

Apellidos
Nombre
DNI



Apellidos	<u>Puntuación</u> Ej1
Nombre	Ej2
DNI	TOTAL

## INSTRUCCIONES

- Este cuadernillo contiene:
  - La hoja de control de asistencia a examen (E1 a E2)
  - Estas instrucciones (E3)
  - El conjunto de **2 ejercicios** que constituyen esta prueba (E4 a E7)
  - Adicionalmente, se incluye al final una hoja con un resumen de las expresiones y modelos usados en INEL. Esta hoja puede desgraparla del resto, y no tendrá que entregarla al final.
- Compruebe que su cuadernillo contiene los elementos reseñados y que la **fotocopia resulta clara y legible** en todas sus páginas.
- Comience escribiendo su **nombre, apellidos y DNI** en las casillas de la parte superior de la **página E1**. Esta página debe desgraparla y entregarla cuando el profesor lo requiera.
- Continúe escribiendo de nuevo su **nombre, apellidos y DNI** en las casillas de la parte superior de esta página que está leyendo (**página E3**).
- Al acabar el examen deberá **entregar las páginas E3 a E8 del cuadernillo unidas**, sin desgrapar ni añadir ninguna hoja adicional.
- Para la solución del ejercicio utilice **EXCLUSIVAMENTE los espacios en blanco** a continuación del enunciado de cada ejercicio (**páginas E4 a E7**).
- Utilice un bolígrafo negro o azul** para escribir sus respuestas. No se corregirán pruebas realizadas a lápiz.
- El ejercicio deberá completarse en **75 minutos**.
- A continuación de cada apartado en cada ejercicio se indica la valoración en puntos del mismo.
- Dispondrá de hojas en blanco para la realización de cálculos auxiliares. Ponga su nombre en cada una de estas hojas que use. En ningún caso dichas hojas deberán añadirse al paquete de hojas que constituye la prueba.

**Ejercicio 1.** El sistema óptico de la figura 1.1 está formado por un transmisor que incluye el diodo LED D, que emite una potencia luminosa  $p_{L1}$ , y un receptor que incluye el fototransistor npn T2 que opera en activa. Su circuito equivalente en esta situación está representado en la figura 1.2, de forma que genera una corriente  $i_{T2} = S(1 + \beta_f)p_{L2}$ , proporcional a la potencia luminosa  $p_{L2}$  recibida del diodo LED. La señal de entrada es  $v_i = V_I + v_i(t)$ , siendo  $V_I$  la componente de polarización y  $v_i(t)$  la componente de pequeña señal. Se le pide:

- De los materiales semiconductores con los que se han fabricado el diodo D y el transistor T2, ¿cuál de ellos ha de tener mayor energía de enlace  $E_g$  para que la comunicación sea posible? Razone su respuesta. ( $E_g$  también se conoce como ancho de banda prohibida o *bandgap*) (1,0 p)
- Para  $V_I = 2,2$  V, se ha medido una tensión de polarización  $V_O = 7,5$  V en el receptor. Calcule a partir de estos datos la fracción de potencia luminosa emitida por el LED que alcanza el fototransistor, esto es,  $p_{L2}/p_{L1}$ . Compruebe el estado en que operan D y T1 en este punto de trabajo. (1,5 p)
- Dibujar el circuito de pequeña señal de ambos circuitos, emisor y receptor, y calcular los componentes de pequeña señal  $r_{D1}$  y  $r_{\pi1}$  (1,0 p)
- Calcule la relación de pequeña señal  $v_o/v_i$ . Si no ha resuelto el apartado b), considere  $p_{L2}/p_{L1} = 0,5$ . (1,5 p)

