

EXAMEN DE ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL
16/12/2022

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

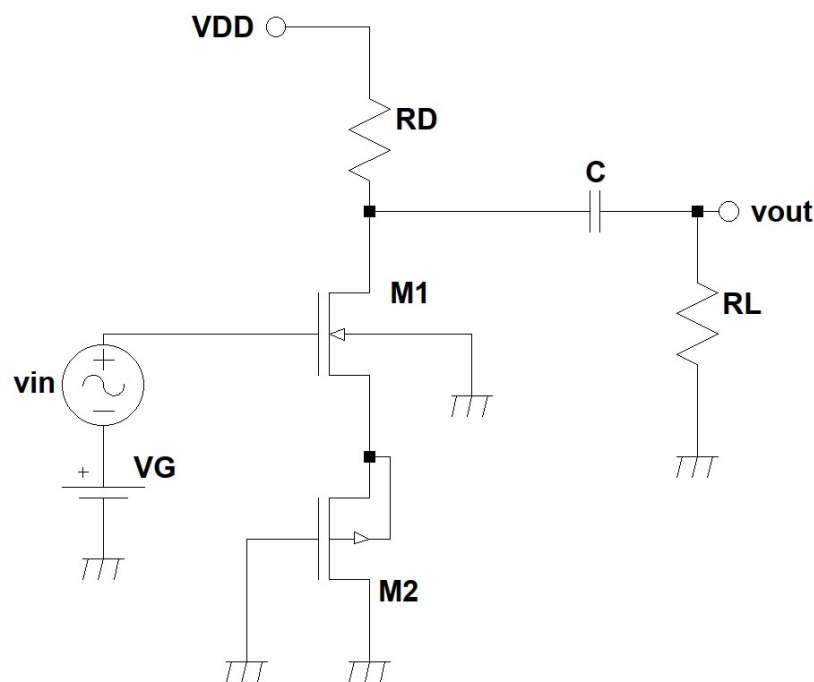
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

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)



Para el amplificador de la figura:

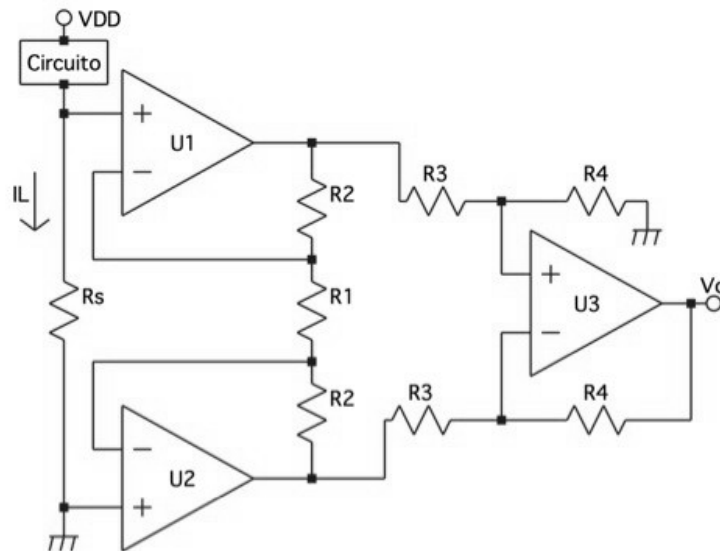
- Se diseña para que la corriente por M2 sea 1 mA. Indicar y fundamentar en qué zona opera M2 y cuánto vale la tensión DC en la source de M2. Determinar la tensión de polarización VG. De ahora en más la polarización DC del circuito será según lo hallado en la parte a)
- Halle la ganancia en banda pasante $A = v_{out}/v_{in}$
- Determine C para establecer una frecuencia de corte de $f_{-3dB} = 100\text{Hz}$. Dibuje el diagrama de Bode asintótico de la respuesta en frecuencia v_{out}/v_{in} indicando claramente las cantidades notables.

