

EXAMEN DE ELECTRONICA 1
25/07/07



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 pts.)

El circuito de la Figura 1 implementa un sensor de temperatura.

- a) Si los amplificadores operacionales se consideran ideales y R1 y R2 tales que los diodos conducen francamente :
 - i) Calcule Vo en función de la Temperatura en grados Kelvin.
 - ii) Calcule el cociente R2/R1 para que se cumpla $V_o = 2 \times 10^{-4} * T$ donde T es la temperatura en grados Kelvin.
- b) Si los amplificadores OA1 y OA2 se suponen ideales, pero OA3 tiene los datos que se indican abajo, R2/R1 cumplen lo hallado en a)ii) y R3 vale 100K,
 - i) Calcular el error cometido en el peor caso para una temperatura de 300°K.
 - ii) Como modificaría el circuito para minimizar el error debido a las corrientes de polarización
 - iii) Calcule el nuevo error cometido.

Datos OA3:

	Max	Units
Input Offset Voltage	4	mV
Input Offset Current	30	nA
Input Bias Current	100	nA

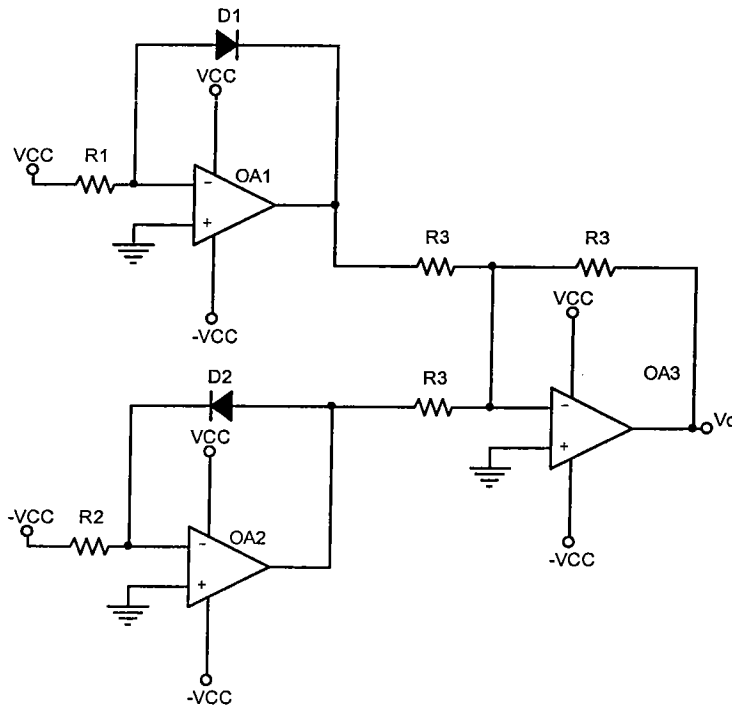


Figura 1



PROBLEMA 2 (38 pts.)

- a) Para el amplificador de la Figura 1 calcular:
 - i) Ganancia a frecuencias medias.
 - ii) Resistencia de entrada a frecuencias medias.
- b) El amplificador de la Figura 1 se utiliza precedido de otra etapa como se muestra en la Figura 2. Calcular:
 - i) La corriente de polarización de T2.
 - ii) Ganancia V_o/V_i del amplificador de dos etapas a frecuencias medias.
 - iii) Dimensione CI y CE para que la frecuencia de corte inferior del circuito sea de 100 Hz

DATOS:

