

**EXAMEN DE ELECTRONICA 1**  
**17/12/12**

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 (38 puntos)**

En el circuito de la Figura 1 considerar todos los transistores iguales con  $\beta \gg 1$ , se supondrá que las entradas son tales que se pueden despreciar las corrientes de base y los amplificadores operacionales ideales salvo que se explicito lo contrario.

- Determinar la función que vincula la salida  $V_o$  con las entradas  $V_1$  y  $V_2$ . Indique que condición deben cumplir  $V_1$  y  $V_2$  para que la salida sea efectivamente determinada por (dependa de)  $V_1$  y  $V_2$ . ¿Cómo es la dependencia de la tensión de salida con la temperatura?
- Indicar el valor de la salida si se consideran las corrientes de polarización y la tensión de offset de los amplificadores operacionales. Dibujar claramente el modelo utilizado para el amplificador operacional incluyendo tensión de offset y corrientes de polarización. ¿Cómo cambia la condición hallada en a) en este caso?
- Indique el  $ICMR_{max}$ ,  $ICMR_{min}$ ,  $OSW_{max}$ , y  $OSW_{min}$  que deben tener los amplificadores operacionales para que el circuito funcione correctamente. Para ello considere que las entradas  $V_1$  y  $V_2$  varían en los siguientes rangos respectivos:  $[V_{1max}, V_{1min}]$  y  $[V_{2max}, V_{2min}]$ . Considere que estos rangos están dentro de las condiciones halladas en la parte a). No se considera en esta parte las corrientes de polarización y tensión de offset.

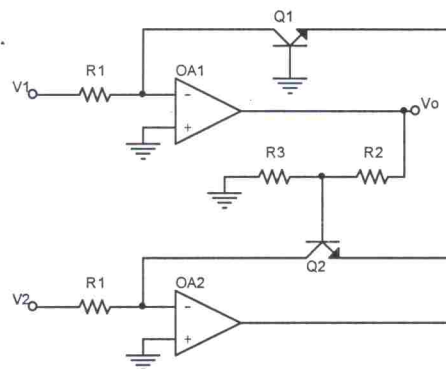


Figura 1

**PROBLEMA 2 (38 puntos)**

La Figura 1 muestra un amplificador con entrada y salida diferencial, al cual se le han agregado los transistores M1 y M2 para disminuir su corriente de polarización de entrada.

- Calcule la condición que debe cumplir la corriente  $I_M$  para que se cumpla que  $v_{b1}/v_1 \cong 1$  y que  $v_{b2}/v_2 \cong 1$ .
- Assumiendo que se cumplen las condiciones establecidas en a) calcule la ganancia total del amplificador  $A = (V_{o+} - V_{o-}) / (v_1 - v_2)$ .

- c) Calcule el rango de entrada en modo común del amplificador, asumiendo que la tensión mínima en bornes de las fuentes de corriente  $I_o$  e  $I_M$  para que operen correctamente es  $V_{Fmin}$ . Si en algún caso el resultado está dado por la más restrictiva entre varias condiciones se deberán plantear todas y dar el resultado en función de ellas.

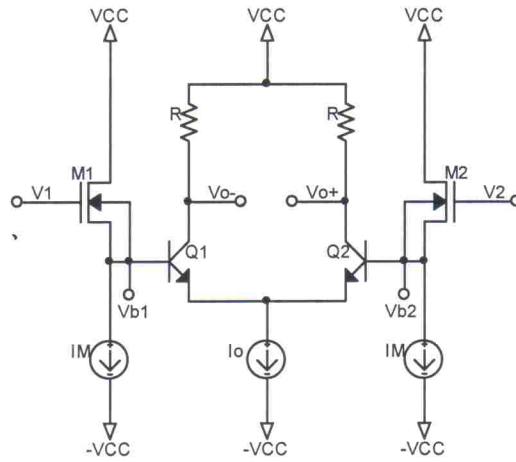
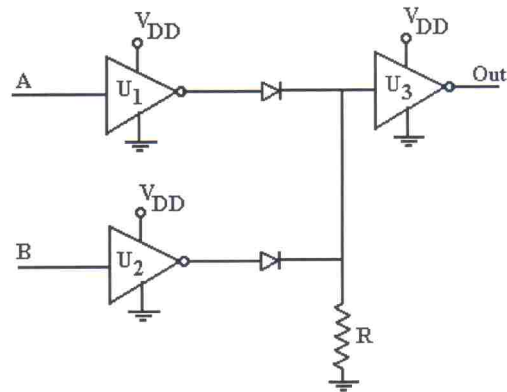


Figura 1

**PREGUNTA (24 puntos)**

En el circuito de la figura, U1, U2 y U3 son inversores CMOS y R es tal que  $V_{OH}$  de U1 y U2 se puede asumir igual a  $V_{DD}$ .