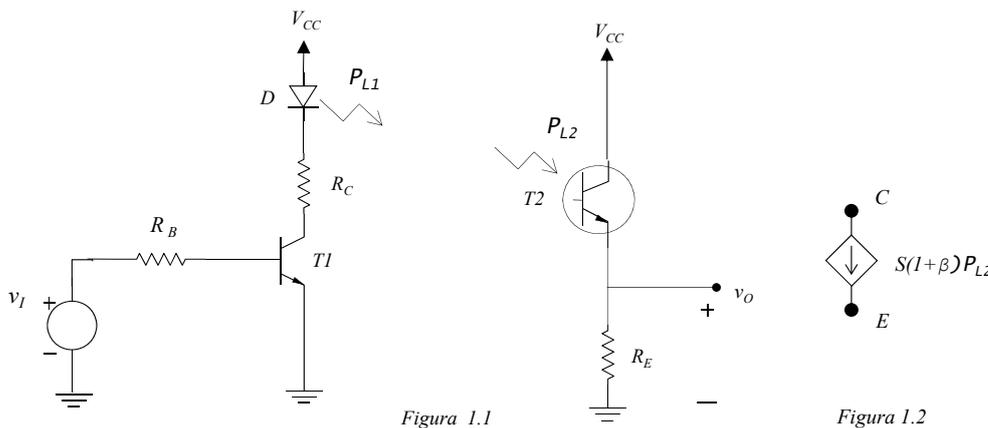


Figura 1.1

Figura 1.2

DATOS:

$V_{CC} = 10$  V;  $R_B = 50$  k $\Omega$ ,  $R_C = 2$  k $\Omega$ ,  $R_E = 250$   $\Omega$ ,  
Transistores:  $\beta = 100$ ;  $V_{CEsat} = 0,2$  V;  $V_{\gamma E} = 0,7$  V;  $V_A \rightarrow \infty$   
 $V_T = 25$  mV

Fototransistor T2:  $S = 0,5$  A/W  
LED D:  $V_{\gamma I} = 1,5$  V,  $B = 0,3$  W/A

## SOLUCION DEL EJERCICIO 1

- El emisor LED tiene mayor energía de enlace ( $E_g$ ) que un fototransistor, única forma de que los fotones emitidos por el primero puedan generar pares electrones-hueco en el fototransistor. Por ejemplo un fototransistor de Germanio tiene un rango de longitudes de onda de trabajo de 800-1900 nm, y tiene una energía de enlace  $E_g = 0,66$  eV @300 K y un LED de GaAs trabajando a 940 nm, tiene una  $E_g = 2,16$  eV @ 300K
- Cuando  $V_I = 2,2$  V,

$$I_B = \frac{V_I - V_{\gamma E}}{R_B} = 30 \mu\text{A}.$$

$$I_D = I_C = \beta \cdot I_B = 3 \text{ mA}, D \text{ esta en ON.}$$

Y la potencia óptica emitida  $P_{L1} = B \cdot i_D = 0,9 \text{ mW}$

La tensión  $V_o$  a la salida es  $V_o = R_E \cdot i_{FT} = 7,5 \text{ V} \Rightarrow i_{FT} = 30 \text{ mA}$

En el fototransistor la corriente generada,  $i_{FT} = 30 \text{ mA} = S \cdot (1 + \beta) \cdot P_{L2} \Rightarrow P_{L2} = 0,59 \text{ mW}$

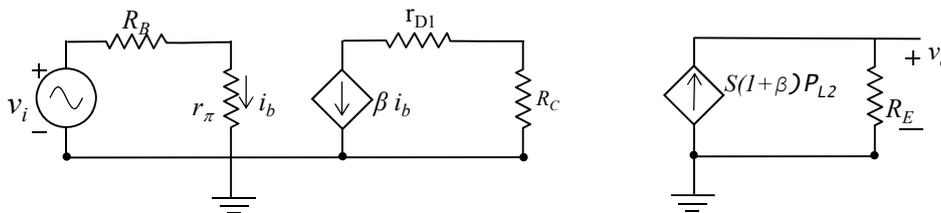
La fracción de potencia luminosa emitida por el LED que alcanza el fototransistor (atenuación  $At$ ) será  $At = P_{L2}/P_{L1} = 0,66$

Comprobaciones

T1:  $V_{CC} = V_{\gamma1} + V_{CE1} + R_C \cdot I_C \Rightarrow V_{CE1} = 2,5 \text{ V} > V_{CE,sat} (= 0.2 \text{ V}) \Rightarrow T1 \text{ en Activa}$

c)  $r_{\pi} = \frac{V_t}{I_B} = 833,3 \Omega$

$r_{D1} = \frac{V_t}{I_{D1}} = 8,3 \Omega$



d)

$$v_i = (R_B + r_{\pi}) \cdot i_B$$

$$v_o = R_E \cdot i_{TF} = R_E \cdot S \cdot (1 + \beta) \cdot P_{L2}$$

$$P_{L2} = P_{L1} At$$

$$P_{L1} = i_D \cdot B = \beta \cdot i_B \cdot B = \beta \cdot \frac{v_i}{(R_B + r_{\pi})} \cdot B$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_E}{R_B + r_{\pi}} S \cdot B \cdot (1 + \beta) \cdot \beta \cdot At = 4,88$$

**Ejercicio 2.** El circuito digital de la figura 2.1 realiza la función lógica NAND sobre las entradas  $v_{I1}$  y  $v_{I2}$  que excitan las puertas de dos transistores de acumulación de canal p.