$V_{CC} = -V_{EE} = 15V$

$M1: \beta_{M1} = 0.1mA / V^2, \delta = 0, V_{t0} = -1.2V$

$T1, T2: \beta_{T1, T2} = 100, V_{CESAT1} = V_{ECSAT2} = 0.3 V, V_{BE1} = V_{EB2} = 0.7 V$

En todos los transistores: Tensión de Early $V_A = \infty$

$CI = CD = CE = \infty$ salvo que en la letra se explicita de otra manera

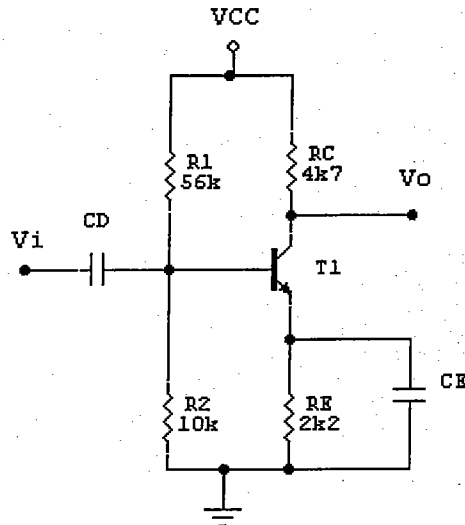


Figura 1

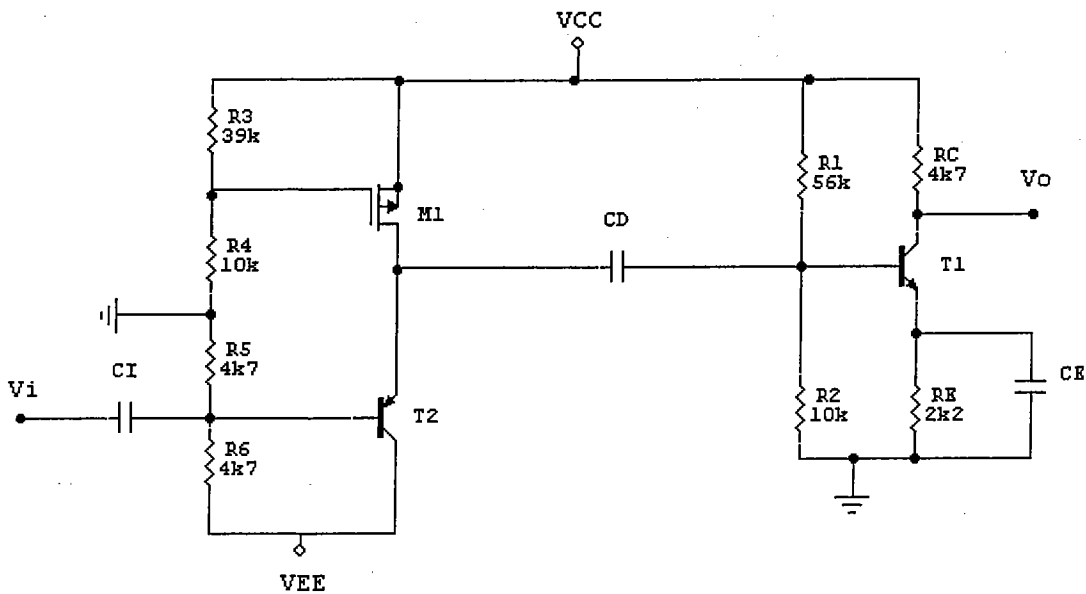


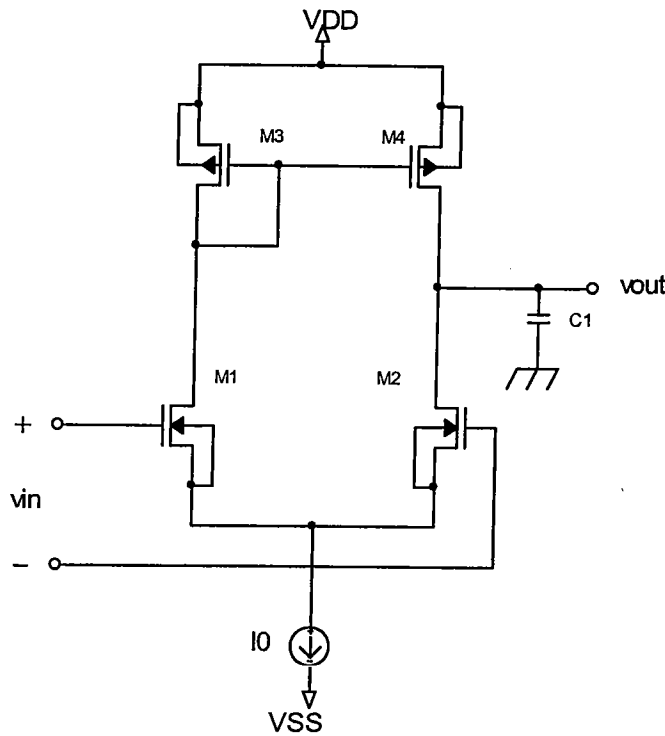
Figura 2

PREGUNTA (24 pts.)

Para el circuito de la Figura determinar en función de la corriente de polarización I_0 :

- a) La frecuencia de transición f_T .
- b) El "slew rate"
- c) ¿Cuál es la máxima amplitud de pico que puede tener una señal sinusoidal de frecuencia f_T a la entrada para que no sea distorsionada por el slew rate?
