

**EXAMEN DE ELECTRONICA 1**  
22/12/05



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)**

Para el circuito de la Fig. 1:

- Calcular  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_{C1}$  para que la resistencia de entrada sea mayor o igual que  $500\text{k}\Omega$ , la corriente por el transistor  $Q_2$  sea  $2\text{mA}$  y para que el transistor  $Q_1$  trabaje en saturación.
- Calcular la ganancia  $v_{b2}/v_{in}$  donde  $v_{b2}$  es la amplitud de señal en la base de  $Q_2$ .
- Calcular la ganancia del amplificador.
- ¿Qué condición tiene que cumplir  $V_{bias}$  para que el circuito funcione correctamente?
- Calcular la excursión a la salida, si se toma el valor de  $V_{bias}$  que la maximiza e indicar el valor considerado.

Datos:

$$R_{E1} = 1.5\text{k}\Omega$$

$$\beta_{Q1} = 0.5\text{mA/V}^2$$

$$V_{CC} = 15\text{V}$$

$$R_{E2a} = 150\Omega$$

$$\beta_{Q2, Q3} = 100$$

$$V_{t0} = 0.8\text{V}$$

$$R_{E2b} = 530\Omega$$

$$V_{BE} = 0.7\text{V}$$

$$\delta = 0$$

$$R_{C2} = 2.2\text{k}\Omega$$

$$V_{CESAT} = 0.3\text{V} \quad C_1 = C_2 = \infty$$

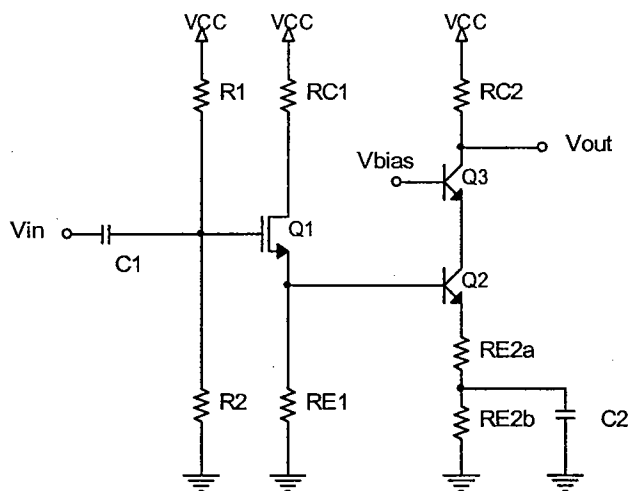


Fig.1

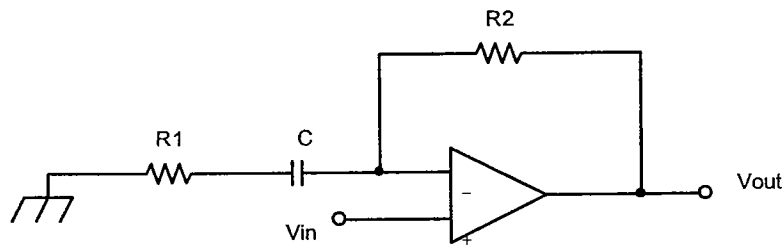
**PROBLEMA 2 (38 puntos)**

Se desea utilizar el circuito de la figura como derivador para procesar señales en la banda entre 100Hz y 1kHz.

- a) Si el amplificador es ideal, determine R1 y R2 para poder procesar la señal correctamente.
- b) Determine la tensión de offset a la salida debido a las corrientes de polarización y la tensión de offset del amplificador. ¿Dónde conectaría una resistencia y de qué valor para minimizar el efecto de las corrientes de polarización? En este caso, ¿cuánto vale la tensión de offset a la salida?
- c) Si suponemos para el amplificador un sistema de primer orden con ganancia en continua  $A_0 \gg 10^4$ . Obtenga la condición que debe cumplir el  $f_T$  del amplificador para que la respuesta en frecuencia del mismo no afecte el funcionamiento del circuito. Sugerencia: Expresé la transferencia real del circuito como:  $H^{real}(s) = \frac{H^{ideal}(s)}{1 + err(s)}$ , donde  $H^{ideal}(s)$  es la transferencia hallada en (a) y analice que condición debe cumplir  $err(s)$ .
- d) Si la señal a procesar es una sinusoidal pura, ¿cuál es la amplitud máxima que el circuito puede procesar sin distorsión para cualquier frecuencia del ancho de banda mencionado?