- Suponiendo los diodos son ideales, determinar la función lógica  $OUT = f(A,B)$ .
- Indicar cómo se define  $V_{IH}$ , fundamentando porqué y determinarlo para el caso particular en que  $V_{DD} = 10V_T$ .
- Determinar el margen de ruido en nivel alto disponible a la entrada de U3, si los diodos tienen tensión directa  $V_F$ .



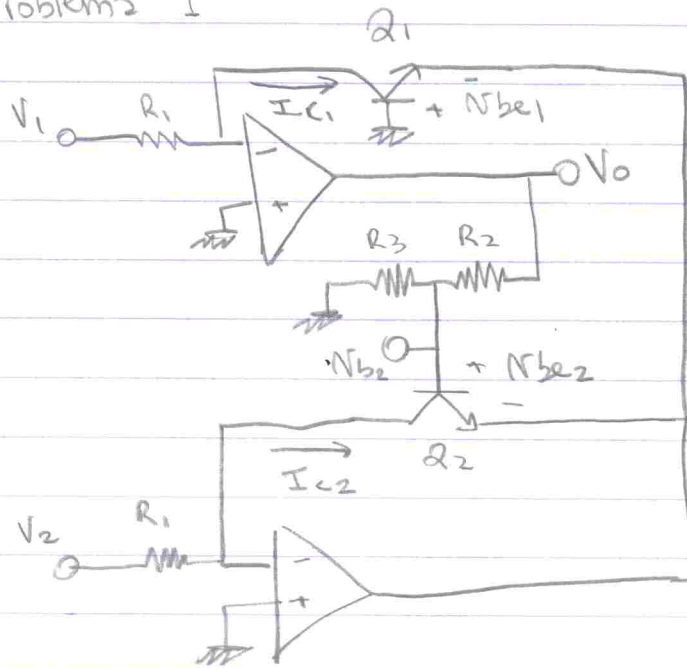
Datos:  $V_{Tn} = |V_{Tp}| = V_T$

$$\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_n = \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_p$$

$$\delta_n = \delta_p = 0$$

Problema 1

2



$$\left. \begin{aligned} V_o \frac{R_3}{R_3 + R_2} &= N_{be2} \\ N_{be2} &= N_{be2} - N_{be1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_o = \frac{(R_2 + R_3)}{R_3} (N_{be2} - N_{be1})$$

$$\left. \begin{aligned} N_{be2} &= V_T \ln \left( \frac{I_{C2}}{I_S} \right) = V_T \ln \left( \frac{V_2}{R_1 I_S} \right) \rightarrow \\ N_{be1} &= V_T \ln \left( \frac{I_{C1}}{I_S} \right) = V_T \ln \left( \frac{V_1}{R_1 I_S} \right) \rightarrow \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$V_o = \frac{(R_2 + R_3)}{R_3} V_T \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$$

Condiciones:

- $Q_1$  y  $Q_2$  on  $\Rightarrow I_{C1} > 0 \Rightarrow \begin{cases} V_1 > 0 \\ V_2 > 0 \end{cases}$

- $I_C \gg I_S$

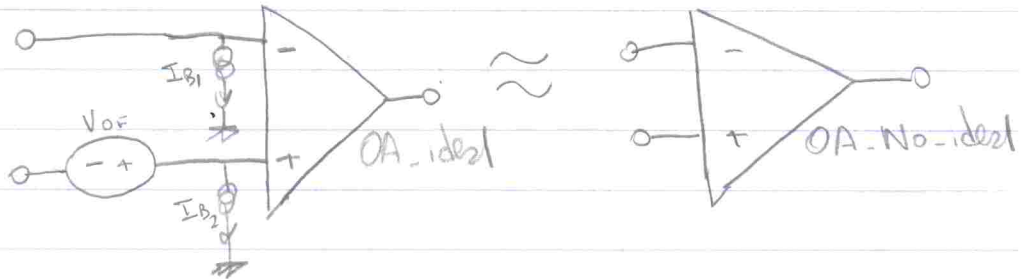
- $V_o / (R_2 + R_3) \gg \frac{V_1}{R_1} \frac{1}{\beta}$