- d) El rango de entrada en modo común si la fuente de corriente para operar correctamente precisa una tensión mínima en bornes de V_{fmin} .

DATOS: Los transistores nMOS y pMOS tienen igual β e igual tensión umbral V_{t0} (en valor absoluto $V_{t0} = V_{t0n} = |V_{t0p}|$)

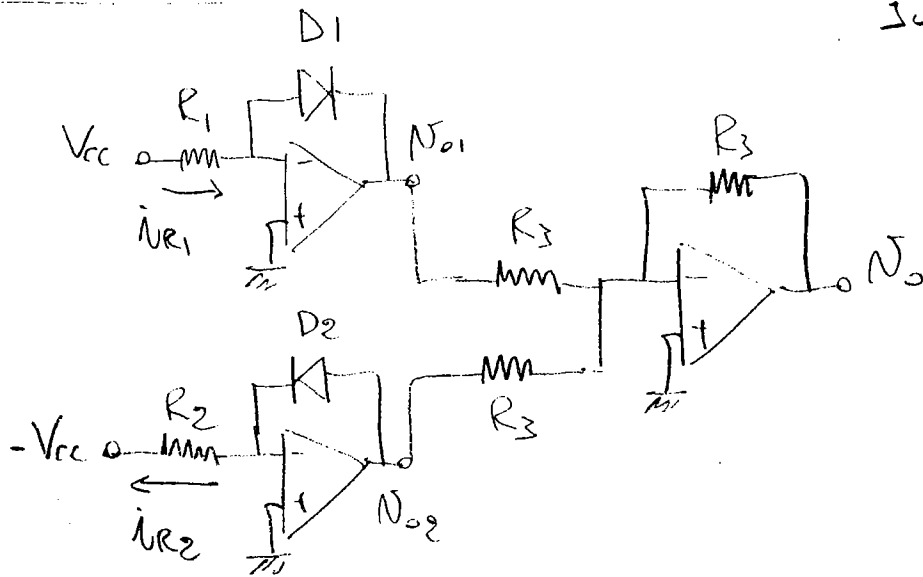


Problema I

EXAMEN
ELECTRÓNICA I

JULIO/2007

4/7



a)

$$i) \quad N_{01} = -N_{D1} = -V_T L_m \left(\frac{I_{D1}}{I_S} \right) \Rightarrow N_{01} = -V_T L_m \left(\frac{V_{cc}}{R_1 I_S} \right)$$

$$I_{D1} = i_{NR1} = \frac{V_{cc}}{R_1}$$

$$N_{02} = N_{D2} = V_T L_m \frac{I_{D2}}{I_S} \Rightarrow N_{02} = V_T L_m \left(\frac{V_{cc}}{R_2 I_S} \right)$$

