

EXAMEN DE ELECTRONICA 1
25/07/12

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 (40 puntos)

En el circuito de la Figura 1, I_i , V_{CC} y R_L son tales que los transistores operan en zona activa.

- Determinar la diferencia entre I_o e I_i en función de I_i (a los efectos de esta parte se despreciará el efecto Early en los transistores).
- Determinar la resistencia de salida R_{o1} .

En el circuito de la Figura 2, I_i , V_{CC} y R_L son tales que los transistores operan en zona activa y el amplificador operacional se considerará con ganancia finita A e ideal en lo que respecta al resto de sus características, salvo donde se indique lo contrario.

- Determinar la diferencia entre I_o e I_i en función de I_i (a los efectos de esta parte se despreciará el efecto Early en los transistores).
- Si el amplificador tiene corriente de polarización I_{BIAS} y corriente de offset I_{OFFSET} , ¿cómo cambia el resultado de la parte c) ?
- Determinar la resistencia de salida R_{o2} .
- ¿Qué condiciones deben cumplir el rango de entrada de modo común ICMR del amplificador y su excursión de salida (output swing OSW) para que el circuito funcione como se consideró en la partes anteriores si I_i varía entre $I_{i\min}$ e $I_{i\max}$ y R_L varía entre $R_{L\min}$ y $R_{L\max}$?

DATOS: $Q1 \equiv Q2$ con parámetros β , V_{BE} , V_{CESAT} y V_A (**FINITA**, salvo donde se indique lo contrario).

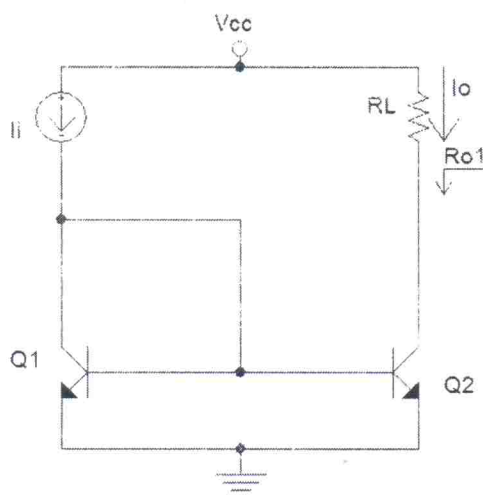


Figura 1

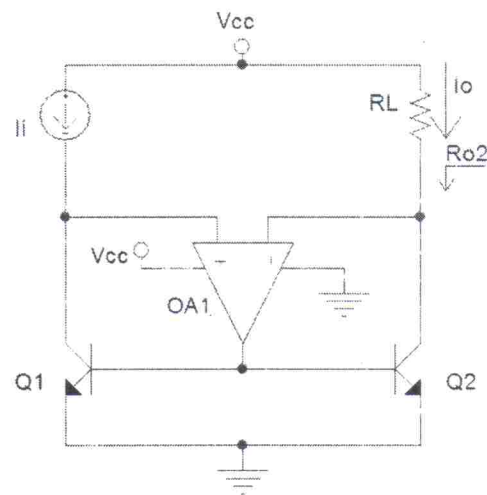


Figura 2

PROBLEMA 2 (40 puntos)

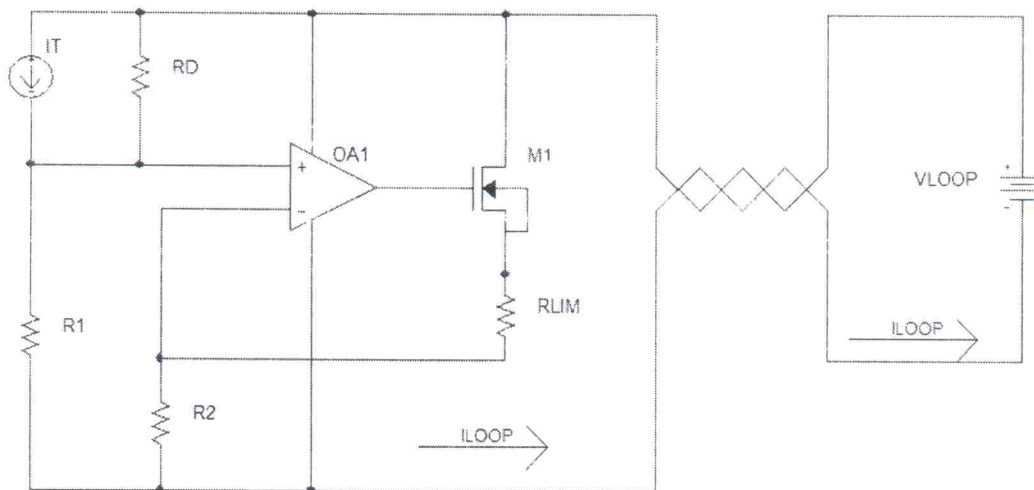
El circuito de la figura representa un sistema industrial de sensado de temperatura y comunicación de datos a distancia a través de un loop de corriente conocido como 4-20. El sistema consta en un extremo de un sensor de temperatura, representado en este caso por una fuente de corriente que entrega un corriente $I_T = k_T(T - T_0)$, donde T es el valor de temperatura en el sensor. En el otro extremo, del lado del controlador, una fuente de tensión (V_{LOOP}) alimenta el sensor y el resto de la circuitería y sensa la corriente del loop I_{LOOP} .

