



50709905

**2do PARCIAL DE ELECTRONICA 1**  
**05/07/05**

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es sin material.

**PROBLEMA 1 (27 puntos)**

En todo el problema se considerará que todos los transistores nMOS son idénticos entre sí, e igualmente todos los pMOS son idénticos entre sí.  $V_{DD}$  se considerará suficientemente grande para que todos los transistores trabajen en saturación. La fuente de corriente  $I_o$  es no ideal, estando representada su resistencia de salida por la resistencia  $R_{Io}$ . Se podrá despreciar el efecto de  $R_{Io}$  en el cálculo de las corrientes continuas por el circuito.

- a) Para el circuito de la Fig. 1, calcular en función de  $I_o$  la ganancia diferencial y el CMRR a frecuencias medias, a las cuáles el condensador de desacople  $CL$  se puede considerar un cortocircuito.
- b) Al circuito de la Fig. 1 se le aplica señal de entrada  $v_i$  y tensiones de polarización en las bases de T1 y T2, tal cómo se muestra en la Fig. 2. Si  $R_L$  es mucho menor que  $R_1$  y mucho menor que  $R_2$ , indicar cómo diseñaría los condensadores  $C_i$  y  $C_L$  de modo que la frecuencia de corte inferior del amplificador sea  $f_L$ .
- c) Si en el circuito de la Fig. 2 denominamos  $V_G$  a las tensiones continuas en los gates de T1 y T2, determinar el rango en que se pueden fijar estas tensiones en función de  $I_o$  para que el amplificador funcione correctamente.

DATOS: T1, T2, T5, T6:  $\beta_n, V_{to_n}, \delta=0$ , tensión de Early  $V_A=\infty$   
T3, T4:  $\beta_p, V_{to_p}, \delta=0$ , tensión de Early  $V_A=\infty$

