

**2do PARCIAL DE ELECTRONICA 1**

11/07/2013

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es **sin** material.

Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

**PROBLEMA 1 ( 28 puntos)**

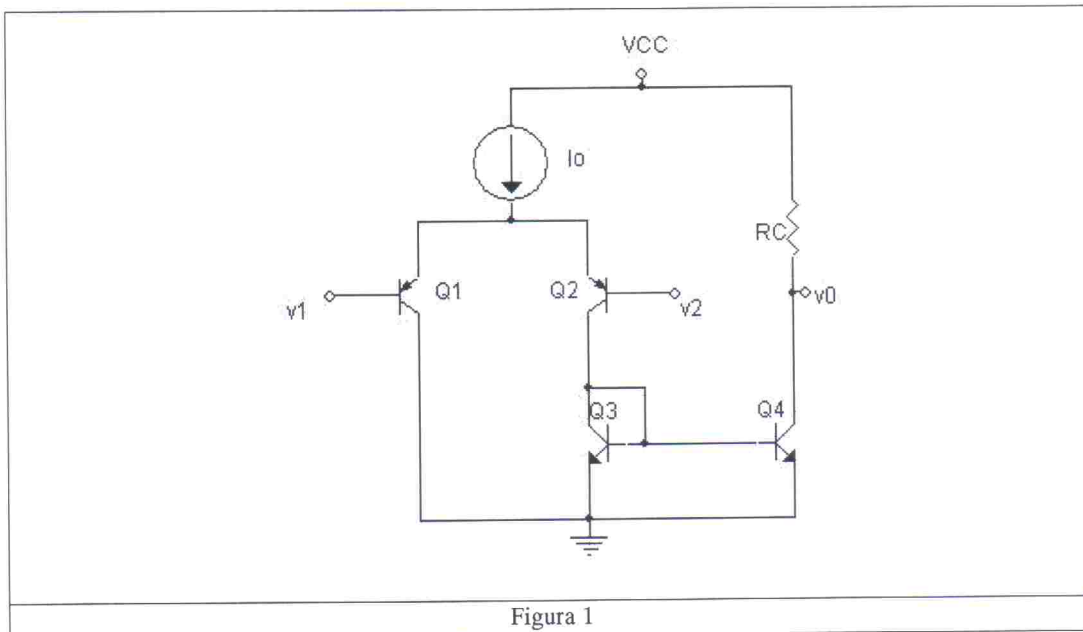
En el circuito de la Figura 1 los transistores tienen los siguientes datos:

Q1 y Q2 con datos:  $V_{EB}$ ,  $V_{ECSAT}$ ,  $\beta$ , Tensión de Early infinita.

Q3 y Q4 con datos:  $V_{BE}$ ,  $V_{CESAT}$ ,  $\beta$ , Tensión de Early infinita.

$I_o$  con resistencia de salida infinita, salvo donde se indique lo contrario, y con tensión mínima de operación:  $V_{FMIN}$

- Determinar la ganancia  $v_0/(v_2-v_1)$  en función de  $I_o$  y  $R_c$ .
- Determinar el rango de modo común a la entrada.
- Determinar la ganancia en modo común.
- Determinar la ganancia en modo común si  $I_o$  tiene resistencia de salida  $R_{out}$ .
- Hallar que condición debe cumplir  $I_o$  para tener máxima excursión en la salida  $v_0$ .



**PROBLEMA 2 ( 28 puntos)**

Se tienen dos inversores cuyas salidas son del tipo **Open drain** y se conectan según se muestra en la Figura 1 donde CL representa la capacidad de carga total en el nodo de salida.

- Deduzca la expresión aproximada de la resistencia que presenta el transistor MOS de salida del inversor entre D y S cuando el mismo opera en la zona lineal con  $V_o$  muy cercano a 0. En lo que sigue se supondrá que cuando el transistor conduce se puede aplicar esta aproximación.
- Calcule las condiciones que debe cumplir la resistencia R para que se cumpla que  $V_{OL} < V_{OL,max}$  para todos los casos en que la salida deba ser un cero lógico, y para que  $t_{pLH} < t_{pmax}$ . Para el cálculo de  $t_{pLH}$  se podrá asumir que  $V_{OL} \cong 0$ .
- Calcule el  $V_{IL}$  de los inversores conectados de esta forma.