El circuito de comunicación de datos, compuesto por el resto de los componentes del lado del sensor asegura que cuando la corriente del sensor es 0 (es decir $T = T_0$), $I_{LOOP} = 4\text{mA}$ y cuando el sensor llega al fondo de escala, $I_{LOOP} = 20\text{mA}$.

- Determine el valor de R_1 para que $I_{LOOP} = 10I_T$, donde I_{RD} es la corriente por la resistencia R_D .
- Determine el valor de R_D para que cuando $T = T_0$, $I_{LOOP} = 4\text{mA}$.
- La función de R_{LIM} es asegurar que en ningún caso la corriente I_{LOOP} supere un valor máximo. Determine el valor de R_{LIM} para que I_{LOOP} nunca supere los 22 mA, considerando como peor caso que la salida del operacional OA1 es igual a la alimentación del mismo.
- Para el valor de R_{LIM} calculado en la parte c) ¿Qué condición debe cumplir el límite inferior del Output Swing del amplificador OA1 para garantizar un correcto funcionamiento del circuito ?
- Si el amplificador OA1 tiene un offset $V_{OFF} = 5\text{mV}$ y corrientes de polarización despreciables, calcule en el peor caso el error relativo en el valor de I_{LOOP} .

Datos:

- $V_{LOOP} = 5\text{V}$, $R_2 = 25\ \Omega$
- El consumo de corriente del amplificador OA1 es mucho menor a 4 mA. El amplificador es ideal excepto en lo que se indique en la letra.
- M1: $V_t = 1\text{V}$, $\beta = 100\text{ mA/V}^2$, $\delta = 0.4$, Tensión de Early $V_A = \infty$

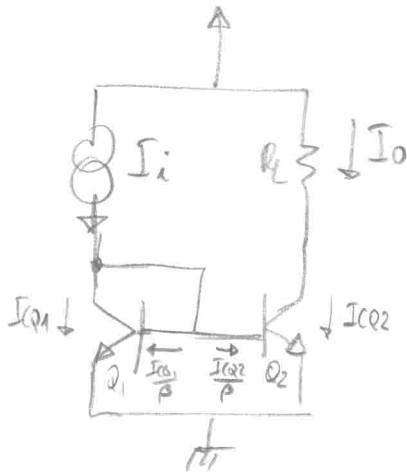


PREGUNTA (20 puntos)

- Para un par diferencial con transistores bipolares y fuente de corriente de valor I_o , deducir el rango de tensiones de entrada v_i en que el mismo opera linealmente, definiendo como esto a el rango en que la corriente por los transistores varía entre el 10% y el 90% de su valor máximo.
- Indique que modificación al par diferencial se analizó en el curso para incrementar este rango lineal.

1

a)



