

**2do PARCIAL DE ELECTRONICA 1**

29/06/09

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 (26 puntos)**

El circuito de la Figura recibe datos digitales por la entrada  $v_i$  ( $= v_{i+} - v_{i-}$ ) en forma diferencial, valiendo  $v_{i+} = 7V$ ,  $v_{i-} = 6V$  ( $v_i = +1V$ ) cuando se recibe un 1 y  $v_{i+} = 6V$ ,  $v_{i-} = 7V$  ( $v_i = -1V$ ) cuando se recibe un 0. Estos datos son adaptados a la salida lógica OUT y su valor señalizado en el LED D1.

- Indicar los niveles a la entrada de la compuerta U1 cuando en la entrada  $v_i$  se recibe un 0 lógico y un 1 lógico. Fundamente su respuesta.
- Si el inversor U1 tiene los datos indicados abajo, ¿ qué condición debe cumplir  $V_{DD}$  para que los márgenes de ruido a la entrada de U1, tanto en nivel alto como en nivel bajo, sean en el peor caso de al menos 0.5V ?
- ¿ Para que valor lógico en la entrada  $v_i$  prenderá el LED ? Calcular  $R_{LED}$  para que cuando el LED encienda la corriente por él sea de 10 mA.
- Si el inversor U1 es un inversor CMOS, ¿ qué restricción se tiene sobre la capacidad de carga CL si se desea que su consumo dinámico de potencia no supere los 5mW, los datos varían a frecuencia de 1MHz y se considera el peor caso dentro de las condiciones halladas en la parte b) ?

Datos:

U1:

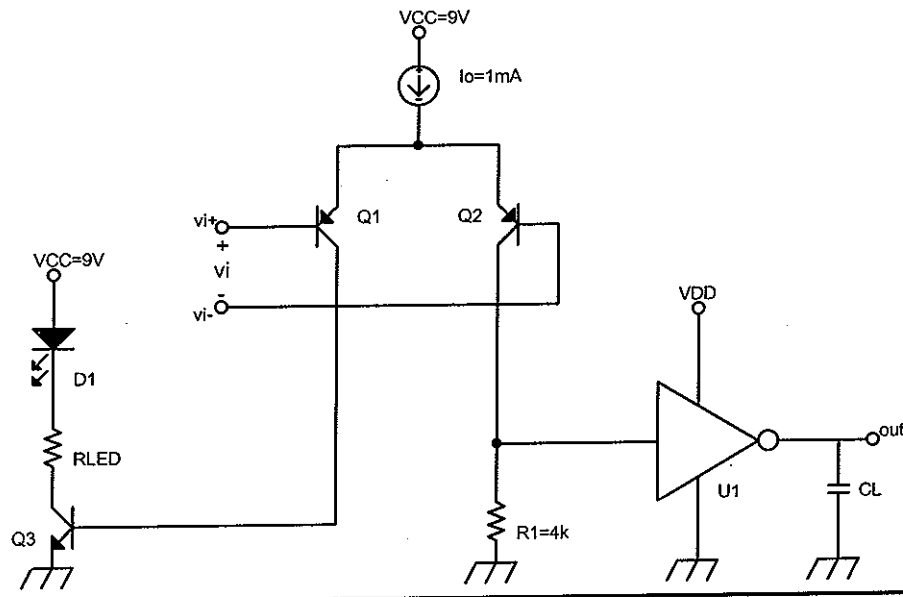
	Min.	Typ.	Max.
$V_{OL}$ (V)		0V	0.1V
$V_{OH}$ (V)	$V_{DD} - 0.1V$	$V_{DD}$	
$V_{IL}$ (V)	$0.12 * V_{DD}$	$0.2 * V_{DD}$	
$V_{IH}$ (V)		$0.7 * V_{DD}$	$0.8 * V_{DD}$

Q1, Q2, Q3 tienen  $V_{BE} = 0.7V$ ,  $V_{CESAT} = 0.3V$ ,  $\beta = 200$ .