$$i_{NR2} = \frac{0 - (-V_{cc})}{R_2} = \frac{V_{cc}}{R_2}$$

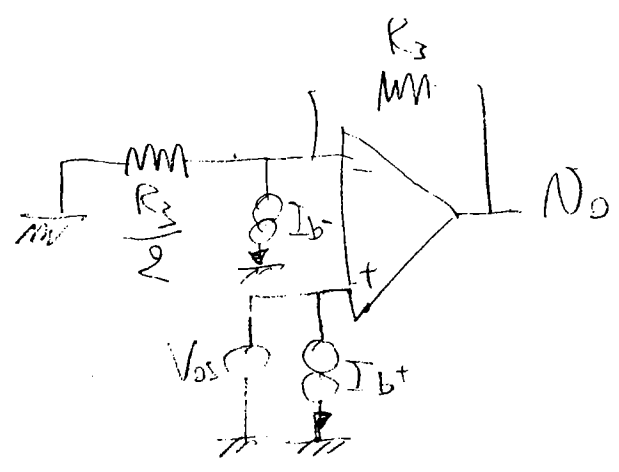
$$N_0 = -N_{01} - N_{02} = V_T \left[L_m \left(\frac{V_{cc}}{R_1 I_S} \right) - L_m \left(\frac{V_{cc}}{R_2 I_S} \right) \right] = V_T L_m \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$\Rightarrow N_0 = V_T L_m \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$ii) \quad N_0 = \frac{kT}{q} L_m \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \Rightarrow \frac{k}{q} \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right) = 2 \times 10^{-4} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = e^{\frac{q}{k} \cdot 2 \times 10^{-4}}$$

$$\Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 10,16$$

b) i)

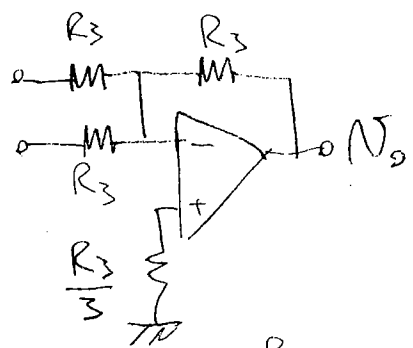


$R_3 = 100 \Omega$

$$N_o^{err} = R_3 I_{b^-} + V_{os} \left(1 + \frac{R_3}{R_3/2} \right) = R_3 I_{b^-} + 3 V_{os}$$

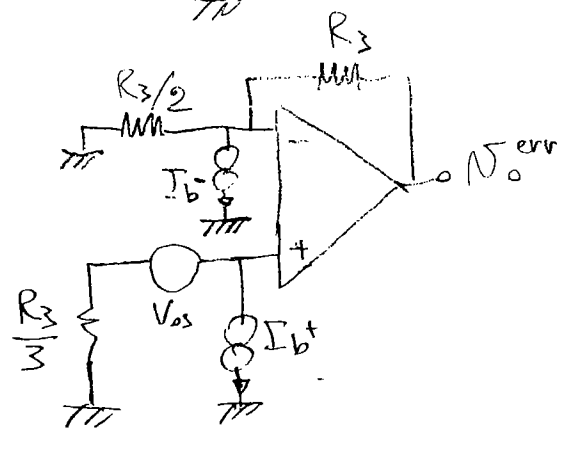
\Rightarrow peor caso $I_{b^-} = I_B + \frac{I_{off}}{2} = 115 \mu A$
 $V_{os} = 4 \text{ mV}$ $\Rightarrow N_o^{err} = 23,5 \text{ mV}$

ii)



Pongo en la entrada e^+ del operacional una resistencia igual a la vista por la entrada e^- .

iii)



$V_{os} \neq 0 \Rightarrow N_o = V_{os} \left(1 + \frac{R_3}{R_3/2} \right) = 3 V_{os}$

$I_{b^-} \neq 0 \Rightarrow N_o = R_3 I_{b^-}$

$I_{b^+} \neq 0 \Rightarrow N_o = -\frac{R_3}{3} \cdot I_{b^+} \left(1 + \frac{R_3}{R_3/2} \right) = -R_3 I_{b^+}$