PP

Si  $T \uparrow \Rightarrow V_T \uparrow \Rightarrow V_o \uparrow$

(b)

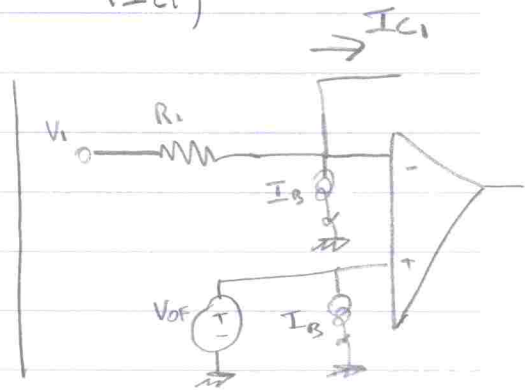
Modelo



De parte (a)  $V_o = V_T \frac{(R_2 + R_3)}{R_3} \ln \left( \frac{I_{C2}}{I_{C1}} \right)$

$$I_{C1} = \frac{V_1 - V_{of} - I_{B1} R_1}{R_1}$$

idem  $\Rightarrow I_{C2} = \frac{V_2 - V_{of} - I_{B2} R_1}{R_1}$



$$V_o = V_T \frac{(R_3 + R_2)}{R_3} \ln \left( \frac{V_2 - V_{of} - I_{B2} R_1}{V_1 - V_{of} - I_{B1} R_1} \right)$$

Cambiar la condición de  $I_{C1} > 0 \Rightarrow I_{C2} > 0$

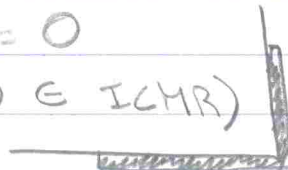
$$\Rightarrow \frac{V_1 - V_{of} - I_{B1} R_1}{R_1} > 0 \Leftrightarrow V_1 > V_{of} + I_{B1} R_1$$

nota  $I_{B1} = I_B + \frac{I_{of}}{2}$  idem  $\Rightarrow V_2 > V_{of} + I_{B2} R_1$

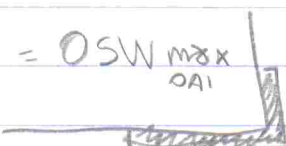
PP

②

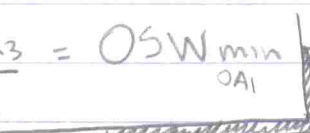
\*OA1 y OA2  $ICMR_{max} = ICMR_{min} = 0$   
 $(0 \in ICMR)$



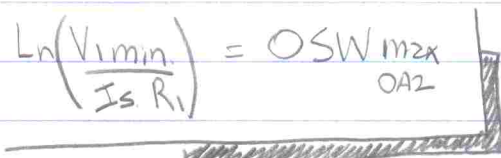
\*OA1  $V_{OA1}^{max} = V_T \ln \left( \frac{V_{2max}}{V_{1min}} \right) \frac{R_2 + R_3}{R_3} = OSW_{OA1}^{max}$



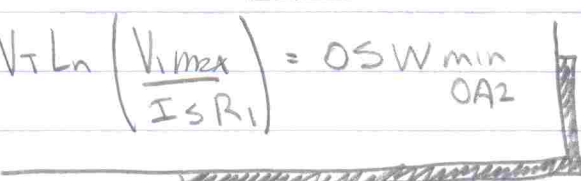
$V_{OA1}^{min} = V_T \ln \left( \frac{V_{2min}}{V_{1max}} \right) \frac{R_2 + R_3}{R_3} = OSW_{OA1}^{min}$



\*OA2  $V_{OA2}^{max} = -V_T \ln \left( \frac{V_{1min}}{I_S R_1} \right) = OSW_{OA2}^{max}$



$V_{OA2}^{min} = -V_T \ln \left( \frac{V_{1max}}{I_S R_1} \right) = OSW_{OA2}^{min}$