$$I_i = \frac{I_{CQ1}}{\beta} + \frac{I_{CQ2}}{\beta} + I_{CQ1}$$

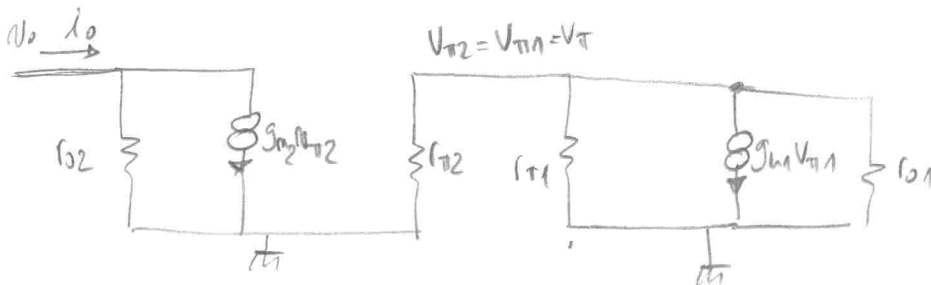
$$V_{BE} = V_{BE1} = V_{BE2} \Rightarrow I_{CQ1} = I_{CQ2} = I_S e^{V_{BE}/V_T}, \quad I_{CQ2} = I_o \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_i = I_o \left(\frac{2}{\beta} + 1 \right) \Rightarrow I_o = \frac{\beta}{\beta+2} I_i, \quad \text{observar que si } \beta \gg 2 \quad I_o = I_i$$

$$I_o - I_i = \frac{\beta}{\beta+2} I_i - I_i = \frac{\beta - (\beta+2)}{\beta+2} I_i \Rightarrow \boxed{I_o - I_i = \frac{-2}{\beta+2} I_i}$$

↳ ERROR EN LA COPIA

b)



$$R_{o1} = \frac{v_o}{i_o}$$

por lo que $r_{o1} = r_{o2}$

$$I_o \approx I_i \Rightarrow g_{m1} = g_{m2} \text{ y } r_{\pi1} = r_{\pi2}$$

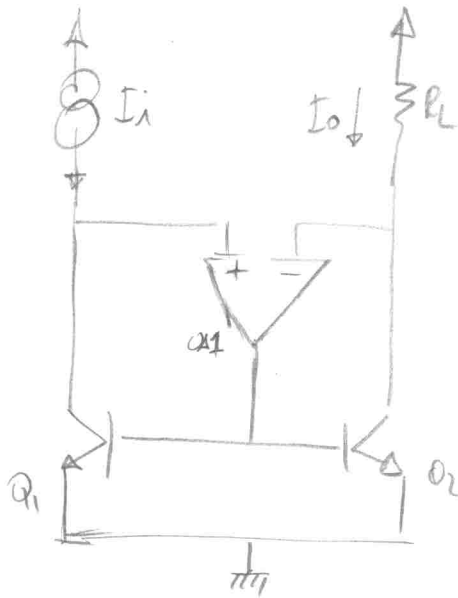
$$i_o = \frac{v_o}{r_o} + g_m v_{\pi}$$

$$\frac{-v_{\pi}}{r_{\pi}} = \frac{v_{\pi}}{r_{\pi}} + g_m v_{\pi} + \frac{v_{\pi}}{r_o} \Rightarrow v_{\pi} = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{R_{o1} = r_o}$$

↘

1
c)

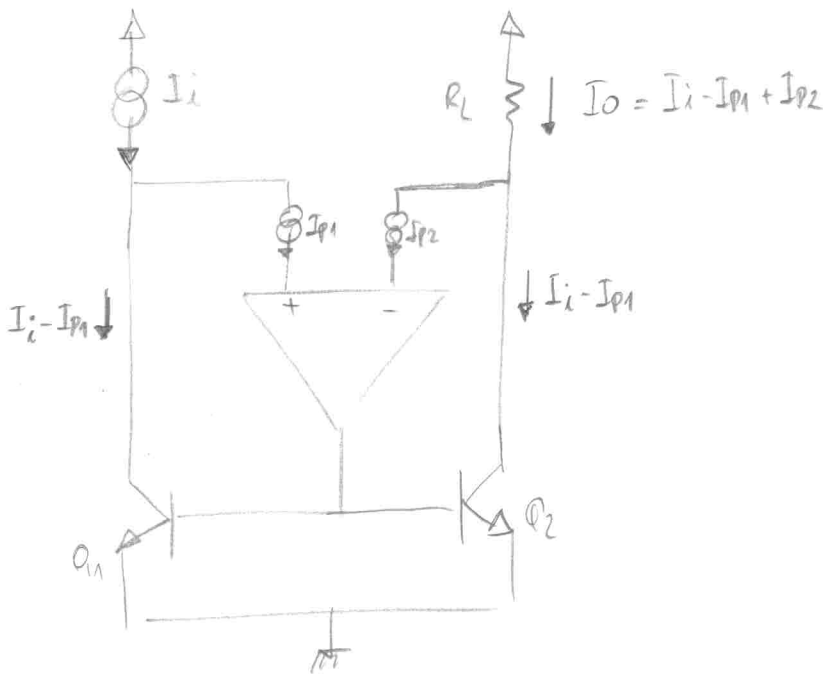


$V_{BE} = V_{BE1} = V_{BE2}$

OA1 ideal $\Rightarrow R_{in} = \infty \Rightarrow I_{C1} = I_i = I_S e^{V_{BE}/V_T}$
 $I_{C2} = I_O = I_S e^{V_{BE}/V_T}$

