

EXAMEN DE ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL

Resolver cada **problema en hojas separadas** y **escribiendo de un solo lado de la hoja**.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

En todas las partes se deberá fundamentar claramente la deducción que conduce al resultado para que el mismo sea considerado.

La prueba es **sin** material.

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

PROBLEMA 1 (40 puntos)

El circuito de la Figura 1 implementa un amplificador.

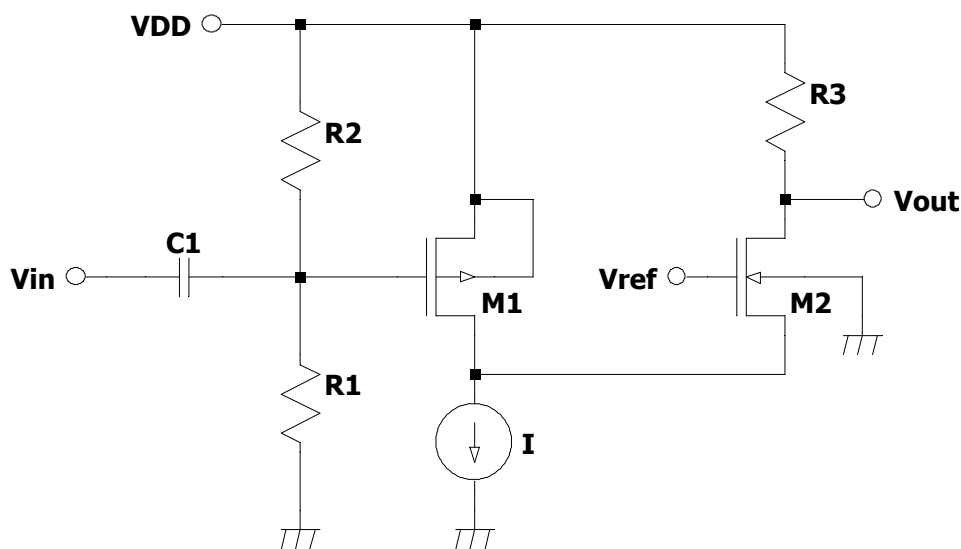


Figura 1

En el amplificador de la figura, determinar:

- La corriente de drain de polarización de todos los transistores, y la tensión de continua de todos los nodos del circuito.
- La ganancia V_{out}/V_{in} en banda pasante.
- La capacidad $C1$ para que la frecuencia de corte inferior del amplificador sea 50 Hz.

Datos:

$V_{DD}=10\text{ V}$, $V_{ref}=5\text{ V}$

$I=1.5\text{ mA}$

$R1=27\text{ k}\Omega$, $R2=33\text{ k}\Omega$, $R3=4.7\text{ k}\Omega$

$V_{t0n}=0.6\text{ V}$, $\beta_n=200\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $\delta_n=0.3$, $V_{An}=\infty$

$V_{t0p}=-0.6\text{ V}$, $\beta_p=100\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $\delta_p=0.2$, $V_{Ap}=\infty$

PROBLEMA 2 (40 puntos)

El circuito de la Figura 2 es un amplificador de instrumentación.

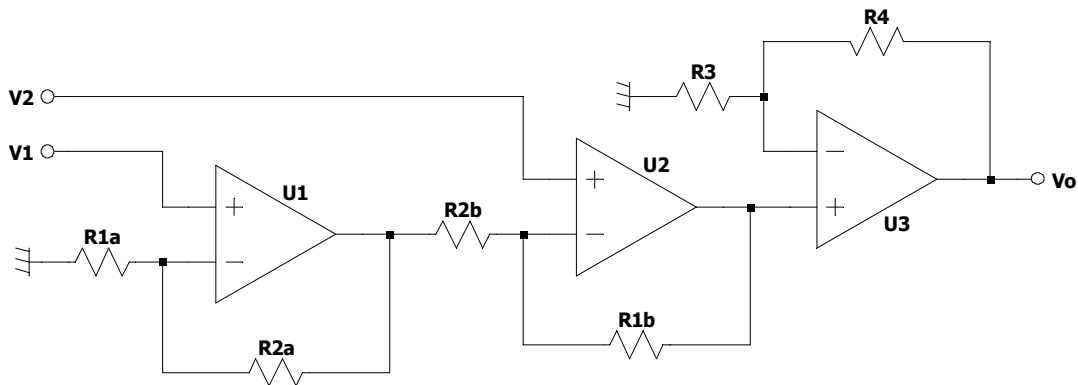


Figura 2

Para todo el problema $R1 = 3 \cdot R2$ y $R4 = 50 \cdot R3$.

