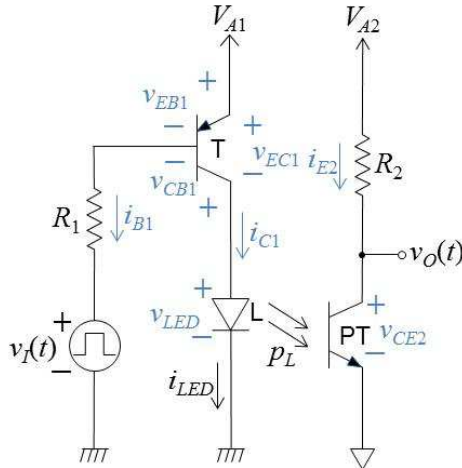


6.1 En el circuito de la Figura $v_I(t)$ es una señal digital de niveles 0 V y 5 V. Se pide:

- Decir en qué estado están los tres dispositivos (T, L, PT) y cuánto vale v_O cuando $v_I = 5$ V.
- Para $v_I = 0$ V, calcular R_1 para que la potencia luminosa emitida por el LED L sea $p_L = 10$ mW. Verifique que el BJT T está en activa directa. ¿Qué potencia eléctrica disipa el LED?
- Para $v_I = 0$ V y el valor anterior de R_1 , indicar el valor de v_O y el estado del fototransistor PT. ¿Qué función realiza este circuito?



DATOS.

- $V_{A1} = 5$ V; $V_{A2} = 5$ V; $R_2 = 10$ k Ω
 BJT T:
 $V_{\gamma E} = 0.6$ V; $\beta = 50$; $V_{EC(sat)} = 0.2$ V
 LED L:
 $V_{\gamma} = 1.2$ V; $R_f = 3$ Ω ; $B = 0.1$ mW/mA
 Fototransistor PT:
 $V_{\gamma E} = 0.6$ V; $S(\beta + 1) = 0.3$ mA/mW;
 $V_{CE(sat)} = 0.2$ V

6.2 Un generador fotovoltaico consta de ocho células solares conectadas como se ve en la Figura 1: dos hileras en paralelo con cuatro células en serie cada una. El generador se conecta a una motobomba B cuya característica I-V tiene los dos tramos mostrados en la Figura 2. El motor no arranca hasta que se alcanza una corriente I_{Bmin} , y luego ésta permanece constante.

- Dibujar la característica I-V ($I_{GEN}(V_{GEN})$) del generador fotovoltaico para $G = 1$ kW/m² sobre los ejes de la Figura 2.
- Para $G = 1$ kW/m², decir con qué corriente y tensión trabaja la bomba y qué potencia le entrega el generador.
- Repita a) y b) para $G = 0.5$ kW/m².

DATOS: Para una célula, $I_{L1} = 3$ A ($G = 1$ kW/m²); $V_{\gamma 1} = 0.52$ V; $R_{f1} = 40$ m Ω . Bomba: $I_{Bmin} = 4$ A.