$\Rightarrow \boxed{I_O - I_i = 0}$
 NO HAY ERROR EN LA CORRIENTE

d)



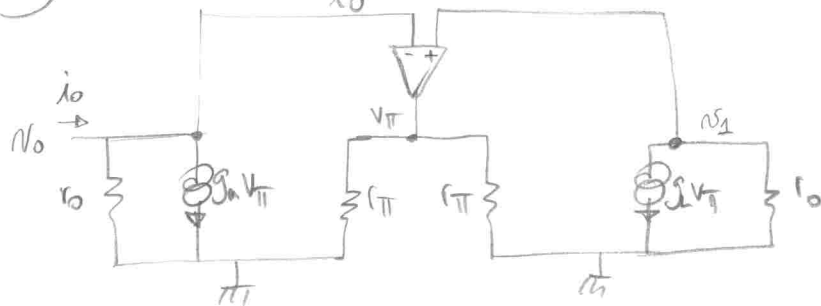
$I_{C2} = I_{C1} = I_i - I_{p1}$
 $I_O = I_i - I_{p1} + I_{p2}$

$\boxed{I_O - I_i = \pm I_{OFFSET}}$

[Handwritten signature]

1) e)

$$R_{o2} = \frac{V_o}{i_o}$$



$$\begin{aligned} r_{o1} &= r_{o2} = r_o \\ g_{m1} &= g_{m2} = g_m \\ r_{\pi1} &= r_{\pi2} = r_{\pi} \\ v_{\pi1} &= v_{\pi2} = v_{\pi} \end{aligned}$$

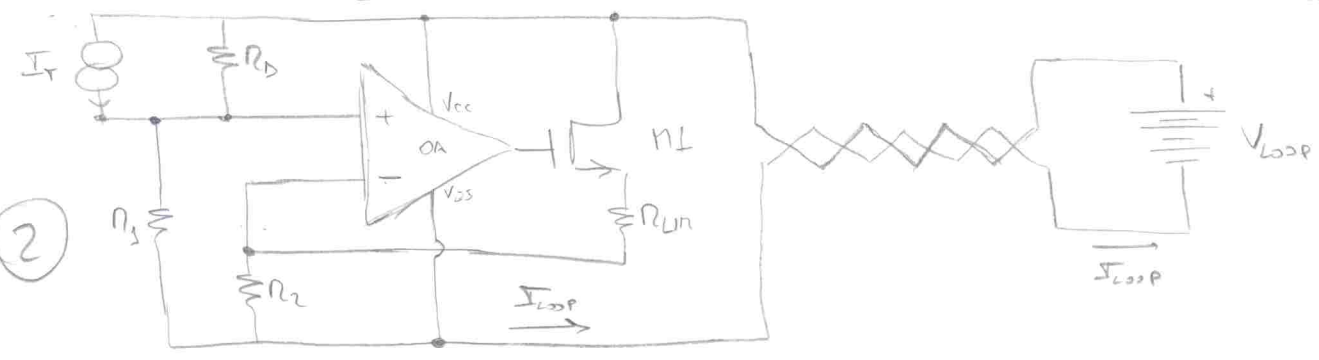
$$i_o = \frac{V_o}{r_o} + g_m v_{\pi}$$

$$\left. \begin{aligned} -\frac{V_{o1}}{r_o} &= g_m v_{\pi} \\ A(v_{\pi1} - v_{\pi2}) &= v_{\pi} \end{aligned} \right\} \Rightarrow A(-g_m r_o v_{\pi} - v_{o1}) = v_{\pi} \Rightarrow -A v_{o1} = (1 + g_m r_o A) v_{\pi}$$

$$\Rightarrow i_o = \frac{v_{o1}}{r_o} + g_m \frac{-A v_{o1}}{1 + g_m r_o A} = v_{o1} \cdot \frac{1 + g_m r_o A - g_m r_o A}{(1 + g_m r_o A) r_o} \Rightarrow \boxed{R_{o2} = r_o (1 + g_m r_o A)}$$

$$\begin{aligned} f) \quad V_{ce}^+ &= V_{ce}^- = V_{cc} - R_L I_o \Rightarrow |I_{CMR_{max}} \geq V_{cc} - R_{Lmin} \cdot I_{min}| \\ &\Rightarrow |I_{CMR_{min}} \leq \max\{V_{cc} - R_{Lmax} I_{max}, V_{CESATQ2}\}| \end{aligned}$$

$$V_{ce}^{OA} = V_{BQ} = V_{BE} \Rightarrow \boxed{V_{BE} \in OSW}$$



2

(a) Por similitud virtual: $V_{R1} = V_{R2} \Rightarrow (I_T + I_{RD})R_1 = I_{D1}R_2 \Rightarrow$