Datos: C= 47 nF

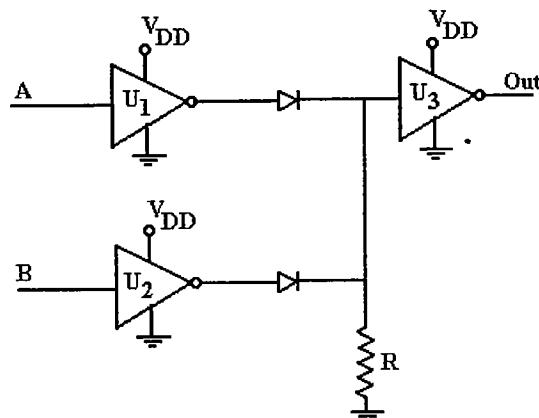
Para las partes b) en adelante:  $I_{BIAS}=100$  nA,  $I_{OFF}=4$  nA,  $V_{OFF}=8$ mV,  $SR=10$  V/ $\mu$ s



**PREGUNTA (24 puntos)**

En el circuito de la figura, U1, U2 y U3 son inversores CMOS y R es tal que VOH de U1 y U2 se puede asumir igual a VDD.

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



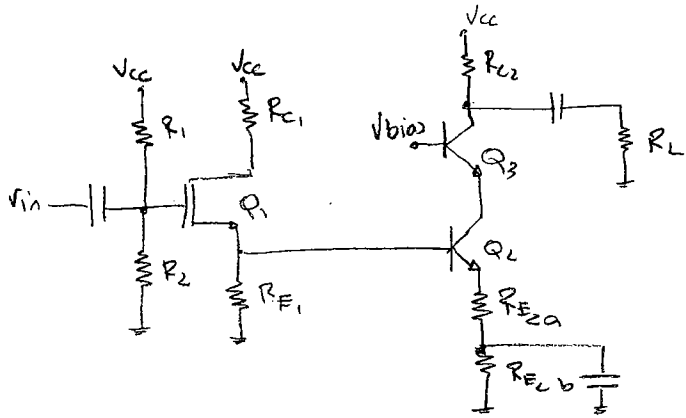
Datos:  $V_{Tn} = |V_{Tp}| = V_T$

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

$$\delta_n = \delta_p = 0$$

# Examen E1 Diciembre 2008

## Problema 1



$$R_{E2} = R_{E2a} + R_{E2b} = 680 \Omega$$

470 +

a)  $g_{Rin} \geq 500 \mu S$

$Q_1$  trabajando en saturación

$I_{Q2} = I_{Q3} = 2 \text{ mA}$

$$I_{Q2} = \frac{V_{b2} - V_{be}}{R_{E2}} \Rightarrow \underline{V_{b2} = V_{b1} = \overbrace{I_{Q2} R_{E2}}^{V_{E2}} + V_{be} = 1,9 + 0,9 = 2,8 \text{ V}}$$

$$I_{D1} = \frac{V_{b1}}{R_{E1}} = \frac{2,8 \text{ V}}{1,5 \text{ k}\Omega} = 1,9 \text{ mA} \rightarrow g_{m_{MOS}} = \sqrt{2\beta_{Q1} I_{D1}} = 1,2 \text{ mA/V}$$

$$I_{Q2} = 2 \text{ mA} \rightarrow \begin{cases} g_{m_{Q2}} = g_{m_{Q3}} = 77 \text{ mA/V} \\ r_{\pi 2} = r_{\pi 3} = 1,3 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

Condición de saturación:

$$V_{DS} \geq V_{GS} - V_t = \sqrt{\frac{2I_{D1}}{\mu}} = 2,4 \text{ V} \rightarrow V_D \geq (V_{GS} - V_t) + V_{S1} = 4,5 \text{ V}$$

$$\frac{V_{CC} - V_D}{R_{c1}} = I_D \rightarrow V_D = V_{CC} - I_{D1} R_{c1} \Rightarrow \underline{R_{c1} = \frac{V_{CC} - V_D}{I_{D1}} \leq 7,5 \text{ k}\Omega}$$