$\Rightarrow N_o = 3 V_{os} + R_3 (I_{b^-} - I_{b^+}) = 3 V_{os} + R_3 I_{off}$

$\Rightarrow N_o^{err} = 15 \text{ mV}$



Pablo Castro

i)

en DC: $V_{B1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{10K}{56K + 10K} \times 15V = 2.27V$

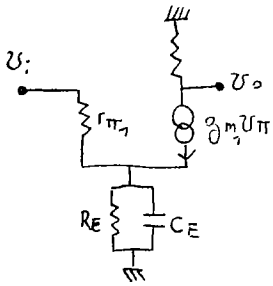
$I_{C1} = \frac{V_{B1} - V_{BE}}{R_E} = \frac{2.27V - 0.7V}{2.2K\Omega} = 0.71mA$

$r_{\pi 1} = \frac{\beta V_T}{I_{C1}} = 3.7K\Omega$, $g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 0.027\Omega^{-1}$

$(i_{b1} = i_{c1}/\beta = 7.1\mu A \ll I_{R1, R2} = 0.23mA)$

en AC:

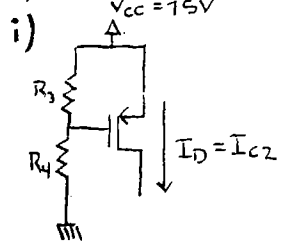
$G_{\omega} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-\beta R_C}{r_{\pi 1} + (\beta + 1)R_E // (1/C_E)} = \frac{-\beta R_C (R_E C_E \omega + 1)}{r_{\pi 1} (R_E C_E \omega + 1) + (\beta + 1)R_E} \xrightarrow{C_E \rightarrow \infty} \frac{-\beta R_C}{r_{\pi 1} R_E} = -g_{m1} R_C$



$\Rightarrow G_{\omega} = -g_{m1} R_C = -127 V/V$

ii) $R_{in, \omega} = R_1 // R_2 // r_{\pi 1} = 56K\Omega // 10K\Omega // 3.7K\Omega \Rightarrow R_{in, \omega} = 2.58K\Omega$

b)



$I_D = \frac{\beta_{M1}}{2(1 + \delta)} (V_{GS} - V_t)^2$

$\delta = 0 \Rightarrow V_t = |V_{t0}| = 1.2V$

$I_D = \frac{0.1mA/V^2}{2} (15V - V_G - 1.2V)^2$

$\frac{15V - V_G}{R_3} = \frac{V_G}{R_4} \Rightarrow V_G = 7.5V \Rightarrow I_D = I_{C2} = 2mA$

H) saturación: * $V_{GS} > V_t \Rightarrow V_{GS} = 15V - 7.5V = 7.5V > V_t = 1.2V \checkmark$

* $V_{SD} > \frac{V_{GS} - V_t}{(1 + \delta)} = V_{GS} - V_t \Rightarrow V_{SD} = 15V - (-6.8V) = 21.8V$
 $V_{GS} - V_t = 6.3V < V_{SD} \checkmark$

i) Consideremos la nueva etapa:

en DC: $\frac{-V_{B2}}{R_5} = \frac{V_{B2} - V_{EE}}{R_6} \Rightarrow V_{B2} = \frac{V_{EE}}{2} = -7.5V \Rightarrow V_{E2} = -6.8V$

$r_{\pi 2} = \frac{\beta V_T}{I_{C2}} = 1.3K\Omega$

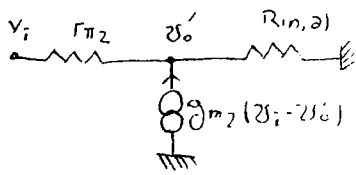
$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = 0.077\Omega^{-1}$

$i_{b2} = i_{c2}/\beta = 20\mu A \ll I_{R5, R6} = 455\mu A$



ii) cont)

en AC:



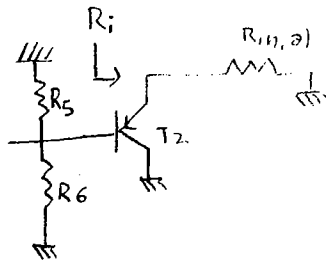
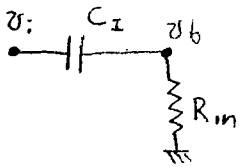
$$\Rightarrow (v_i - v_o') \left(g_{m2} + \frac{1}{r_{\pi 2}} \right) = \frac{v_o'}{R_{in,2}} \Rightarrow$$

$$g_{m2} + \frac{1}{r_{\pi 2}} = g_{m2} \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \approx g_{m2} \text{ pues } \beta \gg 1$$

$$\Rightarrow v_i = v_o' \left(\frac{1}{R_{in,2}} \cdot \frac{1}{g_{m2}} + 1 \right) \approx v_o'$$

$$\Rightarrow G_b) = \left(\frac{v_i}{v_o'} \right) \cdot \left(\frac{v_o'}{v_o} \right) = G_a) = -127 \text{ V/V} \Rightarrow \boxed{G_b) = -127 \text{ V/V}}$$

iii)



$$\Rightarrow R_i = R_{in,2} (\beta + 1) + r_{\pi 2} \approx R_{in,2} (\beta + 1)$$

$$R_{in} = R_5 // R_6 // R_i$$

$$\Rightarrow R_{in} = R_5 // R_6 // R_{in,2} (\beta + 1) \approx R_5 // R_6 = 16.5 \text{ k}\Omega$$

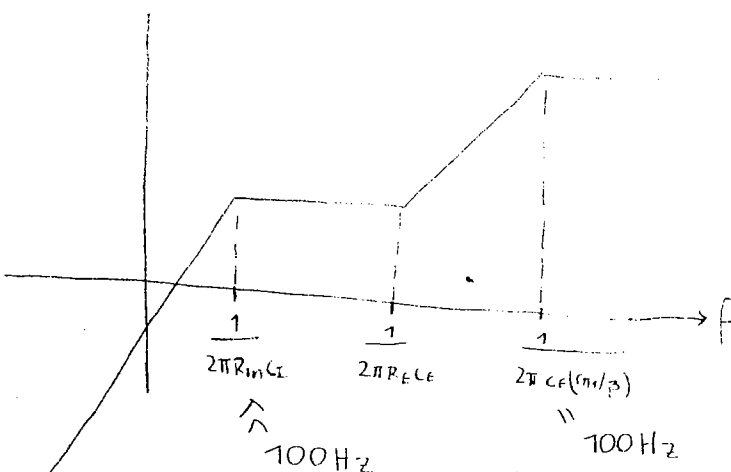
$$\frac{v_b}{v_i} = \frac{R_{in} C_I s}{R_{in} C_I s + 1} \Rightarrow \text{efecto de } C_I: \rightarrow \text{cero en } f_0 = 0$$

$$\rightarrow \text{polo en } f_{cI} = \frac{1}{2\pi R_{in} C_I}$$

$$\text{como: } G_a) = \frac{-\beta R_C (R_E C_E s + 1)}{r_{\pi 1} (R_E C_E s + 1) + (\beta + 1) R_E}$$

el efecto de C_E , es el siguiente: \rightarrow cero en $f_{E1} = 1/2\pi R_E C_E$
 \rightarrow polo en $f_{E2} = 1/2\pi C_E (r_{\pi 1}/\beta)$

Como $r_{\pi 1}/\beta = g_{m1} \ll R_{in,1}/\beta$ conviene tomar $f_{E2} = 100 \text{ Hz} \Rightarrow f_{E1} \ll f_{E2}$
 $\gamma f_{cI} \ll 100 \text{ Hz}$



$$\Rightarrow \frac{1}{2\pi C_E (r_{\pi 1}/\beta)} = 100 \text{ Hz} \Rightarrow \boxed{C_E = 43 \mu\text{F}}$$

$$\frac{1}{2\pi R_{in} C_I} \ll 100 \text{ Hz} \Rightarrow \boxed{C_I \gg 96.5 \text{ nF}}$$