Q1 se supondrá idéntico a Q2 y el efecto Early se podrá considerar despreciable en todos los transistores.

D1:  $V_F = 1.2V$

$I_o = 1mA$



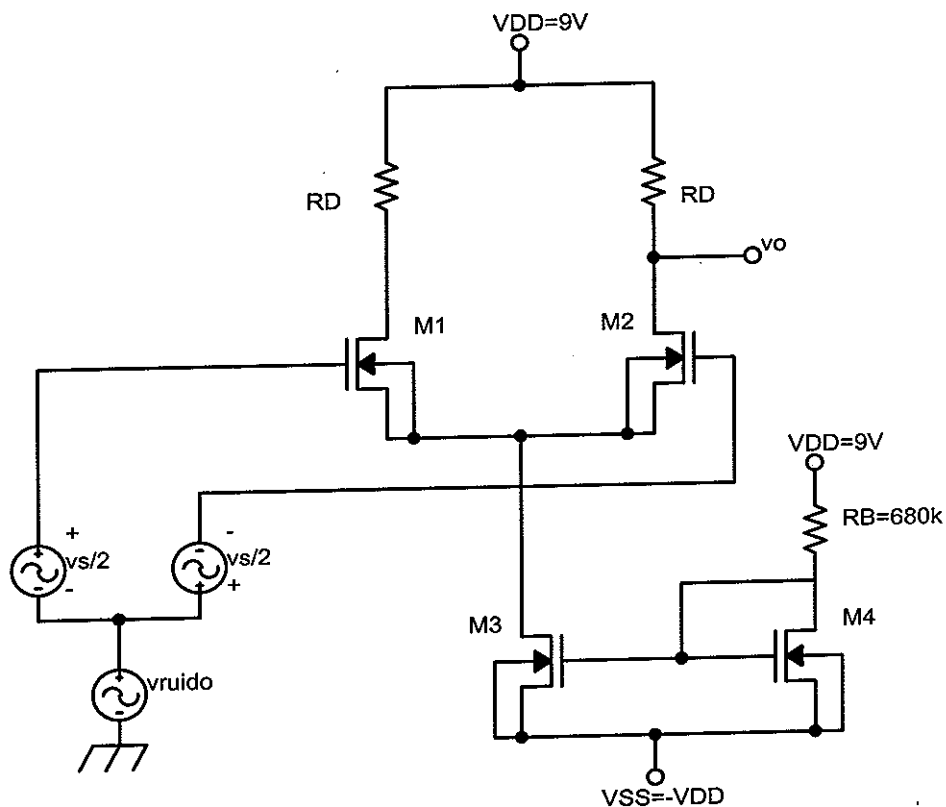
**PROBLEMA 2 (27 puntos)**

El circuito de la figura amplifica la señal proveniente de un sensor, la cual recibe en forma diferencial, estando representada por las componentes:  $+v_s/2$  y  $-v_s/2$ . La fuente vruído, modela diferencias de potencial que aparecen entre la conexión a tierra del sensor y la tierra del circuito y se considerará 0 salvo donde se indique lo contrario.

- Calcular la corriente DC por cada transistor del circuito.
- Determinar  $R_D$  para que la ganancia  $v_o/v_s$  del circuito sea 20.
- ¿Cuál es la máxima excursión de pico en la salida  $v_o$ ?
- Si los transistores tienen tensión de Early infinita para M1 y M2 y 20V para M3 y M4, ¿cuál es la máxima amplitud admisible de la señal vruído si se desea que la componente a la salida debido a vruído sea siempre 10 veces menor que la componente debida a  $v_s$ ?

M1, M2, M3:  $\beta = 4\text{mA/V}^2$ ,  $V_{t0} = 1\text{V}$ ,  $\delta = 0.3$

M4:  $V_{t0} = 1\text{V}$ ,  $\delta = 0.3$  y  $(W_4/L_4) = (1/4)(W_{123}/L_{123})$  donde  $W_4$  y  $L_4$  corresponden a M4 y  $W_{123}$  y  $L_{123}$  corresponden a M1, M2 y M3.