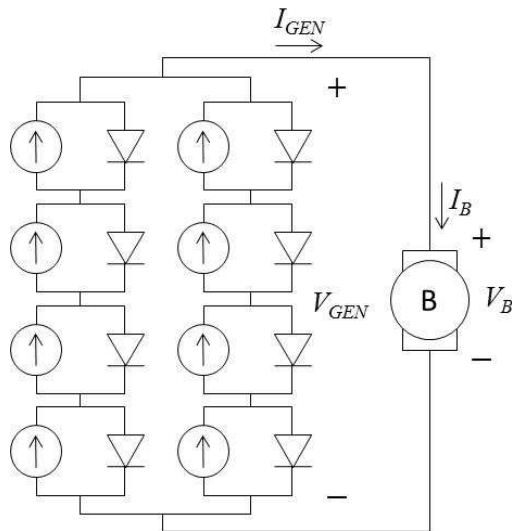


Figura 1

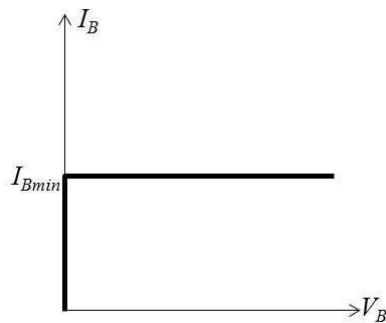


Figura 2

6.1

a) $v_I + i_{B1}R_1 + v_{EB1} = V_{A1}$. Como $v_I = 5 \text{ V} = V_{A1} \Rightarrow i_{B1}R_1 + v_{EB1} = 0$. i_{B1} no puede ser negativo, por lo que (en estática) hay dos posibilidades: corte con $i_{B1} = 0, v_{EB1} = 0$ o activa inversa con $i_{B1} > 0, v_{EB1} > 0$. Supongamos **T en corte**. Entonces $i_{B1} = 0, i_{C1} = i_{LED} = 0$. El **LED está OFF** con $v_{LED} \leq V_\gamma$ y $p_L = 0$: no se emite luz. Comprobemos el estado de corte de T. Por un lado, $v_{EB1} = 0$ y la unión EB está OFF. Calculemos $v_{CB1} = v_{C1} - v_{B1} = v_{LED} - v_I - i_{B1}R_1 = v_{LED} - 5 \text{ V} \leq V_\gamma - 5 \text{ V} = -3.8 \text{ V}$, y la unión CB también está OFF y se confirma que T está cortado.

Como $p_L = 0$, la corriente de base del fototransistor PT es nula $i_{B2} = 0$. Un fototransistor sin luz está cortado y por tanto $i_{E2} = 0 \Rightarrow v_O = V_{A2} - i_{E2}R_2 = V_{A2} = 5 \text{ V}$.

b) Para que $p_L = 10 \text{ mW} \Rightarrow i_{LED} = \frac{p_L}{V} = 100 \text{ mA} = i_{C1}$. El **LED está ON** y su voltaje es $v_{LED} = V_\gamma + i_{LED}R_f = 1.2 \text{ V} + 0.1 \text{ A} \cdot 3 \Omega = 1.5 \text{ V}$. Del circuito vemos que $v_{EC1} = V_{A1} - v_{LED} = 3.5 \text{ V}$. Como conduce (ya que $i_{C1} = 100 \text{ mA}$) y $v_{EC} > V_{EC(sat)}$, **T está en activa directa**. Por ello, $v_{EB1} = V_{\gamma E} = 0.6 \text{ V}, i_{B1} = \frac{i_{C1}}{\beta} = 2 \text{ mA}$. De la ecuación de la malla de entrada con $v_I = 0$ tenemos $v_I + i_{B1}R_1 + v_{EB1} = V_{A1} \Rightarrow R_1 = \frac{V_{A1} - V_{\gamma E}}{i_{B1}} = \frac{4.4 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 2.2 \text{ k}\Omega$. El LED disipa una potencia $i_{LED}p_{LED} = 0.1 \text{ A} \times 1.5 \text{ V} = 150 \text{ mW}$, de los que sólo emite 10 mW.

c) Supongamos que el fototransistor PT está en activa directa. Entonces $i_{E2} = S(\beta + 1)p_L = 0.3 \frac{\text{mA}}{\text{mW}} \cdot 10 \text{ mW} = 3 \text{ mA}$. $v_O = v_{CE2} = V_{A2} - i_{E2}R_2 = 5 \text{ V} - 3 \text{ mA} \cdot 10 \text{ k}\Omega = -25 \text{ V}$. Esto no es posible en un transistor en activa directa, por lo que PT está claramente **saturado** con $v_O = v_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$. Confirmamos viendo que $i_{E2} = \frac{V_{A2} - v_O}{R_2} = 0.48 \text{ mA} < S(\beta + 1)p_L$.

Resumiendo, si $v_I = 5 \text{ V}, v_O = 5 \text{ V}$, y si $v_I = 0 \text{ V}, v_O = 0.2 \text{ V}$ luego este circuito transmite la señal por vía óptica.

6.2

a) La característica I-V de una sola célula tiene dos tramos:

$$\begin{aligned} \text{OFF: } I_1 &= I_{L1} \text{ para } V_1 \leq V_{\gamma 1} \\ \text{ON: } I_1 &= I_{L1} - \frac{V_1 - V_{\gamma 1}}{R_{f1}} \text{ para } V_1 \geq V_{\gamma 1} \text{ ó } I_1 \leq I_{L1} \end{aligned} \quad (1)$$