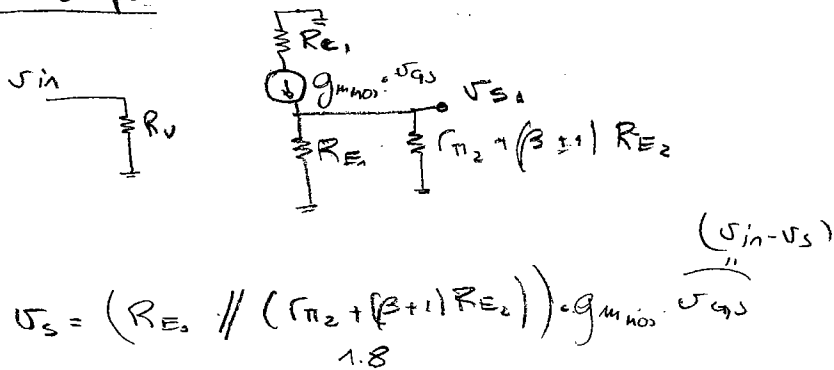
Resistencia vista:

$$V_{GS} - V_t = 2,4 \text{ V} \rightarrow \underline{V_G = 2,4 \text{ V} + 0,8 \text{ V} + 2,1 \text{ V} = 5,3 \text{ V}}$$

$$V_G = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow \left( \frac{V_{CC}}{V_G} \right)^{2,8} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \rightarrow \frac{R_1}{R_2} = 1,8 \rightarrow R_1 = 1,8 R_2$$

$$R_V = R_1 // R_2 \Rightarrow R_1 R_2 = R_V (R_1 + R_2) \Rightarrow 1,8 R_2 = R_V \cdot 2,8 \rightarrow \boxed{R_2 = 770 \text{ k}\Omega}$$

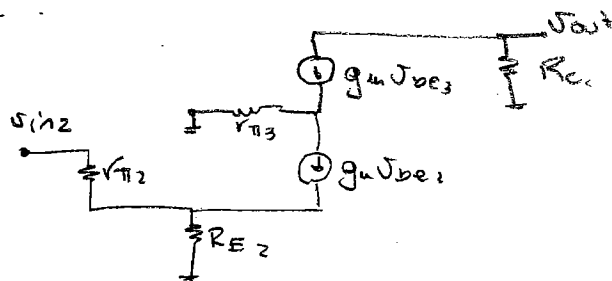
1<sup>ra</sup> etapa:



$$V_{S1} = \left( R_{E1} \parallel \left( r_{\pi 2} + (\beta + 1) R_{E2} \right) \right) \cdot g_{m1} \cdot \overbrace{V_{GS}}^{(V_{in} - V_{S1})}$$

$$\frac{V_{S1}}{V_{in}} = \frac{g_{m1} \left( \left( r_{\pi 2} + (\beta + 1) R_{E2} \right) \parallel R_{E1} \right)}{1 + g_{m1} \left( \left( r_{\pi 2} + (\beta + 1) R_{E2} \right) \parallel R_{E1} \right)} = 0,6$$

2da etapa:



$$g_{m1} \cdot V_{be3} \approx g_{m2} \cdot V_{be2}$$

$$V_{out} = - R_{C2} \cdot \left( \frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_{E2}} \right) \cdot V_{in} \approx - \frac{R_{C2}}{R_{E2}} \approx -14,7$$

$$\rightarrow A_{Tot} = -14,7 \cdot 0,6 = -8,8$$

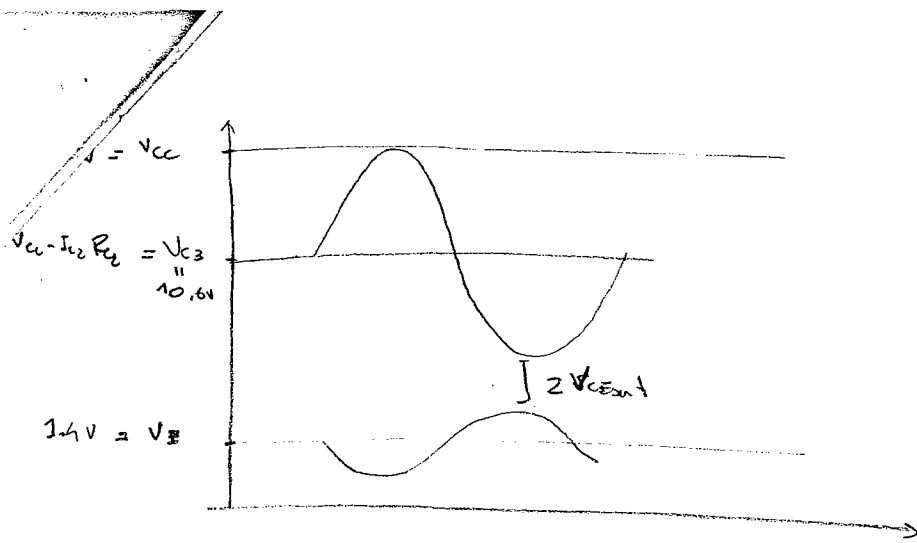
c) Para que Q2 y Q3 trabajen a zona activa.

