

18. Se tiene un transistor conectado como en la Fig. 14, donde se utiliza un diodo zener con los siguientes parámetros:  $V_Z = 2,1\text{ V}$ ;  $1,3\text{ mA} < I_Z < 20\text{ mA}$ . El transistor tiene los siguientes parámetros:  $V_{BE\text{ ON}} = -0,7\text{ V}$  y  $V_A = 200\text{ V}$ . La tensión de alimentación es  $V_{DD} = 5\text{ V}$  y la resistencia de base es  $R_B = 100\text{ k}\Omega$ . ¿Cuál debería ser el mínimo valor de  $\beta$  del TBJ para que el diodo Zener actúe como referencia de tensión? ¿Y el máximo?

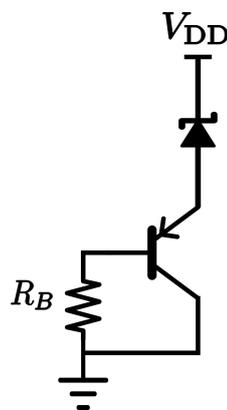


Figura 14