Datos de los transistores:  $\beta$ ,  $V_{t0}$ ,  $\delta=0$ .

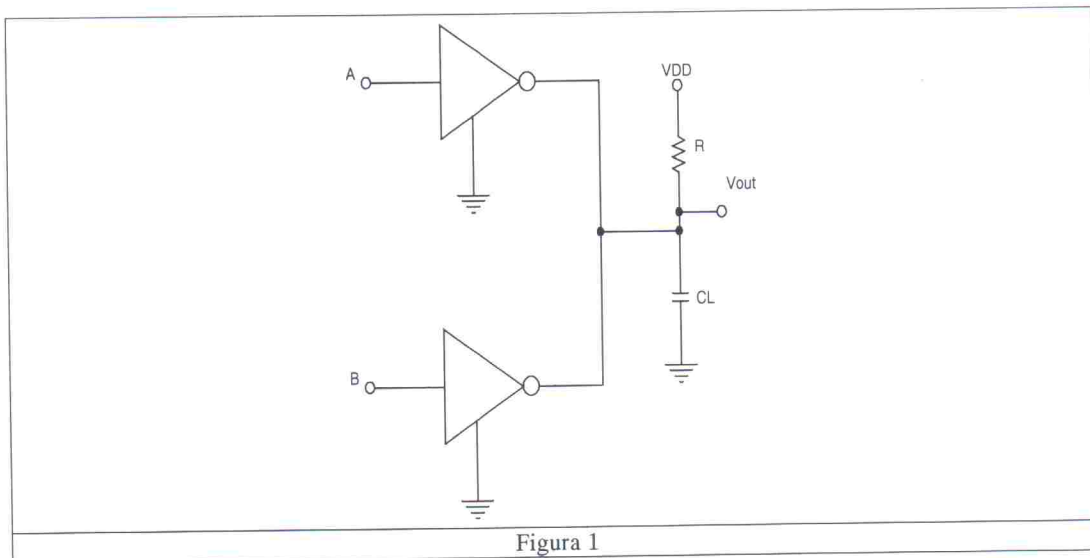


Figura 1

**PROBLEMA 3 ( 28 puntos)**

Dado el circuito de la figura 1:

- a) Hallar la expresión literal de  $V_{out}/V_{in}$  y de  $R_{in}$
- b) Diseñar  $R_{C1}$ ,  $R_{B2}$ ,  $R_{C2}$  para que el LED D1 encienda con una corriente  $I_{LED}$  de 10mA si la tensión de pico en  $V_{in}$  es mayor a 10mV

Datos:

$V_{CC} = 15V$ ,  $V_{REF} = 10V$ ,  $R_A = 680\Omega$ ,  $R_B = 100\Omega$ ,  $R_{E1} = 1k\Omega$ ,  $C = \infty$

Q1,Q2:  $V_{CESAT} = 0.3V$ ,  $V_{BE} = 0.6V$ ,  $V_A = \infty$ ,  $\beta = 100$ .