Para las partes a), b) y c) se considera que $R1a = R1b = R1$ y $R2a = R2b = R2$.

Observar, a los efectos de no cometer un error, que en la Fig. 2, las resistencias $R1a$ y $R1b$ y $R2a$ y $R2b$, NO se ubican igual en los circuitos implementados con el operacional $U1$ y con el operacional $U2$.

Todos los amplificadores operacionales son iguales.

En todos los casos se deberá fundamentar claramente la respuesta.

- a) Calcular la ganancia diferencial, ganancia en modo común y CMRR si los amplificadores operacionales se consideran ideales.
- b) Si los amplificadores operacionales son ideales salvo que tienen frecuencia de transición f_T y ganancia en baja frecuencia A_0 muy grande, ¿cuál será la frecuencia de corte superior de la ganancia diferencial ?
- c) Si la señal diferencial de entrada es una senoide con amplitud A y los operacionales son ideales salvo por tener slew rate SR , ¿cuál será la máxima frecuencia que se puede utilizar de la senoide de entrada para que la salida no tenga distorsión ?
- d) Se considera ahora el caso en $R1a = 1.05 \cdot R1$, $R1b = 0.95 \cdot R1$, $R2a = 0.95 \cdot R2$ y $R2b = 1.05 \cdot R2$, los amplificadores operacionales se suponen ideales y se conectan a la entrada las señales vruído y vsensor como se muestra en la Fig. 3. Calcular la ganancia diferencial, la ganancia en modo común, el CMRR y la señal de salida en función de vruído y vsensor.

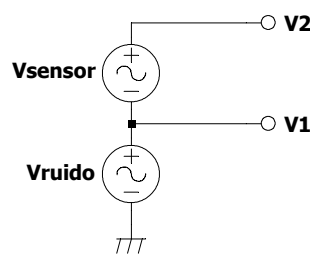


Figura 3

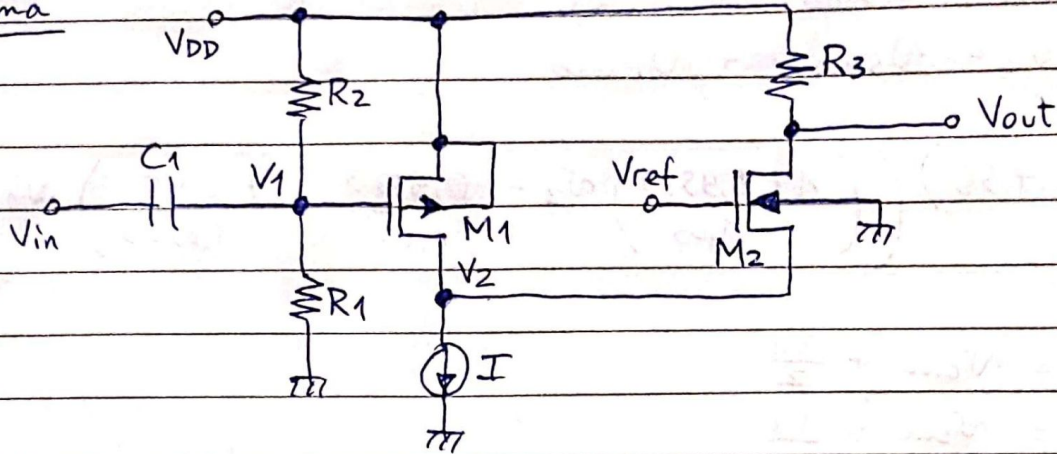
PREGUNTA (20 puntos)

Se tiene una juntura p-n de silicio en la que se sabe que, estando en circuito abierto, en las zonas neutras, fuera de la zona de cargas fijas, la concentración de portadores minoritarios es de 2.1×10^5 portadores/cm³ del lado p y de 6.3×10^5 portadores/cm³ del lado n. Esto ocurre a una temperatura en que la concentración de portadores en el silicio intrínseco n_i vale 7.9×10^{10} portadores/cm³.

En todos los casos fundamente la respuesta.

- a) Indicar que dopaje se tiene en la zona p y en la zona n de la juntura.
- b) En esta juntura en circuito abierto, cuál es la relación entre el ancho de la zona de cargas fijas (o “deplexión”) del lado n y el ancho de esta zona del lado p. Indicar de qué lado se tienen cargas positivas y de qué lado se tienen cargas negativas en la zona de cargas fijas.
- c) Si se aplica a esta juntura una tensión en inverso, indicar:
 - i) De qué lado se tiene que conectar el borne positivo de la fuente y de qué lado el borne negativo.
 - ii) Al aplicar esta tensión en inverso, indicar que se espera que ocurre con el ancho total de la zona de cargas fijas y la capacidad asociada a esta zona (capacidad de “deplexión”), indicando para cada una de estas magnitudes si se espera que disminuyan, queden igual o aumenten respecto al caso de circuito abierto.