**PROBLEMA 3 (27 puntos)**

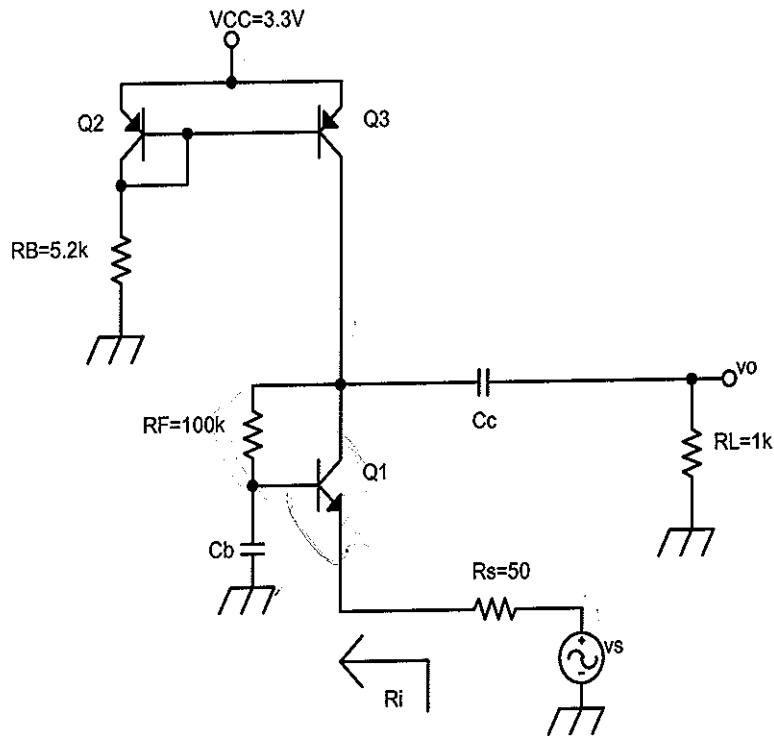
En el circuito de la figura,  $C_b$  y  $C_c$  son infinitos a menos que se indique lo contrario. Determinar:

- a) La resistencia de entrada  $R_i$ .
- b) Ganancia  $v_o/v_s$ .
- c) La máxima excursión en la salida  $v_o$ .
- d) Si  $C_b$  es infinito, determinar  $C_c$  para que la frecuencia de corte inferior sea 30Hz.

Datos: El efecto Early se podrá despreciar en todos los transistores.

Q1:  $V_{BE} = 0.7V$ ,  $V_{CESAT} = 0.3V$ ,  $\beta = 200$

Q2, Q3:  $V_{EB} = 0.7V$ ,  $V_{ECSAT} = 0.3V$ ,  $\beta = 200$ .



**PREGUNTA (20 ptos)**

- a) Indicar gráficamente en la característica estática de transferencia de tensión entrada-salida de un inversor ( $V_o = f(V_i)$ ) los valores de  $V_{OL}$ ,  $V_{OH}$ ,  $V_{IH}$ ,  $V_{IL}$ , margen de ruido en nivel alto ( $NM_H$ ) y margen de ruido en nivel bajo ( $NM_L$ ). Explicar claramente cómo se definen los puntos  $V_{IH}$  y  $V_{IL}$  y porqué.
- b) Calcular  $V_{IH}$  y  $NM_H$  para un inversor CMOS con tensión de alimentación  $V_{DD}$  y con los siguientes datos para los transistores n y p:  $\beta_n = \beta_p$ ,  $V_m = |V_{tp}|$ ,  $\delta_n = \delta_p = 0$ . Se despreciará el efecto Early.

Determinar los valores de  $V_{IH}$  y  $NM_H$  determinados en b) para el caso de una tecnología con tensión umbral  $V_m = |V_{tp}| = 0.7V$  y tensión de alimentación  $V_{DD} = 3.3V$ .