$$1) V_{bias} - V_{be} - V_{CEsat} - R_{E2} I_{C2} > 0$$

$$\underline{V_{bias} \geq 2,4V}$$

$$2) V_{CC} - R_{C2} I_{C2} - (V_{bias} - V_{be}) \geq V_{CEsat}$$

$$\underline{V_{bias} \leq 15 - 22k \cdot 2mA - 0,4 = 11V}$$



$$① V_{c3} - A v_{in2} - (V_{E2} + v_{in2}) \geq 2V_{cesat}$$

$$\rightarrow \frac{v_{in2}^P}{A+1} \leq \frac{V_{c3} - V_{E2} - 2V_{cesat}}{A+1} = \frac{10.6 - 1.4 - 0.6}{13.2} = 0.55V \rightarrow v_o^P = 8.1V$$

$$② \frac{V_{cc} - (V_{c3} + v_o^P)}{R_{c2}} \geq 0 \rightarrow v_o^P = 4.4V$$

$$\text{De } \textcircled{2} \rightarrow v_o^P = 4.4V$$

Problema 2

$$(a) \frac{V_{out} - V_{in}}{R_2} = \frac{V_{in} C_s}{R_1 C_s + 1}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{R_2} = V_{in} \left[ \frac{1}{R_2} + \frac{C_s}{R_1 C_s + 1} \right]$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{(R_2 + R_1) C_s + 1}{R_1 C_s + 1} = \frac{s/\omega_z + 1}{s/\omega_p + 1}$$

$$BW = [100 \text{ kHz}, 1 \text{ MHz}]$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} f_p = 10 \text{ kHz} \Rightarrow R_1 = 339 \Omega \\ f_z = 10 \text{ MHz} \Rightarrow R_2 = 338 \text{ k}\Omega \end{array} \right.$$

$$(b) \frac{V_{out}}{OFF} = V_{off} + I_B R_2 \Rightarrow \boxed{V_{out} = 42,5 \text{ mV}}_{OFF}$$

$$\text{para caso: } I_B = I_{B10S} + \frac{V_{OFF}}{2} = 102 \text{ mA}$$

Conecta  $R_3 = R_2$  entre  $V_{in}$  y la pata + del Amp.

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{OFF} = V_{off} + I_{OFF} R_2 \Rightarrow \boxed{V_{out} = 9,4 \text{ mV}}_{OFF}$$

(c)

$$\frac{N_{out} - e^-}{R_2} = e^- \frac{Cs}{R_1 Cs + 1} \Rightarrow \frac{N_{out}}{e^-} = H^{ideal}(s)$$

$$N_{out} = A(s) (N_{in} - e^-) \Rightarrow e^- = N_{in} - \frac{N_{out}}{A(s)}$$

$$\frac{N_{out}}{N_{in} - \frac{N_{out}}{A(s)}} = H^{ideal}(s) \Rightarrow \frac{N_{out}}{N_{in}} = \frac{H^{ideal}(s)}{1 + \frac{H^{ideal}(s)}{A(s)}} = H^{nearc}(s)$$

$$\Rightarrow err(s) = \frac{H^{ideal}(s)}{A(s)}$$

Pour q' ne affecte la réponse  $|err(s)| \ll 1$   
 en les fréquences de intérêt

$$\Rightarrow |err(j\omega_p)| \ll 1 \quad \left( \text{pour } \omega > \omega_p \text{ ne importe la q' phase} \right)$$

$$\Rightarrow |A(j\omega_p)| \gg |H^{ideal}(j\omega_p)| \quad \omega_p = \frac{1}{R_1 C}$$

$$\Rightarrow \left| \frac{\Delta_0}{1 + j \frac{\Delta_0}{R_1 C \omega_T}} \right| \gg \left| \frac{\frac{R_1 + R_2}{R_1} j + 1}{j + 1} \right| \quad \left( \frac{R_2}{R_1} = 10^3 \gg 1 \right)$$

