

Examen de Electrónica Avanzada 1
08/02/2021

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas y media.

La prueba es **sin material** e **individual**.

Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1: (38 puntos)

Para el circuito de la Figura:

- Identifique cual es la pata no inversora.
- Calcule la ganancia diferencial.
- Calcule la resistencia de entrada diferencial del circuito.
- Determine el rango de entrada en modo común.

Para las partes a), b) y c) suponer que las tensiones de continua y el modo común de V1 y V2 son tales que todos los transistores trabajan en zona activa

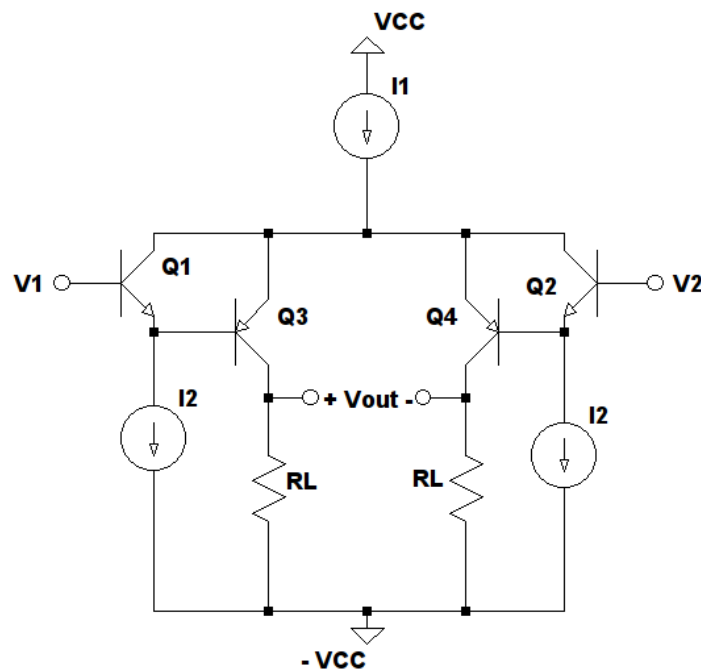
Datos:

Para todos los transistores $\beta = 200$, $V_{BE} = V_{EB} = 0,7 \text{ V}$, $V_{CESAT} = V_{ECSAT} = 0,3 \text{ V}$.

$VCC = |-VCC| = 10\text{V}$.

$R_L = 5 \text{ k}\Omega$.

$I_1 = 4\text{mA}$, $I_2 = 1\text{mA}$. Ambas fuentes necesitan una tensión mínima de $V_1 = 1 \text{ V}$ para funcionar correctamente.



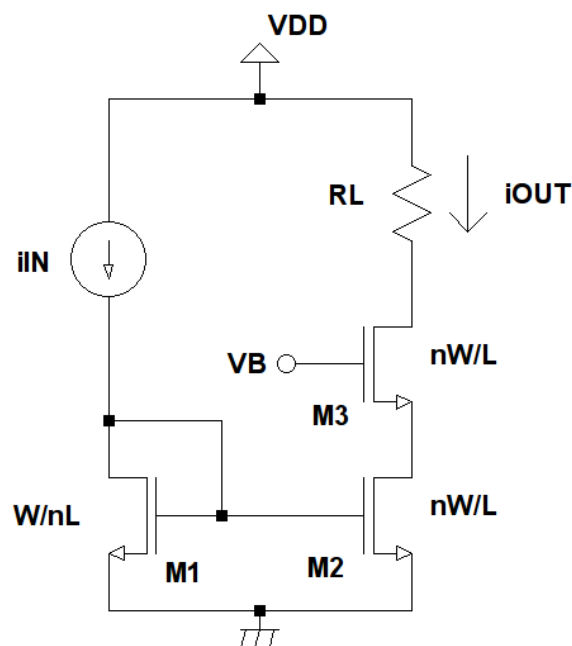
Problema 2: (36 puntos)

El circuito de la Figura es un espejo de corriente con relación de copia no unitaria. La fuente de corriente i_{IN} tiene una componente dc llamada I_{DC} y una componente de señal llamada i_s .