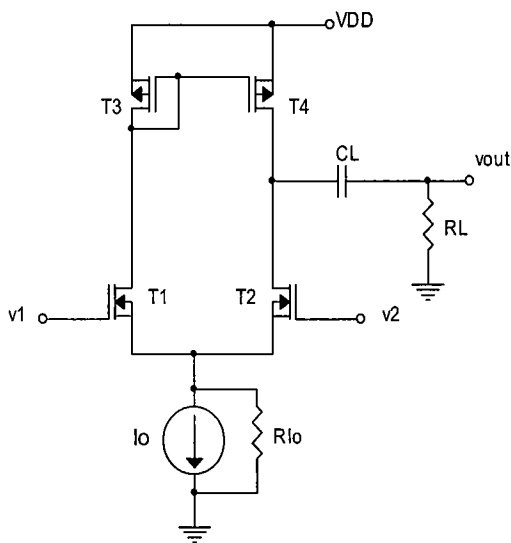


Figura 1

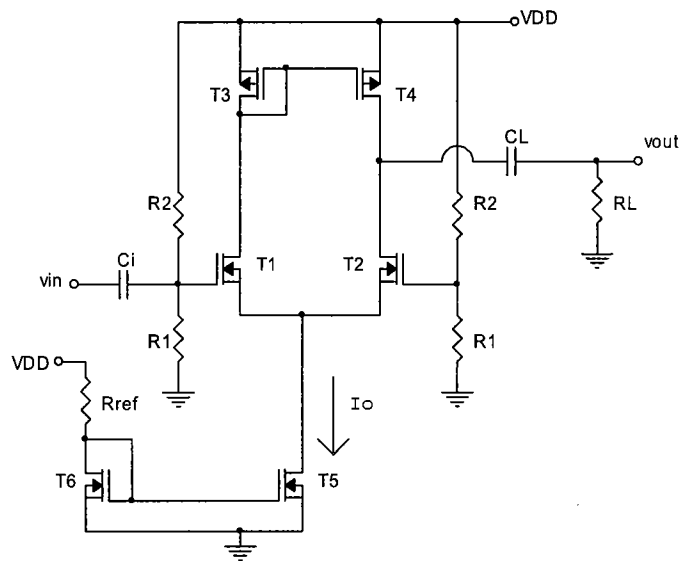


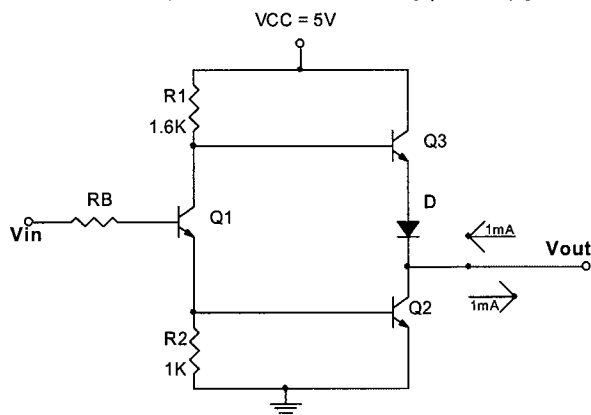
Figura 2

**PROBLEMA 2 (26 puntos)**

El circuito de la Figura es un inversor lógico que debe manejar una carga que toma o entrega 1mA de corriente según la salida esté en nivel alto o bajo respectivamente.

- a) Dimensionar  $R_B$  para que Q1 y Q2 estén saturados cuando la entrada  $V_{in}$  es 5V. Indicar en este caso la zona de operación de Q3 (activa, corte o saturación) y D fundamentando la respuesta. Para el resto del problema se utilizará para  $R_B$  el valor calculado anteriormente.
- b) Para  $V_{in} = 0V$  indicar la zona de operación de Q1, Q2, Q3 y D fundamentando la respuesta.
- c) ¿Cual es el  $V_{OL}$  y  $V_{OH}$  del inversor en las condiciones anteriores?

Datos: Q1, Q2, Q3 tienen  $V_{BE}=V_{BESAT} = 0.7V$ ,  $V_{CESAT} = 0.3V$  y  $\beta = 100$  y para el diodo D  $V_\gamma = 0.7 V$ .



**PROBLEMA 3 (27 puntos)**

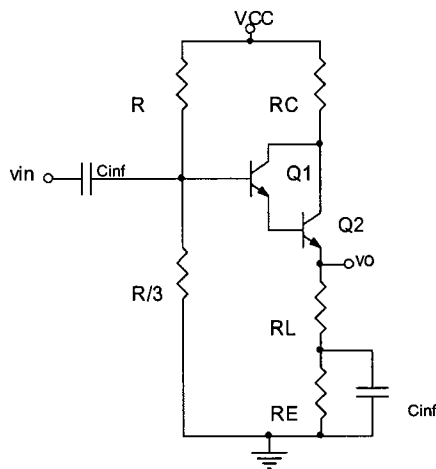
El circuito de la Fig. 1 es un buffer :

- a) ¿Qué condición debe cumplir  $R$  para que la corriente de base de  $Q_1$  sea despreciable en el análisis DC ?

En el resto del problema se asumirá que se cumple esta condición.

- b) ¿Qué condición debe cumplir  $R_E$  para que la ganancia del circuito sea aproximadamente 1?
- c) Determinar la resistencia de entrada  $R_{in}$  si se cumple la condición de la parte b)

Datos: Los dos transistores son idénticos con  $\beta \gg 1$ .  
Efecto Early despreciable.  
Todos los condensadores tienen valor infinito.



**PREGUNTA (20 puntos)**

- a) Escribir las ecuaciones de Ebers y Moll de un transistor bipolar npn, considerando los signos de corrientes y tensiones como se muestra en la fig. 1. Escribirlas en función de:  
 $I_{CO}$ =corriente de saturación del diodo B-C con el emisor abierto.  
 $I_{EO}$ =corriente de saturación del diodo B-E con el colector abierto.  
 $\alpha_N$ =fracción de los electrones inyectados en la base desde el emisor que llegan al colector.  
 $\alpha_I$ = fracción de los electrones inyectados en la base desde el colector que llegan al emisor.
- b) Obtener la expresión de  $I$  en función de  $V$  para el circuito de la fig.2

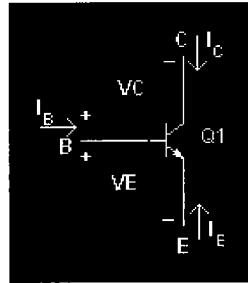


Fig.1

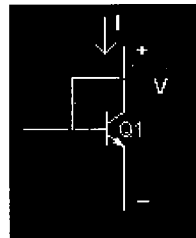
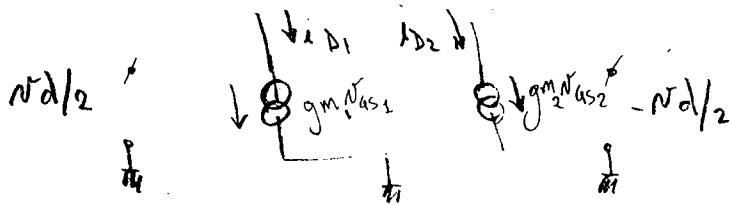