D1:  $V_{LED} = 1.2V @ I_{LED} = 10mA$

OA1: Ideal

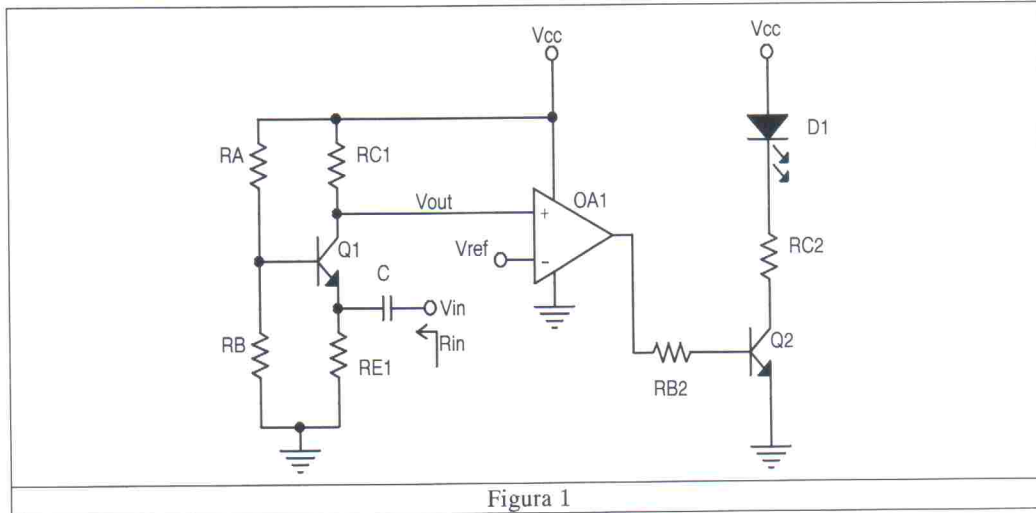


Figura 1

**PREGUNTA ( 16 puntos)**

Los transistores de las Figuras están dispuestos en configuración seguidor de fuente ("Source-Follower"). Determine para cada uno de ellos:

- a) La corriente ID por el transistor y la tensión DC en la salida vo
- b) La expresión y el valor para la ganancia vo/vin.

Datos:  $\beta = 0.5 A/V^2$ ,  $\delta = 0.3$ ,  $V_{t0} = 0.9 V$ ,  $V_{DD} = -V_{SS} = 3 V$ ,  $R_S = 2.2 K\Omega$

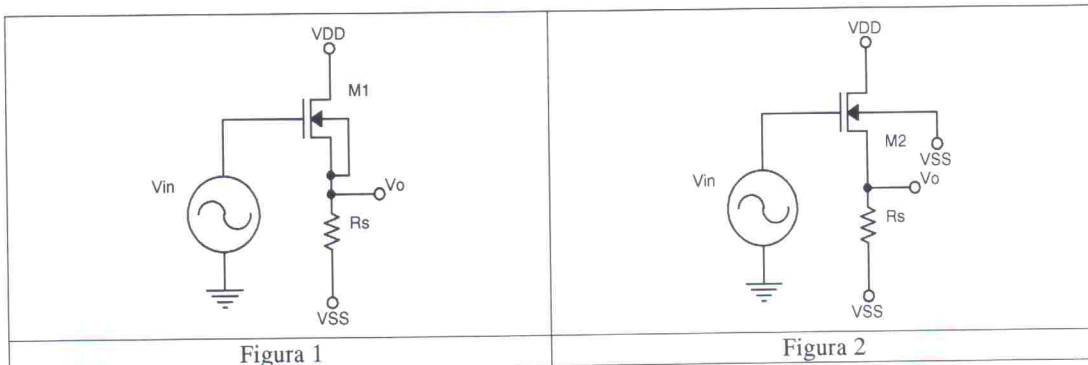
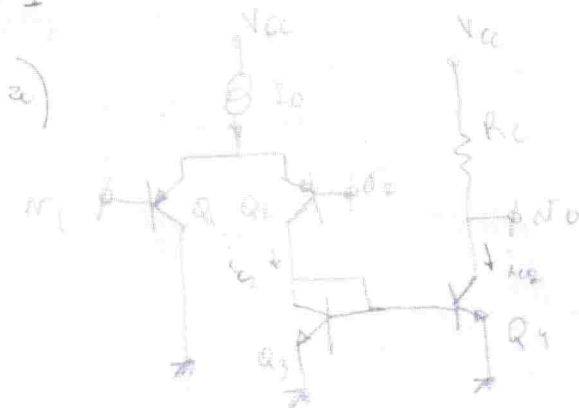