- a) Determine i_{out}/i_s , la razón de copia del espejo a baja frecuencia, donde i_{out} es la componente de señal a la salida.
- b) Determine la expresión literal y el valor numérico de la frecuencia de caída de -3 dB del circuito.

Datos:

- $n = 3$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$, $I_{DC} = 50 \text{ }\mu\text{A}$.
- Las tensiones V_{DD} y V_B son fijas y tales que todos los transistores operan en saturación.
- $W = 60 \text{ }\mu\text{m}$, $L = 20 \text{ }\mu\text{m}$, $\delta = 0$, $V_A = \infty$.
- Capacidad de óxido por unidad de área: $C_{OX} = 5 \text{ mF/m}^2$, $\mu_n C_{OX} = 500 \text{ }\mu\text{A/V}^2$.
- Capacidades de overlap: $C_{gso} = C_{gdo} = 1 \text{ pF}$.
- Se desprecian las capacidades: C_{db} y C_{sb} .



Pregunta : (26 puntos)

- a) Para el circuito de la figura 1 calcule analíticamente, en función de los parámetros definidos en dicha figura, la tensión de salida $V_{out} = V_{out+} - V_{out-}$
- b) Que valor debería tomar VEE para que $V_{out} = V_{out+} - V_{out-}$ sea proporcional a la potencia consumida por el DUT.

Puede asumir en todo el problema que VCC, VCCH y VEE son tales que todos los transistores operan en zona activa. Q1, Q2, Q3 y Q4 son idénticos, con beta mucho mayor a 1, tensión de Early infinita y se cumple que la caída en Rshunt es mucho menor que $2V_T$.

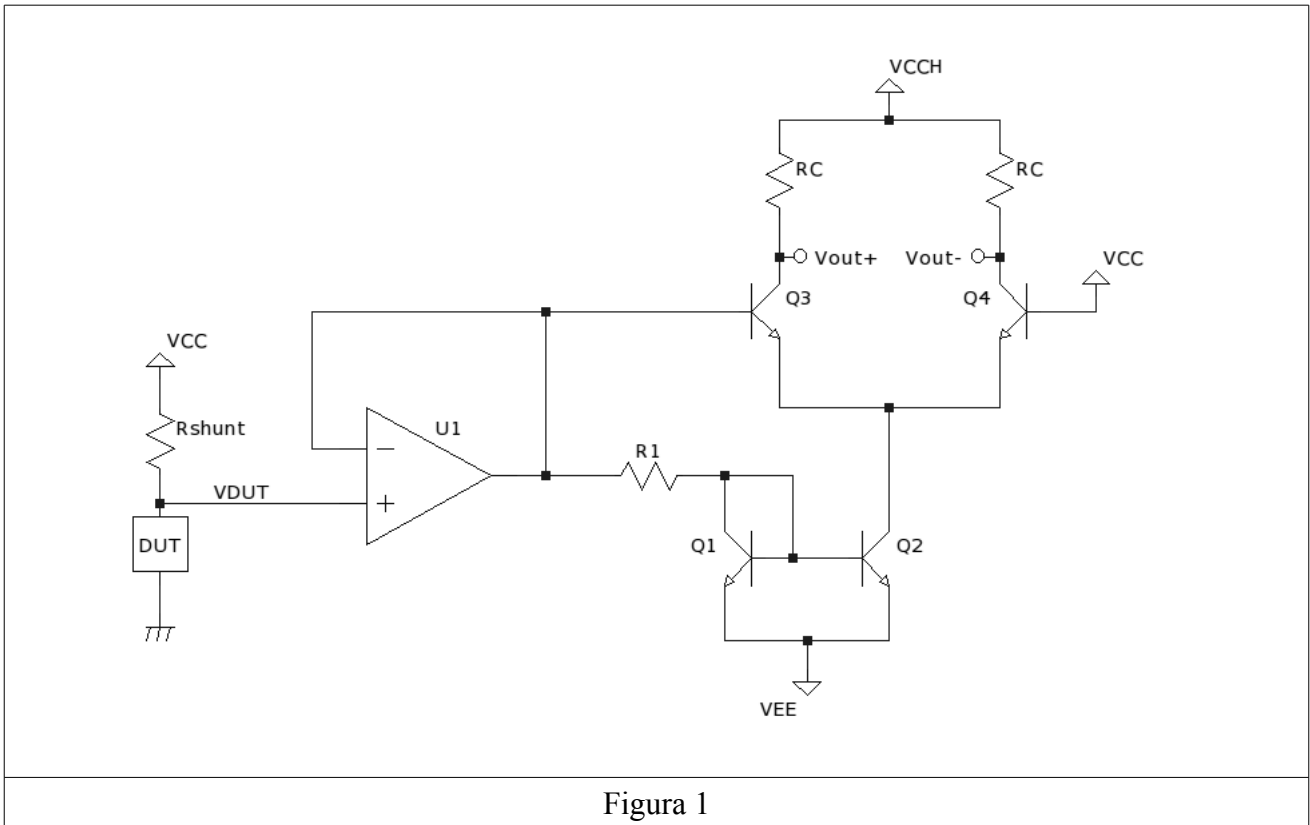
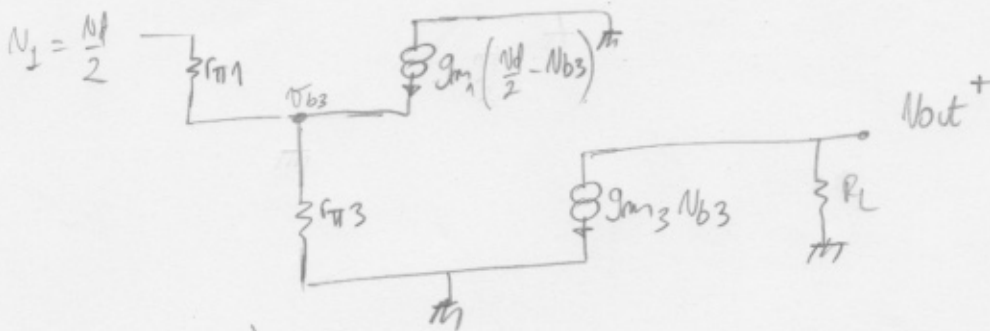