Fig.2

problema 1

2)  $N_{in} = N_1 - N_2 = N_d$



$g_{m1} = g_{m2} = g_m$

$i_{D1} = g_m \cdot V_{as} = g_m \cdot N_d/2$

$i_{D2} = -g_m \cdot N_d/2$

$i_{D1} = i_{D3} = i_{D4}$

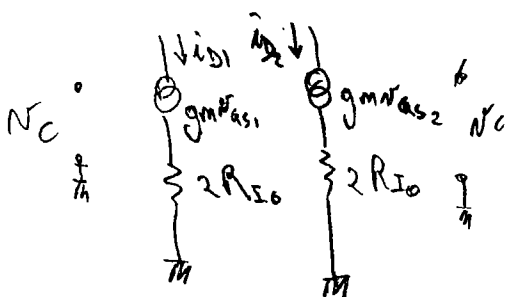
↑  
Espejo de Corriente

$i_{out} = i_{D4} - i_{D2} = g_m N_d = g_m N_{in}$

$N_{out} = g_m N_{in} \cdot R_L \Rightarrow \frac{N_{out}}{N_{in}} = g_m R_L$

$g_m = \sqrt{2 \beta_n I_D} = \sqrt{2 \beta_n \frac{I_0}{2}} = \sqrt{\beta_n I_0}$

$\frac{N_{out}}{N_{in}} = \sqrt{\beta_n I_0} \cdot R_L$



$i_{D1} = g_m V_{as1}$

$i_{D2} = g_m V_{as2}$

$i_{out} = i_{D4} - i_{D2} = i_{D1} - i_{D2} = 0$

$V_{as1} = V_{as2}$

$\Rightarrow AC = 0 \Rightarrow CMRR = \infty$

$$\omega_{PL} = \frac{1}{R_L C_L}$$

$$\omega_i = \frac{1}{R_1 // R_2 \cdot C_i}$$

Para minimizar el tamaño de los condensadores, como

$$R_L \ll R_1, R_2 \Rightarrow \omega_L = \omega_{PL} = \frac{1}{R_L C_L} \Rightarrow \boxed{C_L = \frac{1}{2\pi f_L R_L}}$$

$$\omega_i = \frac{\omega_L}{10} = \frac{2\pi f_L}{10} \Rightarrow \boxed{C_i = \frac{10}{2\pi f_L R_1 // R_2}}$$

$$V_G \geq V_{GS_{1,2}} + V_{DS_{SAT5}} = V_{GS_{1,2}} + V_{GS5} - V_{ton}$$

$$V_G \leq V_{DD} - V_{S_{43}} - V_{DS_{SAT1}} + V_{GS1} = V_{DD} - V_{S_{43}} + V_{ton}$$

$$I_{Dn} = \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_{Tn})^2, \quad I_{Dp} = \frac{\beta_p}{2} (V_{S_{43}} - V_{Tp})^2$$

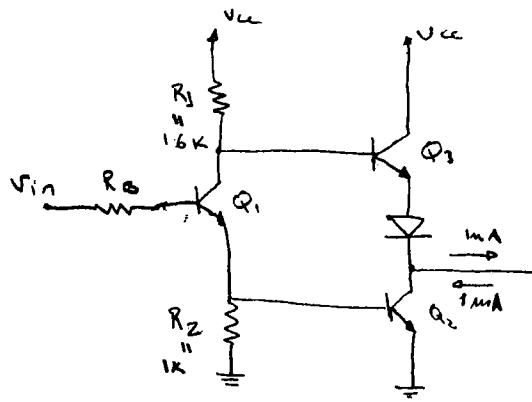
$$V_{GS_{1,2}} = \sqrt{\frac{I_0}{\beta_n}} + V_{ton}$$

$$V_{S_{43}} = \sqrt{\frac{I_0}{\beta_p}} + |V_{top}|$$

$$V_{GS5} = \sqrt{\frac{2I_0}{\beta_n}} + V_{ton}$$

$$\sqrt{\frac{I_0}{\beta_n}} + V_{ton} + \sqrt{\frac{2I_0}{\beta_n}} \leq V_G \leq V_{DD} - \sqrt{\frac{I_0}{\beta_p}} - |V_{top}| + V_{ton}$$

# Problema 2



9)