Figura 1

Figura 2

Problema 1



$$i_{c2} = gm \frac{v_{i1} - v_{i2}}{2}$$

$$i_{c4} = i_{c2}$$

↑  
espejo Q3, Q4

$$v_{o} = -i_{c2} \cdot R_c = \frac{gm R_c (v_{i2} - v_{i1})}{2} \Rightarrow \frac{v_o}{v_{i2} - v_{i1}} = \frac{gm R_c}{2}$$

b)  $V_{CEmax}$  tal que  $Q_{1,2}$  activa, fuente funcionando correctamente

$$V_{CEmax} = V_{CC} - V_{FMin} - V_{EB1,2}$$

$V_{CEmin}$  tal que  $Q_3$  no corte y  $Q_{3,4}$  no saturan

$$V_{CEmin} + V_{EB1,2} - V_{BE3} > V_{ECSAT,1,2}$$

$$V_{CEmin} = V_{ECSAT,1,2} - V_{EB1,2} + V_{BE3}$$



$$i_{c2} = \frac{V_{CEmin} \cdot r_{\pi} \cdot gm}{r_{\pi} + \beta \cdot 2R_{out}}$$

$$i_{c4} = i_{c2}$$

↑  
espejo Q3, Q4

$$v_o = -i_{c2} \cdot R_c = \frac{gm r_{\pi} R_c \cdot V_{CEmin}}{r_{\pi} + 2\beta R_{out}}$$

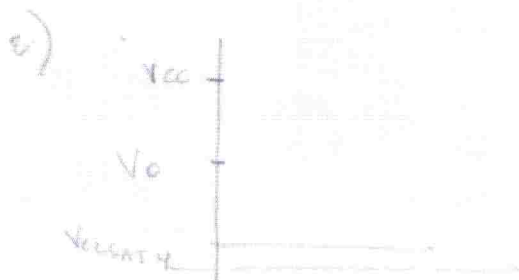
$$c) A_c = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{g_m r_{\pi} R_c}{r_{\pi} + 2\beta R_{out}} = \phi$$

↑  
 $R_{out} = \infty$

d) De la parte c)

$$A_c = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{g_m \cdot \beta/g_m \cdot R_c}{\beta/g_m + 2\beta R_{out}} = \frac{R_c}{2 R_{out}}$$

$\ll 1/g_m \ll R_{out}$



Para máxima excursión  
 $V_o$  en el medio de los límites  
 impuestos por el corte y  
 saturación de  $Q_4$

$$V_o = V_{cc} - \frac{(V_{cc} - V_{cesat})}{2}$$

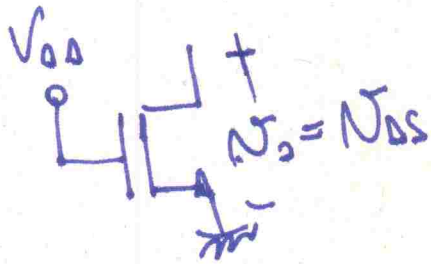
$$V_o = V_{cc} - R_c \cdot \frac{I_o}{2}$$

$$V_{cc} - \frac{(V_{cc} - V_{cesat})}{2} = V_{cc} - R_c \frac{I_o}{2}$$

$$\boxed{I_o = \frac{V_{cc} - V_{cesat}}{R_c}}$$

# Problema 2

a)



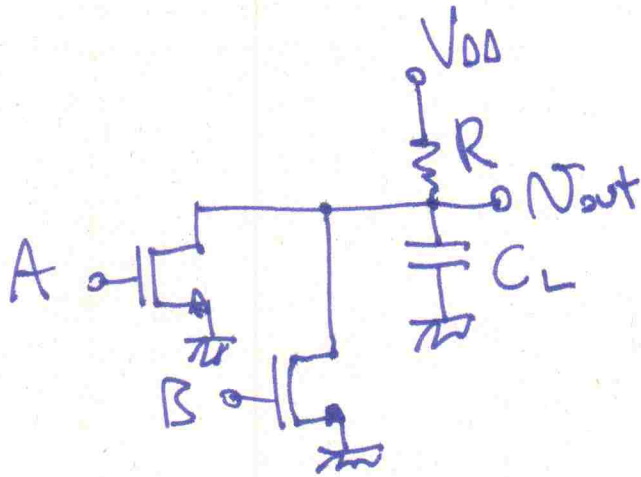
$$i_D = \beta \left[ (N_{GS} - V_{th_0}) N_{DS} - \frac{(1+\delta) N_{DS}^2}{2} \right]$$

$$\Rightarrow i_D = \beta \left[ (V_{DD} - V_{th_0}) N - \frac{N^2}{2} (1+\delta) \right] \stackrel{N_D \approx \phi}{\approx} \beta (V_{DD} - V_{th_0}) N_0$$

$$\Rightarrow R_{on} = \frac{N_0}{i_D} = \frac{1}{\beta (V_{DD} - V_{th_0})} \Rightarrow$$

$$R_{on} = \frac{1}{\beta (V_{DD} - V_{th_0})}$$

b)