Figura 1

Problema 1:

- (a) si $N_1 \uparrow$ ($N_2 \downarrow$) \Rightarrow $I_{\phi 3} \uparrow$ ($I_{\phi 2} \downarrow$) \Rightarrow $I_{\phi 3} \uparrow$ ($I_{\phi 2} \downarrow$) \Rightarrow
 $\Rightarrow N_0^+ \downarrow$ ($N_0^- \uparrow$) \Rightarrow N_2 es la parte no inversora

(b) Por simetría parto a la mitad:



* $\frac{N_1/2 - N_{b3}}{r_{\pi 1}} + g_{m1} \left(\frac{N_d}{2} - N_{b3} \right) = \frac{N_{b3}}{r_{\pi 3}} \Rightarrow g_{m1} \frac{N_d}{2} = \left(g_{m1} + \frac{1}{r_{\pi 3}} \right) N_{b3} \Rightarrow \frac{N_{b3}}{N_d} = \frac{1}{2} \frac{g_{m1} r_{\pi 3}}{g_{m1} r_{\pi 3} + 1}$
 seguir si $g_{m1} r_{\pi 3} \gg 1$

* $-\frac{N_{out}^+}{R_L} = g_{m3} N_{b3} \Rightarrow \frac{N_{out}^+}{N_{b3}} = -g_{m3} R_L \Rightarrow \frac{N_{out}^+}{N_d} = \frac{-g_{m3} R_L g_{m1} r_{\pi 3}}{2(g_{m1} r_{\pi 3} + 1)}$

Análogamente: $\frac{N_{out}^-}{N_d} = \frac{1}{2} \frac{g_{m2} R_L g_{m2} r_{\pi 3}}{g_{m2} r_{\pi 3} + 1}$