Problema



$$a) \quad V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} = \boxed{4,50 \text{ V}}$$

$$I_{D1} = \frac{\beta_p}{2(1 + \delta_p)} (V_{DD} - V_1 - |V_{top}|)^2 = \boxed{1,00 \text{ mA}}$$

$$I_{D2} = I - I_{D1} = \boxed{500 \mu\text{A}}$$

$$I_{D2} = \frac{\beta_n}{2(1 + \delta_n)} (V_{ref} - V_{ton} - (1 + \delta_n)V_2)^2$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{1}{1 + \delta_n} \left(V_{ref} - V_{ton} - \sqrt{\frac{2 I_{D2} (1 + \delta_n)}{\beta_n}} \right) = \boxed{1,42 \text{ V}}$$

$$V_{out} = V_{DD} - R_3 I_{D2} = \boxed{7,65 \text{ V}}$$

Verifico saturación de M1 y M2.

* No corte de M1: $V_{DD} - V_{DD} < \frac{V_{DD} - V_1 - |V_{top}|}{1 + \delta_p}$

$$0 \text{ V} < 4,08 \text{ V} \quad \checkmark$$

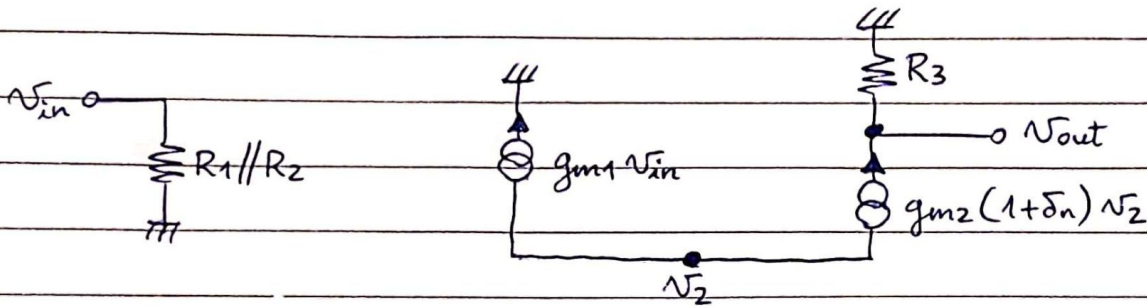
* No zona lineal de M1: $V_{DD} - V_2 > \frac{V_{DD} - V_1 - |V_{top}|}{1 + \delta_p}$

$$8,58 \text{ V} > 4,08 \text{ V} \quad \checkmark$$

* No corte de M2: $V_2 < \frac{V_{ref} - V_{ton}}{1 + \delta_n} \Rightarrow 1,42 \text{ V} < 3,38 \text{ V} \quad \checkmark$

* No zona lineal de M2: $V_{out} > \frac{V_{ref} - V_{ton}}{1 + \delta_n} \Rightarrow 7,65 \text{ V} > 3,38 \text{ V} \quad \checkmark$

b) En banda pasante, $C_1 \equiv$ cortocircuito.



$$g_{m1} v_{in} = -g_{m2} (1 + \delta_n) v_2 \Rightarrow \frac{v_2}{v_{in}} = \frac{-g_{m1}}{g_{m2} (1 + \delta_n)}$$

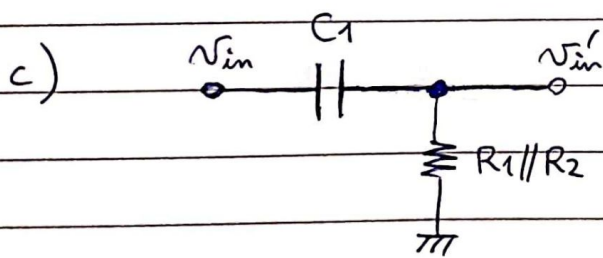
$$\frac{v_{out}}{v_2} = g_{m2} R_3 (1 + \delta_n)$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \left(\frac{v_2}{v_{in}} \right) \left(\frac{v_{out}}{v_2} \right) = \left(\frac{-g_{m1}}{g_{m2} (1 + \delta_n)} \right) \left(g_{m2} R_3 (1 + \delta_n) \right) = -g_{m1} R_3$$

$$g_{m1} = \sqrt{\frac{2 I_{D1} \beta_p}{1 + \delta_p}} = 408 \mu S$$

$$g_{m2} = \sqrt{\frac{2 I_{D2} \beta_n}{1 + \delta_n}} = 392 \mu S$$

$$G = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_{m1} R_3 = \boxed{-1,92 \text{ V/V}}$$



$$\frac{v_{in}'}{v_{in}} = \frac{s(R_1 // R_2) C_1}{1 + s(R_1 // R_2) C_1}$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi (R_1 // R_2) f_{-3dB}} = \boxed{214 \text{ nF}}$$