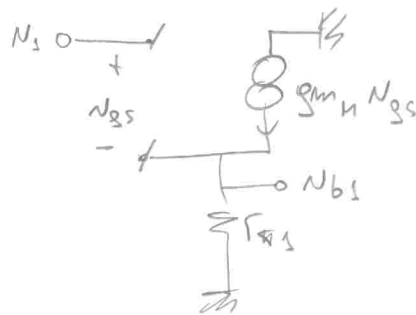
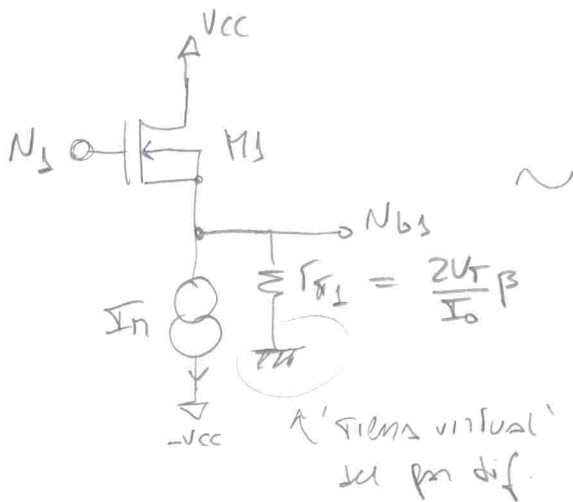
Se asume que  $Q_1$  y  $Q_2$   
 estan en zona activa.

P.P

2

(a) En simetría, como sólo 1/2 circuito

$$g_{m1} = \sqrt{\frac{I_n 2 \beta_n}{(1+s)}}$$



$$N_{bs} = \frac{g_{m1} r_{Ds1} N_1}{1 + g_{m1} r_{Ds1}}$$

$$\Rightarrow N_{bs} \approx N_1 \iff g_{m1} r_{Ds1} \gg 1$$

Misma condición para  $N_{b2} \approx N_2$

(b)

$$N_o^+ - N_o^- = g_{m2} R (N_{b1} - N_{b2})$$

$$g_{m2} = \frac{I_o}{2V_t}$$

Además cond. de parte (a)  $\Rightarrow \boxed{\frac{N_o^+ - N_o^-}{N_1 - N_2} = g_{m2} R}$

(c) Límite superior:

$$V_{GS} = V_t + \sqrt{\frac{2(1+s)I_n}{\beta_n}}$$

$$V_{DSSAT} = \frac{V_{GS} - V_t}{1+s}$$

①  $V_{en} - V_{GS} < V_{DD} - V_{DSSAT}$

$$\Rightarrow \boxed{V_{en,max} = V_{DD} + V_{GS} - V_{DSSAT}}$$

cual de las 2 donnos depend de los parámetros

②  $V_{en} - V_{GS} - V_{BS} < V_{DD} - \frac{R I_o}{2} = V_{CSSAT}$

$$\Rightarrow \boxed{V_{en,max} = V_{DD} + V_{GS} + V_{BS} - \frac{R I_o}{2} - V_{CSSAT}}$$

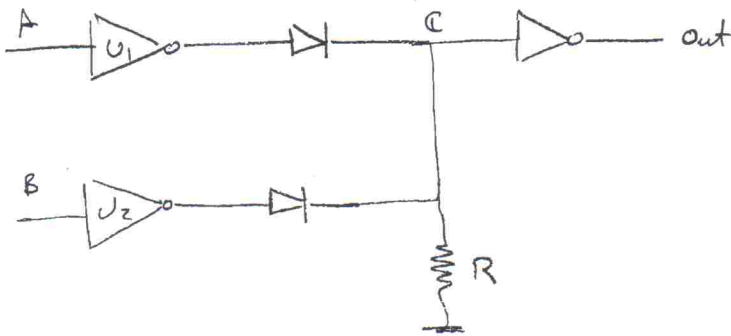
Límite inferior:

①  $V_{en} - V_{GS} > -V_{CC} + V_{FMIN} \Rightarrow V_{en,min} = V_{GS} + V_{FMIN} - V_{CC}$

②  $V_{en} - V_{GS} - V_{BS} > -V_{CC} + V_{FMIN}$

$$\Rightarrow \boxed{V_{en,min} = V_{GS} + V_{BS} + V_{FMIN} - V_{CC}}$$

siempre el más pequeño



1) Table

A	B	$\phi$	out
$\phi$	$\phi$	1	$\phi$
1	1	$\phi$	1
1	$\phi$	1	$\phi$
$\phi$	1	1	$\phi$