$\Rightarrow \left| \frac{N_{out}^+ - N_{out}^-}{N_1 - N_2} = \frac{-g_{m3} R_L \cdot g_{m1} r_{\pi 3}}{g_{m1} r_{\pi 3} + 1} \right|$



dc: $I_{CQ1} = I_{CQ2} = I_2 = 1 \text{ mA}$

$I_{CQ3} + I_{CQ4} = I_1 - 2I_2$

$I_{CQ3} = I_{CQ4}$

$\Rightarrow I_{CQ3} = I_{CQ4} = 1 \text{ mA}$

$\Rightarrow g_{m1} = g_{m3} = 0,038 \text{ e}^{-1}$

$r_{\pi 1} = r_{\pi 3} = 5,2 \text{ k}\Omega$

$\Rightarrow g_{m1} r_{\pi 1} \gg 1 \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{N_{out}^+ - N_{out}^-}{N_1 - N_2} = -g_{m3} R_L = 190 \frac{V}{V}$

(c) $R_{in}^{dt} = 2(r_{\pi 1} + \beta r_{\pi 3}) \Rightarrow \overset{r_{\pi 1} = r_{\pi 3}}{\beta \gg 1} R_{in}^{dt} = 2\beta r_{\pi 1} \Rightarrow R_{in} = 211 \Omega$

(d) $V_1 = V_2 = V_{cn}$, $V_I = 1 \text{ V}$ (tensión mínima de la fuente)

Hacia arriba: $V_{cn} - V_{BE1} + V_{CESAT1} + V_I < V_{CC} \Rightarrow V_{cn} < 9,4 \text{ V}$

$V_{cn} - V_{BE1} + V_{EB3} + V_I < V_{CC} \Rightarrow V_{cn} < 9 \text{ V}$

Hacia abajo:

$V_{cn} - V_{BE1} - V_I > -V_{CC} \Rightarrow V_{cn} > -7,2 \text{ V}$

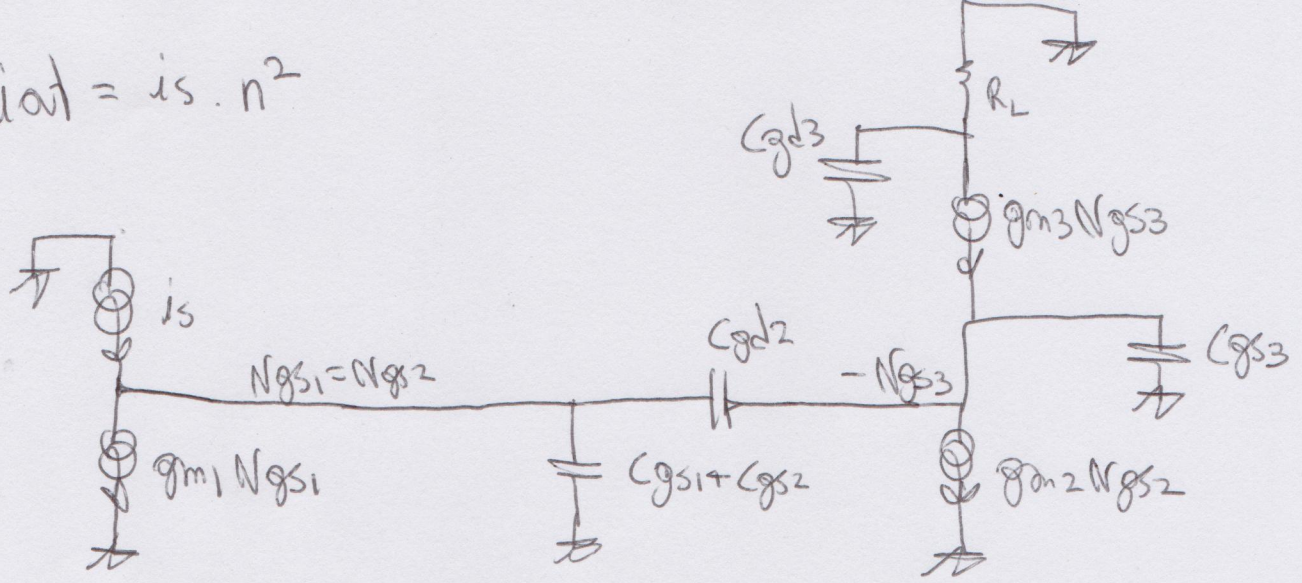
$V_{ECQ3} > V_{CESAT} \Rightarrow V_{cn} - (-V_{CC} + R_E I_1) > V_{CESAT} \Rightarrow V_{cn} > -4,7 \text{ V}$