Problema

$$a) U_1: \text{no inversor} \Rightarrow N_{01} = \left(1 + \frac{R_{2a}}{R_{1a}}\right) N_1$$

$$U_2: \begin{cases} \text{no inversor (teniendo en cuenta } N_2) \\ \text{inversor (teniendo en cuenta } N_1) \end{cases}$$

$$\Rightarrow N_{02} = \left(1 + \frac{R_{1b}}{R_{2b}}\right) N_2 - \left(\frac{R_{1b}}{R_{2b}}\right) \left(1 + \frac{R_{2a}}{R_{1a}}\right) N_1$$

$$U_3: \text{no inversor} \Rightarrow N_0 = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) N_{02}$$

$$\text{Entonces } N_0 = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \left[\left(1 + \frac{R_{1b}}{R_{2b}}\right) N_2 - \frac{R_{1b}}{R_{2b}} \left(1 + \frac{R_{2a}}{R_{1a}}\right) N_1 \right]$$

$$N_0 = (1 + 50) \left[(1 + 3) N_2 - 3 \left(1 + \frac{1}{3}\right) N_1 \right] =$$

$$N_0 = (51) \left[4 N_2 - 3 \left(\frac{4}{3}\right) N_1 \right] = 51 \times 4 (N_2 - N_1)$$

$$N_0 = 204 (N_2 - N_1)$$

$$N_0 \text{ sólo depende de } N_2 - N_1 \Rightarrow \begin{cases} A_d = 204 \text{ V/V} \\ A_{cm} = 0 \text{ V/V} \end{cases}$$

$$\text{Otra forma de verlo: } \begin{cases} N_1 = N_{cm} - \frac{N_d}{2} \\ N_2 = N_{cm} + \frac{N_d}{2} \end{cases}$$

$$N_0 = 204 \left(N_{cm} + \frac{N_d}{2} - N_{cm} + \frac{N_d}{2} \right) = 204 N_d + 0 N_{cm}$$

$$A_d = \left. \frac{N_0}{N_d} \right|_{N_{cm}=0} = 204 \text{ V/V}$$

$$A_{cm} = \left. \frac{N_0}{N_{cm}} \right|_{N_d=0} = 0 \text{ V/V}$$

$$y \quad \boxed{CMRR = \infty}$$

b) La etapa de mayor ganancia es la 3ª

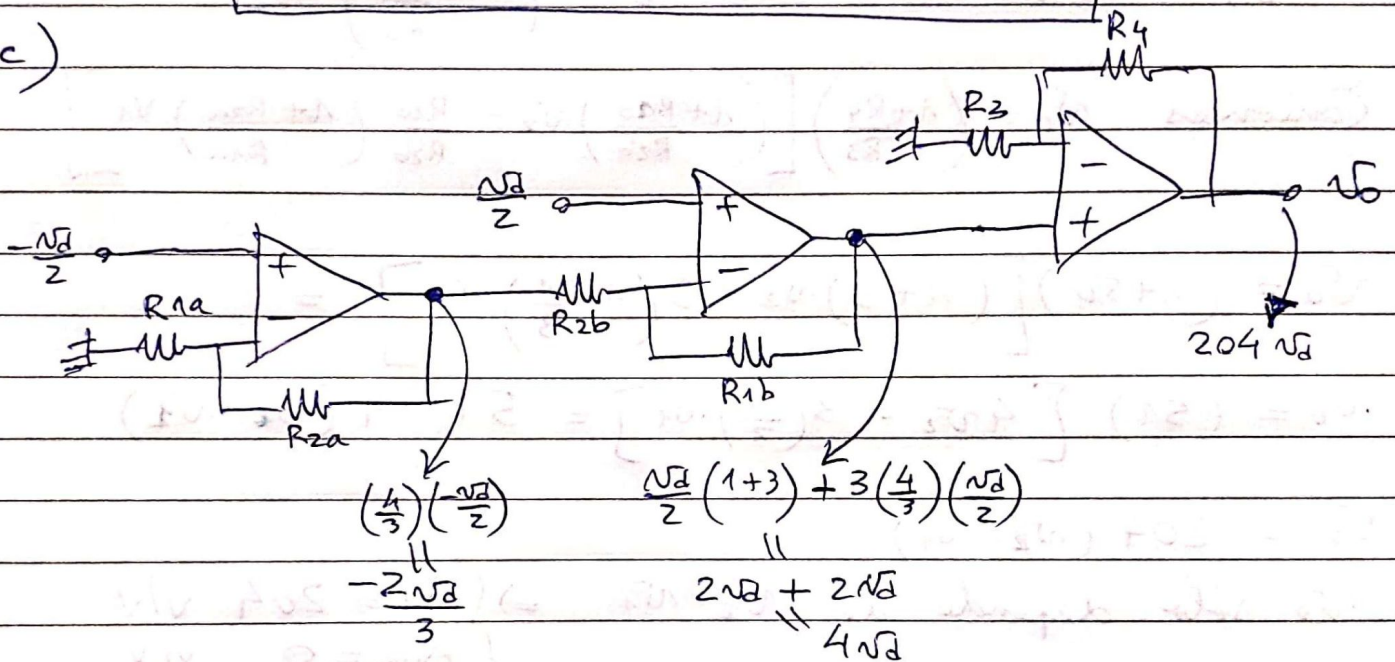
$$1^a (U1) : 1 + \frac{R_{2a}}{R_{1a}} = 1 + \frac{1}{3} = \frac{4}{3}$$