Como todas las células trabajan en el generador con la misma corriente y la misma tensión, están todas en ON o todas en OFF a la vez, con lo que la curva del generador también tiene dos tramos. Además, la corriente de cada hilera es la misma que la de una célula; como hay $N_p = 2$ hileras en paralelo, la corriente del generador es $I_{GEN} = N_p I_1$. La tensión del generador es la misma que la de cada hilera que es $N_s = 4$ veces la de una célula por haber cuatro células en serie $V_{GEN} = N_s V_1$. Sustituyendo estos valores en la característica $I_1(V_1)$ de una célula, obtenemos la del generador:

$$\begin{aligned} \text{OFF: } I_1 &= \frac{I_{GEN}}{N_p} = I_{L1} \text{ para } V_1 = \frac{V_{GEN}}{N_s} \leq V_{\gamma 1} \\ \text{ON: } I_1 &= \frac{I_{GEN}}{N_p} = I_{L1} - \frac{\frac{V_{GEN}}{N_s} - V_{\gamma 1}}{R_{f1}} \text{ para } V_1 = \frac{V_{GEN}}{N_s} \geq V_{\gamma 1} \text{ ó } I_1 = \frac{I_{GEN}}{N_p} \leq I_{L1} \end{aligned} \quad (2)$$

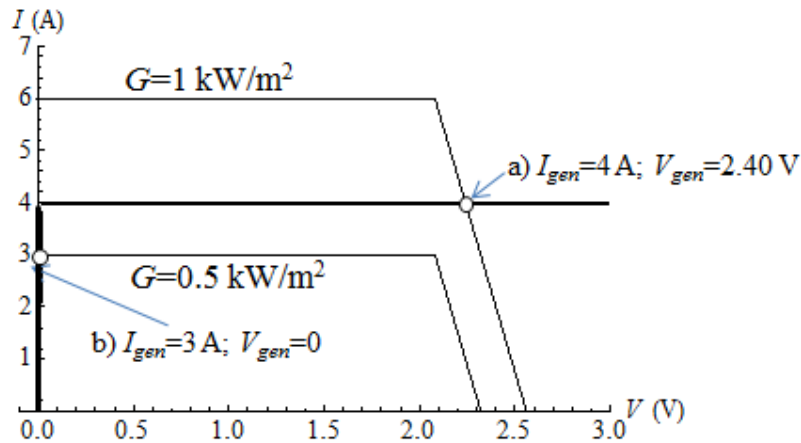
Dejando sólo I_{GEN}, V_{GEN} :

$$\begin{aligned} \text{OFF: } I_{GEN} &= N_P I_{L1} \text{ para } V_{GEN} \leq N_S V_{\gamma 1} \\ \text{ON: } I_{GEN} &= N_P I_{L1} - \frac{V_{GEN} - N_S V_{\gamma 1}}{\frac{N_S}{N_P} R_{f1}} \text{ para } V_{GEN} \geq N_S V_{\gamma 1} \text{ ó } I_{GEN} \leq N_P I_{L1} \end{aligned} \quad (3)$$

Comparando (1) y (3), vemos que el generador equivale a una sola “célula” con

$$I_L = N_P I_{L1} = 6 \text{ A}; V_\gamma = N_S V_{\gamma 1} = 2.08 \text{ V}; R_f = \frac{N_S}{N_P} R_{f1} = 80 \text{ m}\Omega$$

El voltaje de circuito abierto para esta G es $V_{OC} = V_\gamma + I_L R_f = 2.08 \text{ V} + 6 \text{ A} \times 0.08 \Omega = 2.56 \text{ V}$.



b) Las ecuaciones del circuito son $I_{GEN} = I_B, V_{GEN} = V_B$. Como $I_{Bmin} < I_L$, el generador está ON y la bomba trabajará en su tramo horizontal, de forma que $I_{GEN} = I_{Bmin} = 4 \text{ A}$. Para esta corriente, la tensión es $V_{GEN} = V_\gamma + (I_L - I_{GEN})R_f = 2.08 \text{ V} + 2 \text{ A} \times 0.08 \Omega = 2.24 \text{ V}$. La potencia que entrega la bomba al generador es $P_{GEN} = V_{GEN} I_{GEN} = 9.60 \text{ W}$.

c) Lo que cambia es $I_L' = I_L \frac{G'}{G} = 3 \text{ A}$. El voltaje de circuito abierto $V_{OC}' = V_\gamma + I_L' R_f = 2.08 \text{ V} + 3 \text{ A} \times 0.08 \Omega = 2.32 \text{ V}$.

Ahora $I_{Bmin} > I_L'$, el generador está OFF y la bomba trabajará en su tramo vertical, de forma que $V_{GEN} = 0, I_{GEN} = I_L' = 3.0 \text{ A}$. La potencia entregada es nula.