$-4,7 \text{ V} < V_{CMR} < 9 \text{ V}$

f

$$\Rightarrow |a_v| = |a_s \cdot n^2|$$

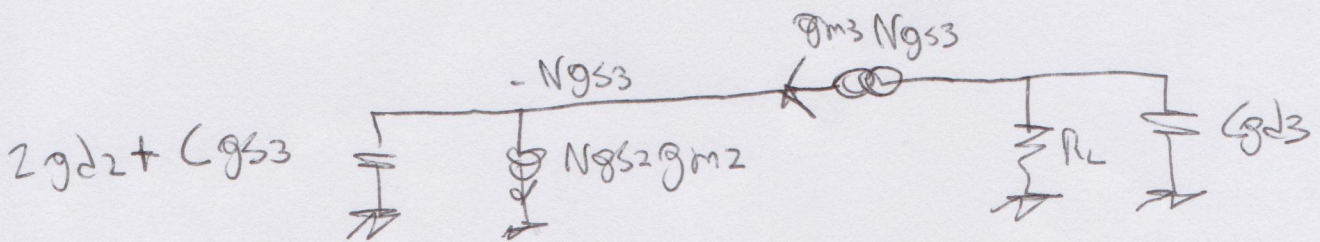
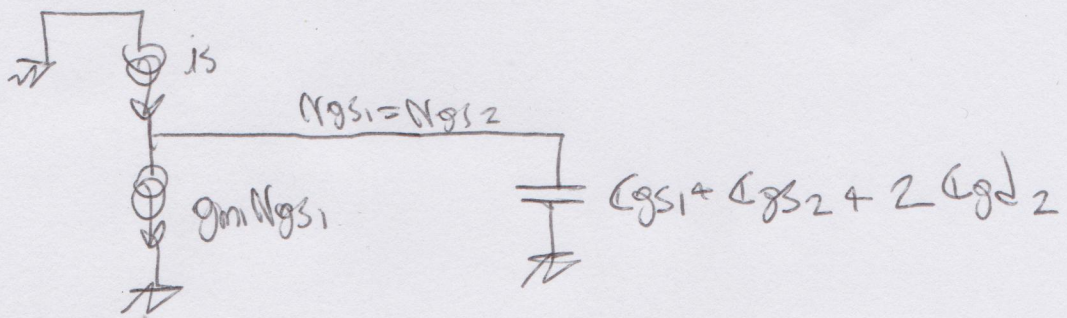
b)