$$2^a (U2) : 1 + \frac{R_{1b}}{R_{2b}} = 1 + 3 = 4$$

$$3^a (U3) : 1 + 50 = 51$$

$$\Rightarrow f_{-3dB} = \frac{f_T}{1 + 50} = \frac{f_T}{51}$$

c)



\Rightarrow salida de U_3 es la de mayor amplitud

\Rightarrow restringe

$$SR \geq \max \left\{ \left| \frac{dV_0}{dt} \right| \right\}$$

$$SR \geq \max \left\{ \left| 204 \cdot A \cos(2\pi f t) (2\pi f) \right| \right\}$$

$$SR \geq 204 \cdot A \cdot 2\pi f$$

$$f \leq \frac{SR}{408 A \pi}$$

$$d) \begin{cases} N_1 = N_{\text{ruido}} \\ N_2 = N_{\text{sensor}} + N_{\text{ruido}} \end{cases}$$

$$N_0 = (1+50) \left(\left(\frac{1+0,95 \cdot 3}{1,05} \right) N_2 - \frac{0,95 \cdot 3}{1,05} \left(\frac{1+0,95}{1,05 \cdot 3} \right) N_1 \right)$$

$$\begin{cases} N_2 = N_{\text{cm}} + \frac{N_d}{2} \\ N_1 = N_{\text{cm}} - \frac{N_d}{2} \end{cases}$$

$$N_0 = N_{\text{cm}} (51) \left[\left(\frac{1+0,95 \cdot 3}{1,05} \right) - \frac{0,95 \cdot 3}{1,05} \left(\frac{1+0,95}{1,05 \cdot 3} \right) \right] + \frac{N_d}{2} (51) \left[\left(\frac{1+0,95 \cdot 3}{1,05} \right) + \frac{0,95 \cdot 3}{1,05} \left(\frac{1+0,95}{1,05 \cdot 3} \right) \right]$$

$$A_d = \frac{N_0}{N_d} \Big|_{N_{\text{cm}}=0} = \frac{51}{2} \left[\left(\frac{1+0,95 \cdot 3}{1,05} \right) + \frac{0,95 \cdot 3}{1,05} \left(\frac{1+0,95}{1,05 \cdot 3} \right) \right]$$

$$A_d = 184,803 \text{ V/V}$$

$$A_{\text{cm}} = \frac{N_0}{N_{\text{cm}}} \Big|_{N_d=0} = 51 \left[\left(\frac{1+0,95 \cdot 3}{1,05} \right) - \frac{0,95 \cdot 3}{1,05} \left(\frac{1+0,95}{1,05 \cdot 3} \right) \right]$$

$$A_{\text{cm}} = 9,252 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow \text{CMRR} = \frac{A_d}{A_{\text{cm}}} = 19,98$$

$$\Rightarrow \text{CMRR} = 26 \text{ dB}$$

$$\begin{cases} N_d = N_{\text{sensor}} \\ N_{\text{cm}} = N_{\text{ruido}} + \frac{N_{\text{sensor}}}{2} \end{cases}$$

$$N_0 = (184,803) N_d + (9,252) (N_{\text{cm}})$$

$$N_0 = (189,429) N_{\text{sensor}} + (9,252) N_{\text{ruido}}$$