Por definición de  $t_{PLH}$ :  $N_0(t_{PLH}) = V_{DD} \left( 1 - e^{-\frac{t_{PLH}}{R C_L}} \right) = \frac{V_{DD}}{2}$

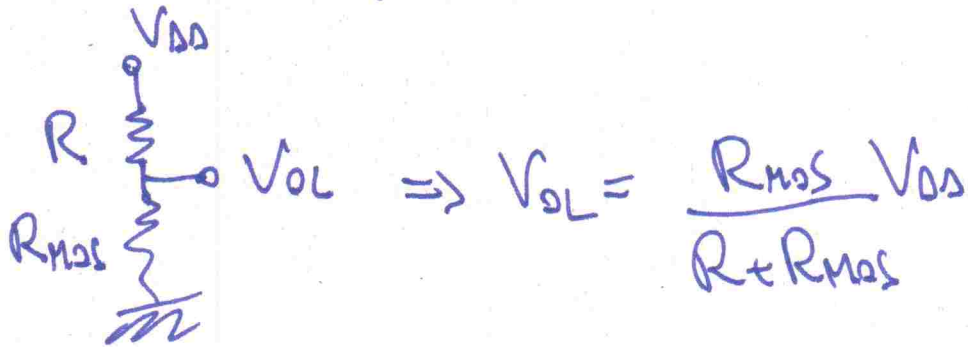
$$\Rightarrow t_{PLH} = R C_L L(2) < t_{pmax}$$

$$\Rightarrow R < \frac{t_{pmax}}{C_L L(2)}$$



## Problema 2

b) Para el  $V_{OL}$  a sumo que conduce solo un transistor (peor caso)



$$\Rightarrow V_{OL} = \frac{V_{DD}}{R\beta(V_{os} - V_{th0}) + 1} < V_{OLmax}$$

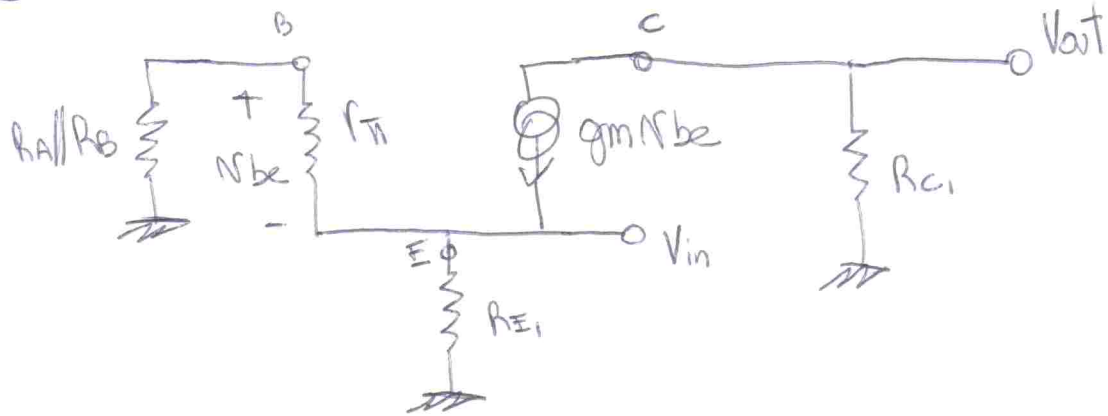
$$\Rightarrow R > \left( \frac{V_{DD} - V_{OLmax}}{V_{OLmax}} \right) \frac{1}{\beta(V_{os} - V_{th0})}$$