Miller C_{gd2}

$$g_{m2} N_{gs2} = g_{m3} N_{gs3} \Rightarrow -\frac{N_{gs3}}{N_{gs2}} = -1$$

\Rightarrow



$$f_1 = \frac{g_{m1}}{2\pi (C_{gs1} + C_{gs2} + 2C_{gd2})}$$

$$f_2 = \frac{g_{m3}}{2\pi (2C_{gd2} + C_{gs3})}$$

$$f_3 = \frac{1}{2\pi R_L C_{gd3}}$$

$$g_{m1} = \sqrt{\frac{2I_{DQ}\beta_1}{(1+S)}} = 224 \mu S$$

$$\beta_1 = \mu C_{ox} \frac{W}{nL} = 500 \mu A/V^2$$

$$\beta_2 = \beta_3 = \beta_1 \cdot n^2$$

$$g_{m2} = g_{m3} = g_{m1} \cdot n^2 = 2 mS$$

$$C_{gs1} = \frac{2}{3} W \cdot n \cdot L \cdot C_{ox} + C_{gd0} = 13 pF$$

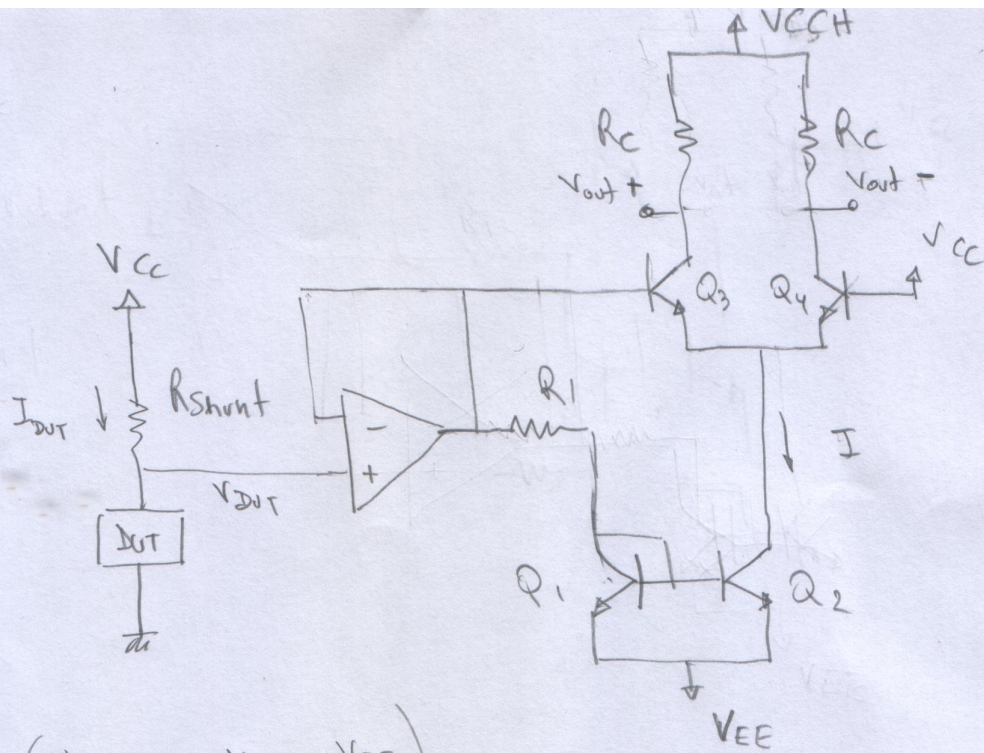
$$C_{gs2} = C_{gs3} = \frac{2}{3} n W \cdot L \cdot C_{ox} + C_{gd0} = 13 pF$$

$$C_{gd2} = C_{gd0} = 1 pF = C_{gd3}$$

$$\Rightarrow f_1 = 1.2 MHz$$

$$f_2 = 21 MHz$$

$$f_3 = 159 MHz$$



$$I = \left(\frac{V_{DUT} - V_{BE} - V_{EE}}{R_1} \right)$$

Si $R_{shunt} I_{DUT} \ll 2V_T$

$$V_{out}^+ = V_{cch} - \left(\frac{I}{2} + g_{m3} \cdot \frac{(V_{cc} - I_{DUT} \cdot R_{shunt} - V_{cc})}{2} \right) R_C$$

$$V_{out}^- = V_{cch} - \left(\frac{I}{2} - g_{m4} \cdot \frac{(V_{cc} - I_{DUT} \cdot R_{shunt} - V_{cc})}{2} \right) R_C$$

$$V_{out} = V_{out}^+ - V_{out}^- = g_{m_{3,4}} I_{DUT} R_{shunt} R_C$$

$$g_{m_{3,4}} = \frac{I}{2 V_T}$$

$$V_{out} = - \left(\frac{V_{DUT} - V_{BE} - V_{EE}}{R_1 \cdot 2 V_T} \right) \cdot I_{DUT} \cdot R_{shunt} \cdot R_C$$

$$P_{DUT} = V_{DUT} \cdot I_{DUT}$$

$$\Rightarrow \text{Si } V_{EE} = -V_{BE} \Rightarrow V_{out} = -V_{DUT} \cdot I_{DUT} \cdot \frac{R_{shunt} \cdot R_C}{R_1 \cdot 2 V_T} =$$

$$= -P_{DUT} \cdot \frac{R_{shunt} \cdot R_C}{R_1 \cdot 2 V_T}$$