Problema nº 1:

a) Cuando  $V_i = -1V$  ( $|V_i| \gg 2V_T$ ) el par diferencial estará desbalanceado,  $Q_2$  quedará cortado y toda la corriente  $I_0$  pasará por  $Q_1$

$Q_2$  cortado  $\Rightarrow V_{IN,U1} = 0$  ( $R_1$  ofrece resistencia de pull-down)

Si  $V_i = 1V$  ( $|V_i| \gg 2V_T$ ), el par diferencial se desbalancea en el otro sentido y por tanto  $Q_1$  estará cortado y toda la corriente  $I_0$  pasará por  $Q_2$

$$V_{IN,U1} = R_1 \cdot I_0 \Rightarrow V_{IN,U1} = 4V$$

$$\therefore \begin{cases} 1 \text{ lógico} \rightarrow V_{IN,U1} = 4V \\ 0 \text{ lógico} \rightarrow V_{IN,U1} = 0V \end{cases}$$

b)  $NMH > 0,5 \Rightarrow V_{OH}(\text{driver}) - V_{IH}(\text{receptor}) > 0,5V \Rightarrow 4V - V_{IH}^{MAX} > 0,5V$

$$\Rightarrow 0,8 V_{DD} < 3,5V \Rightarrow \boxed{V_{DD} < 4,38V}$$

$$NML > 0,5 \Rightarrow V_{IL}(\text{receptor}) - V_{OL}(\text{driver}) > 0,5V \Rightarrow V_{IL}^{MIN} - 0V > 0,5V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0,12 V_{DD} > 0,5V \Rightarrow \boxed{V_{DD} > 4,17V}$$

c) El LED D1 prenderá cuando  $Q_3$  no esté cortado. Esto sucederá cuando la corriente de base sea mayor que cero. Por lo tanto, LED prenderá cuando  $Q_1$  conduzca lo que corresponde a un "0 lógico".

Inversamente, cuando  $Q_1$  corte, cortará  $Q_3$  y D1 quedará apagado.

Resumiendo:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ lógico} \rightarrow D1 = \text{OFF} \\ 0 \text{ lógico} \rightarrow D1 = \text{ON} \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} I_{BQ3} = 1 \text{ mA} \\ I_{CQ3} = 10 \text{ mA} \\ \beta = 200 \end{array} \right\} \Rightarrow I_{BQ3} > \frac{I_{CQ3}}{\beta} \Rightarrow Q_3 \text{ está saturado} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{CC} - V_F - R_{LED} \cdot I_{LED} = V_{CESAT} \Rightarrow R_{LED} = \frac{V_{CC} - V_F - V_{CESAT}}{I_{LED}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{R_{LED} = 750 \Omega}$$

$$d) P_D = f \cdot C_L \cdot V_{DD}^2 < 5 \text{ mW} \Rightarrow C_L < \frac{5 \text{ mW}}{f \cdot V_{DD}^2} \left. \right\} \Rightarrow \boxed{C_L^{\text{max}} = 261 \text{ pF}}$$

Para considerar el peor caso tomo  $V_{DD} = 4,38$  (parte b)

J

29/06/09

Problema 2

2.ºº Parcial Electroni

$$a) I_{D4} = \frac{\beta}{2(1+\delta)} (V_{GS} - V_{to})^2$$

$$\frac{2V_{DD} - V_{GS}}{680k} = I_D$$

$$\frac{\beta}{2(1+\delta)} (V_{GS}^2 - 2V_{to}V_{GS} + V_{to}^2) = \frac{2V_{DD} - V_{GS}}{680k}$$

$$\frac{\beta}{2(1+\delta)} V_{GS}^2 + \left( \frac{1}{680k} - \frac{2V_{to}\beta}{2(1+\delta)} \right) V_{GS} + \frac{V_{to}^2\beta}{2(1+\delta)} - \frac{2V_{DD}}{680k} = 0$$

$$V_{GS} \begin{cases} 1,25 \\ 974 \end{cases} \text{ for } \text{ser} < V_{to}$$