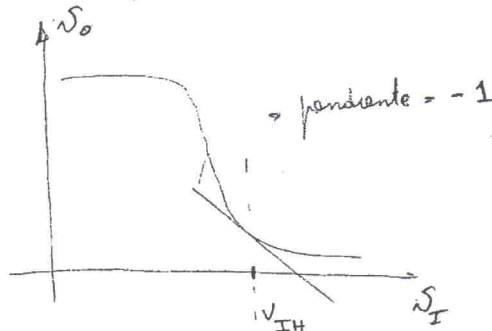
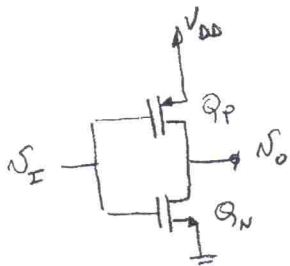
$$\Rightarrow C = \overline{A+B}$$

$$\Rightarrow \text{Out} = \overline{\overline{A+B}}$$

$$\text{Out} = A \cdot B$$

2)  $V_{IH}$  → es la mínima tensión de entrada que se garantiza que será aceptada como "1" lógico asegurando la regeneración de la información.

3) en las características de transferencia de un inversor CMOS



Para determinar  $V_{IH}$ , de acuerdo a la región de operación del transistor MOS tenemos.

$$Q_N: i_{DN} = k_n [2(V_I - V_{Tn})V_O - V_O^2]$$

$$Q_P: i_{DP} = k_p (V_{DD} - V_I - |V_{Tp}|)^2$$

Usando los datos:



$$\Rightarrow 2(V_{IH} - V_T) V_0 - V_0^2 = (V_{DD} - V_{IH} - V_T)^2 \quad (*) \quad \left[ \text{nota: } V_0 = f(V_{IH}) \right]$$

Buscamos  $\left. \frac{dV_0}{dV_{IH}} \right|_{V_{IH}=V_{IH}} = -1$

Diferenciando  $2(V_{IH} - V_T) \frac{dV_0}{dV_{IH}} + 2V_0 - 2V_0 \frac{dV_0}{dV_{IH}} = -2(V_{DD} - V_{IH} - V_T)$

2) sustituimos  $\left\{ \begin{array}{l} V_{IH} = V_{IH} \text{ tenemos} \\ \frac{dV_0}{dV_{IH}} = -1 \end{array} \right. \Rightarrow V_0 = \frac{V_{IH} - V_{DD}}{2} \quad (**)$

3) sustituimos la ecuación (\*\*) en (\*) y despejamos  $V_{IH}$  cuando  $V_{IH} = V_{IH}$

$$\rightarrow 2(V_{IH} - V_T) \left( \frac{V_{IH} - V_{DD}}{2} \right) - \left( \frac{V_{IH} - V_{DD}}{2} \right)^2 = (V_{DD} - V_{IH} - V_T)^2$$

$$\rightarrow \left[ 2(V_{IH} - V_T) - \left( \frac{V_{IH} - V_{DD}}{2} \right) \right] \left( \frac{V_{IH} - V_{DD}}{2} \right) = (V_{DD} - V_{IH} - V_T)^2$$

$$\left\{ \frac{V_{IH}^2}{2} - V_{IH} \frac{V_{DD}}{2} - 2V_T V_{IH} + V_T V_{DD} + \frac{V_{DD}}{2} V_{IH} - \frac{V_{DD}^2}{4} \right\} = \frac{V_{DD}^2}{2} - 2V_{IH} V_{DD} - 2V_T V_{DD} + \frac{V_{IH}^2}{2} - 2V_{IH} V_T + V_T^2$$

$$\rightarrow (2V_{DD} - 4V_T) V_{IH} = \frac{5}{4} V_{DD}^2 - 3V_T V_{DD} + V_T^2$$

$$\rightarrow (V_{DD} - 2V_T) V_{IH} = \frac{5}{8} V_{DD}^2 + \frac{V_T^2}{2} - \frac{3}{2} V_T V_{DD}$$

como  $V_{DD} = 10V_T \Rightarrow 8V_T V_{IH} = \frac{500}{8} V_T^2 + \frac{1}{2} V_T^2 - \frac{30}{2} V_T^2 = 48 V_T^2$

$$\Rightarrow \boxed{V_{IH} = 6V_T}$$

4)  $NM_H = V_{OH} - V_{IH}^1 = V_{DD} - V_F - 6V_T$   
 "  $V_{DD}$   $\uparrow$  pero este afectado por el ruido  $V_{IH}^1 = V_{IH}$