$I_{loop} = I_T + I_{RD} + I_{D1} \Rightarrow I_{D1} = I_{loop} - (I_T + I_{RD})$

$\Rightarrow I_{loop} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) (I_T + I_{RD})$

$\Rightarrow R_1 = 100 R_2 \Rightarrow \boxed{R_1 = 215 \text{ k}\Omega}$

(b) Si $V = V_0 \Rightarrow I_T = 0 \Rightarrow I_{RD} = I_{D1} \Rightarrow I_{RD} = \frac{V_{loop}}{R_D + R_L}$

$\Rightarrow I_{loop} = 101 \cdot \frac{V_{loop}}{R_D + R_L} \Rightarrow R_D = 101 \cdot \frac{V_{loop}}{I_{loop}} - R_L$

$\Rightarrow \boxed{R_D = 123,75 \text{ k}\Omega}$

(c) $I_{loop} = 101 (I_T + I_{RD}) \Rightarrow I_{loop} = \frac{101}{100} I_{D1} \leq I_{D1}$

$V_{GS1} \leq V_{loop}$ (por CSS)

$\Rightarrow V_{loop} \leq V_{GS1} + I_{D1} R_{lim} + I_{loop} R_2 \cong V_{GS1} + I_{loop} (R_{lim} + R_2)$

$V_{GS1} = V_t + \sqrt{\frac{2(1+\beta) I_{loop} R_2}{\beta}}$

$\Rightarrow R_{lim} \geq \frac{V_{loop} - V_t - \sqrt{\frac{2(1+\beta) I_{loop} R_2}{\beta}}}{I_{loop} R_2} \Rightarrow \boxed{R_{lim} \geq 121,1 \text{ }\Omega}$

2 (sigue)

(d) para CSS $V_{GSmin} \rightarrow I_{Loopmin}$

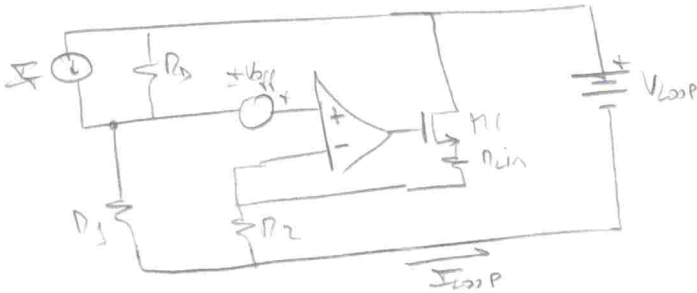
$$\Rightarrow OSW_{inf} \leq V_{GS} + I_{Loopmin} (R_{Lin} + R_2)$$

($I_{Loop} \approx I_{DS}$)

$$\Rightarrow OSW_{inf} \leq V_E + \sqrt{2(SV_D)I_{Loopmin}} + I_{Loopmin} (R_{Lin} + R_2)$$

$$\Rightarrow \boxed{OSW_{inf} = 1,92 V}$$

(e)



Alors :

$$\bullet (I_T + I_{RD}) R_1 = \pm V_{off} + I_{DS} R_2$$

$$\bullet I_{D1} = I_{Loop} - (I_T + I_{RD})$$

$$\Rightarrow I_{Loop} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) (I_T + I_{RD}) \pm \frac{V_{off}}{R_2} = I_{Loop}^{ideal} \pm \frac{V_{off}}{R_2}$$

$$\Rightarrow \epsilon_{NS} = 1 \pm \frac{V_{off}}{R_2 I_{Loop}} \xrightarrow{\text{para CSS}} \epsilon_{NS} = 1 \pm \frac{V_{off}}{R_2 I_{Loopmin}}$$

$$\left(\frac{I_{Loop} - I_{Loop}^{ideal}}{I_{Loop}^{ideal}} \right)$$

$$\Rightarrow \boxed{|\epsilon_{NS}|_{max} = 5\%}$$