c)  $N_0 = \frac{V_{DD}}{R\beta(N_i - V_{th0}) + 1} \Rightarrow \left. \frac{\partial N_0}{\partial N_i} \right|_{V_{IL}} = -1$

$$\Rightarrow \frac{-V_{DD} R \beta}{(R\beta(V_{IL} - V_{th0}) + 1)^2} = -1$$

$$\Rightarrow V_{IL} = V_{th0} + \frac{\sqrt{V_{DD} R \beta - 1}}{\beta R}$$

②



$$\left. \begin{aligned} V_{be} &= -\frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_A // R_B} V_{in} \\ N_{out} &= -g_m V_{be} R_{C1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_{out} = \frac{g_m r_{\pi} R_{C1}}{r_{\pi} + R_A // R_B} V_{in}$$

$$\frac{N_{out}}{V_{in}} = \frac{\beta R_{C1}}{r_{\pi} + R_A // R_B}$$

$$I_{in} = -g_m V_{be} + \frac{V_{in}}{R_E // (r_{\pi} + R_A // R_B)} = V_{in} \left( \frac{1}{R_E // (r_{\pi} + R_A // R_B)} + \frac{g_m r_{\pi}}{r_{\pi} + R_A // R_B} \right)$$

$$\frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} = R_E // (r_{\pi} + R_A // R_B) // \frac{(r_{\pi} + R_A // R_B)}{\beta}$$

$$R_{in} = R_E // \frac{(r_{\pi} + R_A // R_B)}{\beta + 1}$$



6

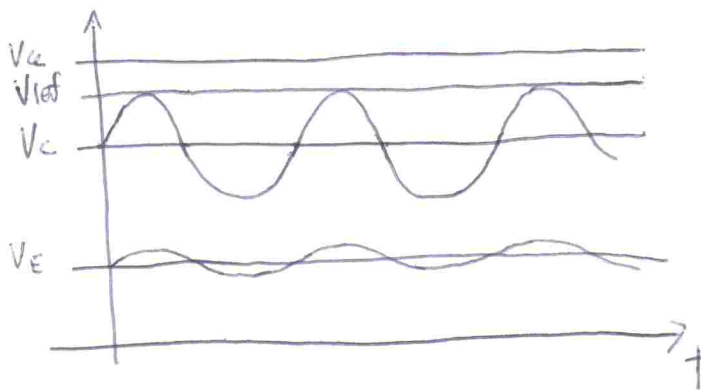
$$V_B = V_{CC} \frac{R_B}{R_B + R_A} = 1,92 \text{ V} \Rightarrow V_E = 1,32 \text{ V} \Rightarrow I_C = \frac{V_E}{R_{E1}} = 1,32 \text{ mA}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \approx 0,05 \text{ A/V} \Rightarrow r_{\pi} = 1,97 \text{ k}\Omega$$

$$R_A // R_B = 100 // 680 \Omega \approx 87 \Omega$$

$$\Rightarrow r_{\pi} \gg R_A // R_B \Rightarrow \frac{N_{out}}{N_{in}} \approx g_m R_{C1}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_{C1}$$



$$V_{CC} - I_C R_{C1} + g_m R_{C1} \cdot V_{in,lim} = V_{ref} \Rightarrow R_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{ref}}{I_C - g_m V_{in,lim}}$$

$$R_{C1} = \frac{15 - 10}{1,32 \text{ m} - 0,05 \cdot 10 \text{ m}} \approx 6,10 \text{ k}\Omega$$

$$R_{C1} = 6,10 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{V_{CC} - V_{LED} - V_{CEsat}}{R_{C2}} = I_{LED} \Rightarrow R_{C2} = \frac{15 - 1,2 - 0,3}{10 \text{ m}}$$

$$R_{C2} = 1,35 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BEON}}{R_{B2}} = 10 \cdot \frac{I_{LED}}{\beta} \Rightarrow R_{B2} = \frac{15 - 0,6}{10 \cdot \frac{10 \text{ m}}{100}} = 14,4 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B2} = 14,4 \text{ k}\Omega$$