Cond. de saturación  $i_b > \frac{i_c}{\beta}$

$V_{in} = 5V \rightarrow$  se toma  $1mA$  de la carga

$$V_{E1} = V_{BE}^{sat} = 0.7V \rightarrow i_{R2} = \frac{V_{E1}}{R2} = 0.7mA$$

Supongo p'  $Q3$  está cortado  $\rightarrow i_{c1} = \frac{V_{CC} - (V_{BEsat2} + V_{BEsat1})}{R1} = 2.5mA$

$$i_{E1} = i_{c1} + i_{b1}$$

se dimensionará  $R_B$  x'a p'  $i_{b1} = 10 \frac{i_{c1}}{\beta} = 0.1 i_{c1}$  }  $i_{E1} = i_{c1} \cdot 1.1 = 2.75mA$

( $i_{b1} = 0.1 \cdot 2.5mA = 0.25mA$ )

$$i_{E1} = i_{R2} + i_{b2} \rightarrow i_{b2} = 2.05mA \rightarrow \text{chequeo p' } Q2 \text{ este saturado: } i_{b2} > \frac{i_{c2}}{100} \checkmark$$

$$R_B = \frac{V_{in} - (V_{BEsat2} + V_{BEsat1})}{i_{b1}} = 14,4 K\Omega$$

Verifico suposiciones:

$Q3$  cortado: Para que no esté cortado D debe estar ON (c.c.s.o).

$V_{B3} = 1V \rightarrow$  si no estuviese cortado  $V_{E3} = 0.3V$

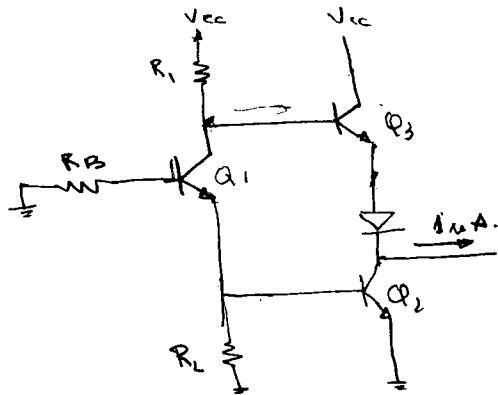
Por otro lado  $V_{C2} = 0.3 (V_{CE}^{sat})$

si D está ON  $\rightarrow V_{E3} = V_{C2} + V_D = 4V$

incoherente  
↓  
D: OFF y  $Q3$  está cortado

b)

$V_{in} = 0$



$V_{in} = 0 \rightarrow$  se entrega  $1\mu A$  a la carga

Estado de los componentes:  $\left\{ \begin{array}{l} Q_1 \text{ y } Q_2 \text{ cortados} \\ Q_3 \text{ activa} \\ D \text{ ON} \end{array} \right.$

$Q_1$  cortado: si  $Q_1$  condujera,  $V_{B1} < 0$  y  $V_{E1} > 0$  porque  $i_{E1} > 0$  y  $V_{R1} > 0 \rightarrow$  absurdo  $\rightarrow Q_1$  cortado

$Q_2$  cortado: si  $Q_2$  condujera  $V_{B2} < 0$  (  $i_{B2} = i_{C1} \times R_1$  ) y  $V_{E2} = 0 \rightarrow$  absurdo  $\rightarrow Q_2$  cortado

$Q_3$  activa: si estuviese saturado  $V_{E3} = 4.7V (=V_{CC} - V_{CE}^{sat}) \rightarrow V_{B3} = V_{E3} + V_{BE}^{sat} = 5.4V > V_{CC} \rightarrow i_B < 0 \rightarrow$  absurdo

D ON:

c)