$$I_{D4} = 25 \mu A$$

$$I_{D3} = 4 \cdot I_{D4} = 100 \mu A$$

$$I_{D1} = I_{D2} = I_{D3}/2 = 50 \mu A$$

$$b) \frac{v_o}{v_s} = A = g_{m1,2} R_D$$

$$g_{m1,2} = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\delta} I_{D1,2}} = 5,5 \times 10^{-4}$$

$$\Rightarrow R_D = \frac{20 \cdot 2}{2 \cdot g_{m1,2}} = 72 k\Omega$$

$$c) \dots V_{D,2} = V_{DD} - R_D I_D = 5,4 \text{ V}$$

Para que M2 no corte  $I_{D2} > 0 \Rightarrow \hat{V}_0 < 3,6$

Para que M2 no sature

$$V_{D,2} > V_{D,2 \text{ SAT}} = \frac{V_{GS} - V_T}{(1+S)} \text{ - despreciable.}$$

$$V_D - \hat{V}_0 - V_S > \frac{V_{GS} + \frac{V_0}{g_m R_D} - V_{T0}}{(1+S)} \approx \frac{V_{GS} - V_{T0}}{(1+S)} = \frac{0,18}{1,3} = 0,14 \text{ V}$$

$$\hat{V}_0 < V_D - (-V_{GS}) - 0,14 = 6,44 \text{ V}$$

Máxima Excursion = 3,6 V

$$d) r_o = \frac{V_A}{I_D} = \frac{20 \text{ V}}{100 \mu\text{A}} = 200 \text{ k}\Omega$$

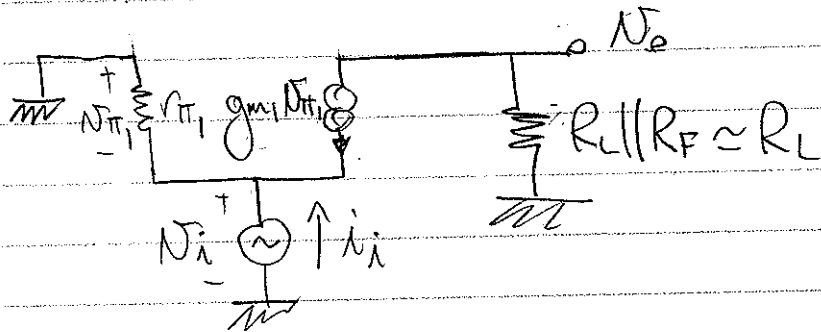
$$A_{cm} = \frac{R_D}{r_o} = \frac{72 \text{ k}\Omega}{400 \text{ k}\Omega} = 0,18$$

gn. 2.6 >> 1

$$\tilde{N}_{cm} - A_{cm} < \frac{A \cdot N_S}{10} \Rightarrow N_{cm} < \frac{A}{10 A_{cm}} \cdot N_S = 5,6 N_S$$

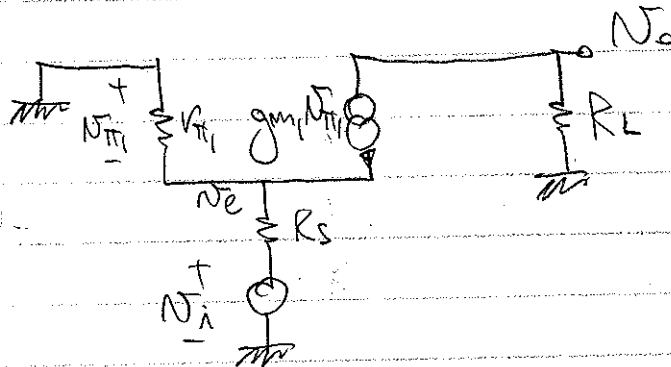
## Problema 3

a)



$$\begin{aligned} i_i &\approx -g_{m1} V_{\pi 1} \\ V_{\pi 1} &= -V_i \end{aligned} \Rightarrow \boxed{\frac{V_i}{i_i} = \frac{1}{g_{m1}}}$$

b)



$$\begin{aligned} V_o &= -g_{m1} V_{\pi 1} R_L \\ V_{\pi 1} &= -V_e \end{aligned} \Rightarrow V_o = g_{m1} R_L V_e$$