- Calcule la tensión a la salida  $v_O$  para el caso de que ambas entradas estén en nivel alto ( $v_{I1} = v_{I2} = V_{SS}$ ). **(1,5 p)**
- Para  $v_{I2} = V_{SS}$  calcule el valor de  $v_{I1} = V_L$  para el que la tensión de salida es  $v_O = 0,9V_{SS}$ . **(2,0 p)**
- Calcule la tensión a la salida  $v_O$  si las dos entradas están en nivel bajo ( $v_{I1} = v_{I2} = V_L$ ). Si no ha resuelto el apartado anterior, considere  $V_L = 0,5$  V. **(1,5 p)**

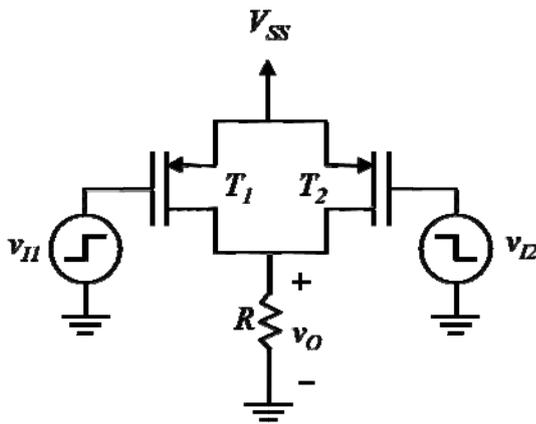


Figura 2.1

DATOS:

$$V_{SS} = 5 \text{ V}; R = 1 \text{ k}\Omega$$

Transistores idénticos con  $\kappa = 1,25 \text{ mA/V}^2$ ;

$$|V_T| = 1 \text{ V}$$

Para transistor en zona gradual, puede suponer  $v_{SD} \ll v_{SG} - V_T$  (aproximación óhmica o lineal), comprobándolo posteriormente.

Se consideran despreciables los efectos capacitivos internos de los transistores.

## SOLUCION DEL EJERCICIO 2

a) Al tratarse de transistores de canal p de acumulación,  $V_T = V_{SG\text{umbral}} > 0$ .

$v_{I1} = v_{I2} = V_{SS}$ , luego  $v_{SG1} = v_{SG2} = 0 < V_T$ , y los transistores están en corte.

Por tanto,  $v_O = 0$  V.

b)  $v_{SG2} = 0 < V_T$  luego  $T_2$  está en corte.  $T_1$  está en zona gradual y suponemos zona óhmica

Entonces,  $v_O = 0,9V_{SS} = R i_D \cong R \kappa 2 (v_{SG1} - V_T) v_{SD1} = R \kappa 2 (V_{SS} - V_L - V_T) (V_{SS} - 0,9 V_{SS})$ .

Despejando, queda  $V_L = 0,4$  V

Al comprobar que  $T1$  está en zona óhmica  $\Rightarrow V_{SS} - v_O < V_{SS} - v_{I1} - V_T \Rightarrow 0,1 V_{SS} < V_{SS} - V_L - V_T \Rightarrow 0,5 < 3,6$ . Si resolvemos sin hacer la aproximación (zona gradual) llegamos a  $V_L = 0,15$  V

c) Ahora los dos transistores están en zona óhmica, y queda

$$v_O = R (i_{D1} + i_{D2}) = R 2i_D = R \kappa 4 (v_{SG} - V_T) v_{SD} = R \kappa 4 (V_{SS} - V_L - V_T) (V_{SS} - v_O) \Rightarrow v_O = 4,74 \text{ V}$$

Se puede comprobar que efectivamente están en zona gradual, y en concreto en zona óhmica  $v_{SD} \ll v_{SG} - V_T \Rightarrow V_{SS} - v_O \ll V_{SS} - V_L - V_T \Rightarrow 0,3 \ll 3,6$