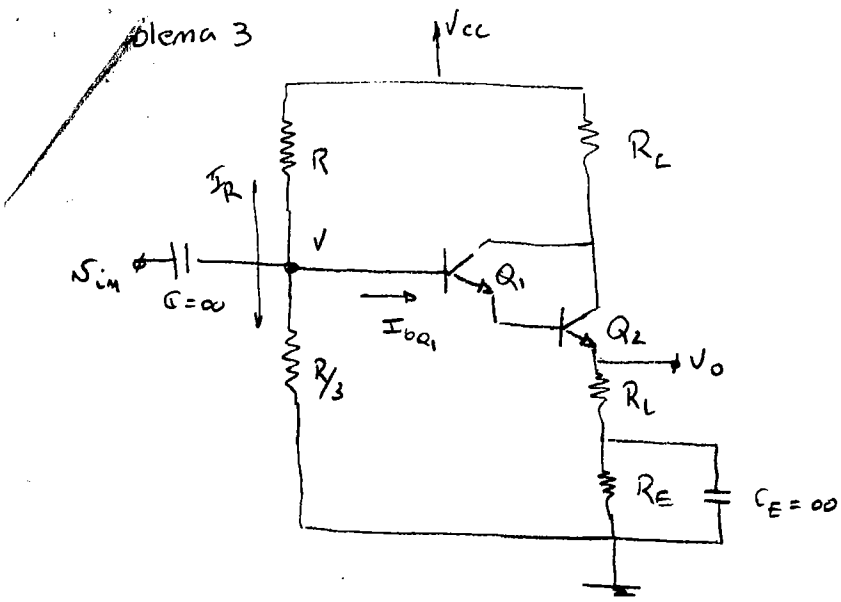
$V_{OH}$ : ( $V_{in} = 0$ )

$\beta i_{B3} = i_{C3} = 1\text{mA} \rightarrow i_{B3} = 10\mu A \rightarrow V_{B3} = V_{CC} - V_{R1} \cdot i_{B3} = 4.98 \approx 5V$

$\rightarrow V_{out} = V_{B3} - (V_{BE} + V_{D}) \approx 3.6V \Rightarrow \underline{V_{OH} = 3.6V}$

$V_{OL}$ : ( $V_{in} = 5V$ )

$Q_2 \text{ sat} \rightarrow V_{CEsat} = V_C = V_{out} = 0.3V \Rightarrow \underline{V_{OL} = 0.3V}$



$$V = \frac{R_3}{R + R_3} V_{cc} = \frac{V_{cc}}{4} \rightarrow V_{o_{DC}} = \frac{V_{cc}}{4} - 2V_{BE}$$

$$I_{C2} = \frac{V_{o_{DC}}}{R_L + R_E}$$

$$I_{C1} = \frac{I_{C2}}{\beta} \Rightarrow I_{b_{Q1}} = \frac{I_{C2}}{\beta^2} = \frac{V_{cc} - 8V_{BE}}{\beta^2 4(R_L + R_E)}$$

por otro lado  $I_R = \frac{3V_{cc}}{4R}$

$\Rightarrow$  la condición es  $\frac{3}{4} \frac{V_{cc}}{R} \gg \frac{V_{cc} - 8V_{BE}}{4\beta^2(R_L + R_E)}$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{3V_{cc}}{V_{cc} - 8V_{BE}} \beta^2(R_L + R_E) \gg R}$$

$$i_b = \frac{v_{in}}{r_{\pi 1} + \beta[r_{\pi 2} + \beta R_L]} = \frac{v_{in}}{2\beta r_{\pi 2} + \beta^2 R_L}$$

$$\frac{r_{\pi 2}}{r_{\pi 1}} = \frac{\beta_{m1}}{\beta_{m2}} = \frac{1}{\beta}$$



$$\rightarrow S_o = \beta^2 R_L \cdot \frac{S_{in}}{2\beta r_{\pi 2} + \beta^2 R_L} \quad \rightarrow A = \frac{\beta^2 R_L}{2\beta r_{\pi 2} + \beta^2 R_L}$$

$$\rightarrow A = \frac{1}{1 + \frac{2r_{\pi 2}}{\beta R_L}}$$

para que  $A \approx 1 \Rightarrow \frac{2r_{\pi 2}}{\beta R_L} \ll 1 \Rightarrow \frac{2\beta}{g_{m 2}} \ll \beta R_L \Rightarrow \underline{\underline{2 \ll R_L g_{m 2}}}$

Imponemos la condición para  $R_E$ .

$$2 \ll \frac{R_L}{V_T} \cdot \frac{V_{cc}/4 - 2V_{BE}}{R_E + R_L} \quad \rightarrow \text{despejando}$$

$$R_E \ll \left( \frac{V_{cc} - 8V_{BE}}{8V_T} - 1 \right) R_L$$

©  $R_{in} = \frac{R}{4} \parallel (2\beta r_{\pi 2} + \beta^2 R_L)$

$$= \frac{1}{\frac{4}{R} + \frac{1}{\beta(2r_{\pi 2} + \beta R_L)}}$$

se cumple la condición de b

$$\approx \frac{1}{\frac{4}{R} + \frac{1}{\beta^2 R_L}}$$

$$\rightarrow R_{in} = \frac{\beta^2 R_L R}{R + 4\beta^2 R_L}$$