Usando la resistencia vista calculada en a)

$$V_e = \frac{1/g_{m1} V_i}{1/g_{m1} + R_s} = \frac{1}{1 + g_{m1} R_s} V_i \Rightarrow V_o = \frac{g_{m1} R_L}{1 + g_{m1} R_s} V_i$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_i} = \frac{g_{m1} R_L}{1 + g_{m1} R_s}}$$



$$c) \frac{I_{Q_2 Q_3} = V_{CC} - V_{E_3}}{R_D} = 0,5 \text{ mA} \Rightarrow g_{m_1} = 19,2 \times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow I_{Q_1} \approx I_{Q_2 Q_3} \Rightarrow I_{R_F} = \frac{I_{Q_1}}{\beta} = 2,5 \mu\text{A}$$

$$\Rightarrow V_{C_1} = V_{E_1} + R_F I_{R_F} = 0,95 \text{ V} \quad \parallel \quad V_{E_1} = I_{Q_1} R_S = 25 \text{ mV} \approx 0$$

$$G_1 = \frac{N_o}{N_{in}} = \frac{1}{1 + g_{m_1} R_S} = 0,51 \quad \parallel \quad G_2 = \frac{N_o}{N_e} = g_{m_1} R_L = 19,2$$

$$G_{tot} = \frac{g_{m_1} R_L}{1 + g_{m_1} R_S} = 9,8$$

1- Saturación de  $Q_3$

$$\Rightarrow V_{C_1} + V_{op} < V_{CC} - V_{ECSAT} \Rightarrow \boxed{V_{op} < 2 \text{ V}}$$

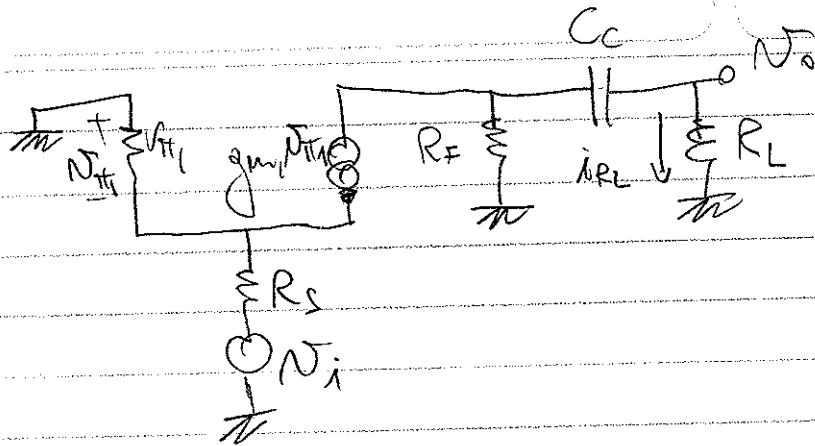
2- Saturación de  $Q_1$

$$V_{CE_1} = (V_{C_1} - V_{op}) - V_{E_1} > V_{CESAT} \Rightarrow V_{op} < V_{C_1} - V_{E_1} - V_{CESAT}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{op} < 0,6 \text{ V}}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{op} < 0,6 \text{ V}}$$

d)



$$N_o = -R_L i_{R_L}$$

$$i_{R_L} = \frac{R_F (-i_{C_c})}{R_F + \left(\frac{1}{C_c \Delta} + R_L\right)} = \frac{-R_F C_c \Delta i_{C_c}}{1 + (R_F + R_L) C_c \Delta}$$

divisor de corriente

$$\Rightarrow f_L = \frac{1}{2\pi C_c (R_F + R_L)} \Rightarrow C_c = \frac{1}{2\pi f_L (R_F + R_L)}$$

$$\Rightarrow C_c = 52 \text{ nF}$$