sup.  $\Delta_0 \gg R_1 C \omega_T$

$$\Rightarrow R_1 C \omega_T \gg \frac{R_2}{R_1 \sqrt{2}} \Rightarrow \omega_T \gg \frac{R_2}{\sqrt{2} R_1^2 C}$$

$$f_T \gg 7,15 \text{ MHz} \quad \text{prej } f_T = 71 \text{ MHz} //$$

$$\text{vérif. } R_1 C \omega_T = 7 \times 10^3 \ll \Delta_0 \quad (\Delta_0 \gg 10^4) \quad \checkmark$$

(d)

$$N_{in} = A \sin(\omega t) \quad / \quad \overset{\Delta \omega \text{ Hz}}{\omega_1} < \omega < \overset{\Delta \omega \text{ Hz}}{\omega_2}$$

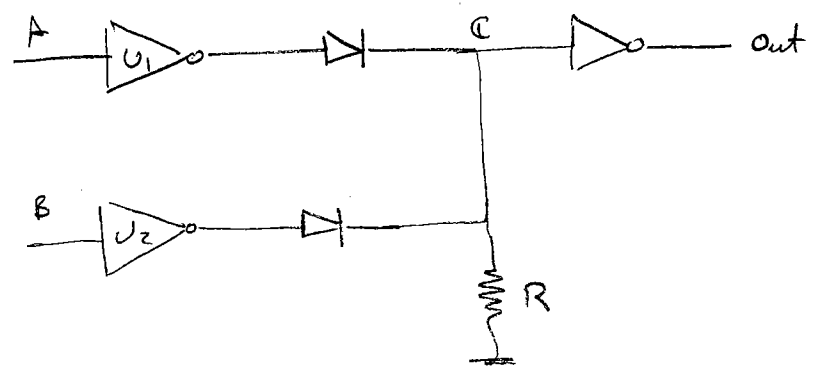
$$\Rightarrow v_{out} = A |H(j\omega)| \sin(\omega t)$$

$$\Rightarrow \left| \frac{dv_{out}}{dt} \right| = A |H(j\omega)| \omega \cos(\omega t) \Rightarrow \left| \frac{dv_{out}}{dt} \right|_{max} = A |H(j\omega)| \omega$$

$$\Rightarrow A |H(j\omega)| \omega < SR \Rightarrow A_{max} = \frac{SR}{|H(j\omega)| \omega} \Big|_{\omega=\omega_2} \text{ (peak loss)}$$

$$\boxed{A_{max} = 15,9V}$$





1) Table

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

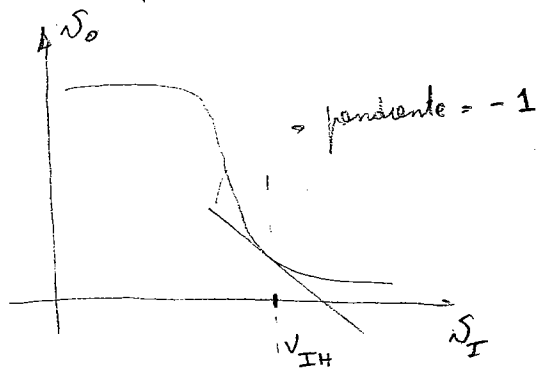
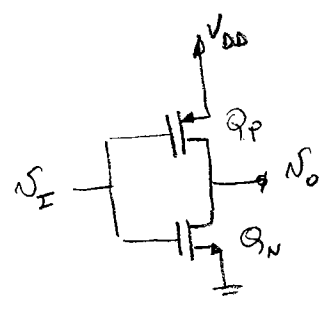
$\Rightarrow C = \overline{A+B}$

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

2)

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

en las características de transferencia de un inversor CMOS



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

$Q_N: i_{Dn} = k_n [2(V_{Si} - V_{Tn})S_o - S_o^2]$

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

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

2 sustituir en la ecuación  $(**)$  en  $(*)$  y despejamos  $V_{IH}$  cuando  $V_{IH} = V_{IH}$

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

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

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

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

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

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

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

$$V_{IH}' = V_{IH} + V_F$$

$$NM_H = V_{OH} - V_{IH}' = V_{DD} - V_F - 6V_T$$

"  $V_{DD}$  pero este afectado por el diseño  $V_{IH}' = V_{IH}$