Datos:

M1, M2: $\beta_n = \beta_p = 25 \text{ mA/V}^2$, $V_{t0n} = |V_{t0p}| = 0.7 \text{ V}$, $\delta_n = \delta_p = 0.2$, $V_{An} = V_{Ap} = \text{infinito}$
 $R_D = 3.9 \text{ k}\Omega$, $R_L = 33 \text{ k}\Omega$, $V_{DD} = 10 \text{ V}$

PROBLEMA 2 (40 puntos)

Se quiere medir la corriente I_L que consume un cierto circuito alimentado entre VDD y tierra. Para ello, se coloca una resistencia R_s en serie con el circuito como muestra la figura.



- Calcule el voltaje de salida V_o en función de la corriente I_L .
- ¿Qué condición debe cumplir el ICMR de cada uno de los amplificadores operacionales para que el circuito funcione correctamente?
- Determine el máximo error relativo en la medida de I_L debido al voltaje de offset de los amplificadores operacionales U_1 , U_2 y U_3 .
- Determine el máximo error relativo en la medida de I_L debido a las corrientes de polarización del amplificador operacional U_3 .
- Calcule la frecuencia de corte superior de la transferencia V_o/I_L .

Datos:

$V_{DD} = 5\text{ V}$, $R_s = 5\ \Omega$, $R_1 = 40\ \text{k}\Omega$, $R_2 = 10\ \text{k}\Omega$, $R_3 = 1\ \text{k}\Omega$, $R_4 = 30\ \text{k}\Omega$

La corriente consumida por el circuito puede variar entre $5\ \text{mA}$ y $20\ \text{mA}$

U_1 , U_2 , U_3 : $V_{\text{offset}} = 1\ \text{mV}$, $I_{\text{bias}} = 5\ \mu\text{A}$, $I_{\text{offset}} = 100\ \text{nA}$, $f_T = 1\ \text{MHz}$

PREGUNTA (20 puntos)

Se tiene un inversor CMOS con una señal a la entrada con tiempos de subida y bajada no nulos $t_r = t_f = 50\text{ns}$ y frecuencia de 1MHz . Los transistores del inversor tienen: $\beta_n = \beta_p = 200\ \mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_{t0n} = |V_{t0p}| = 0.5\text{V}$, $\delta_n = \delta_p = 0$ y la alimentación V_{DD} es 3.3V . La capacidad de carga C_L se podrá considerar despreciable, salvo donde se indique lo contrario. Observar que si la capacidad de carga es muy pequeña el inversor responde de acuerdo a su característica estática.

- Dar una estimación del máximo pico de corriente tomado de la fuente.
- Estimar la potencia consumida por la corriente de camino directo, basándose en la estimación hecha en i) y las aproximaciones vistas en el curso.
- Si ahora se considera que se tiene una capacidad de carga C_L de 5pF , ¿cuánto vale la potencia dinámica consumida debido a esta capacidad de carga?

② ④ M_1 y M_2 saturados $V_{SM2} = V_{SM1}$

$$I_{DN2} = \frac{\beta_P}{2(1+\delta_P)} \left(V_{GS_{M2}} - V_{top} - (1+\delta_P) V_{SM2} \right)^2 \Rightarrow$$

$$V_{SM2} = V_{SM1} = \sqrt{\frac{2(1+\delta_P) I_{DN2}}{\beta_P}} + V_{top} \approx 1V \rightarrow$$

$$I_{DM1} = \frac{\beta_N}{2(1+\delta_N)} \left(V_{GS_{M1}} - V_{ton} - (1+\delta_N) V_{SM1} \right)^2 \Rightarrow$$

$$V_{GS_{M1}} = \sqrt{\frac{2(1+\delta_N) I_{DM1}}{\beta_N}} + V_{ton} + (1+\delta_N) V_{SM1} \rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{GS_{M1}} = \sqrt{\frac{2(1+\delta_N) I_{DM1}}{\beta_N}} + V_{ton} + (1+\delta_N) \left[\sqrt{\frac{2(1+\delta_P) I_{DN2}}{\beta_P}} + V_{top} \right]$$

$$V_{GS_{M1}} = 2,2V$$

Verific ④ M_1

$$V_{PM1} = \frac{V_{GS_{M1}} - V_{ton}}{1+\delta_N} = 1,27V$$

$$V_{SM1} = 1V$$

$$V_{DM1} = V_{DD} - R_D \cdot I_{DM1} = 6,1V$$

$$V_{SM1} < V_{PM1} \quad \checkmark$$

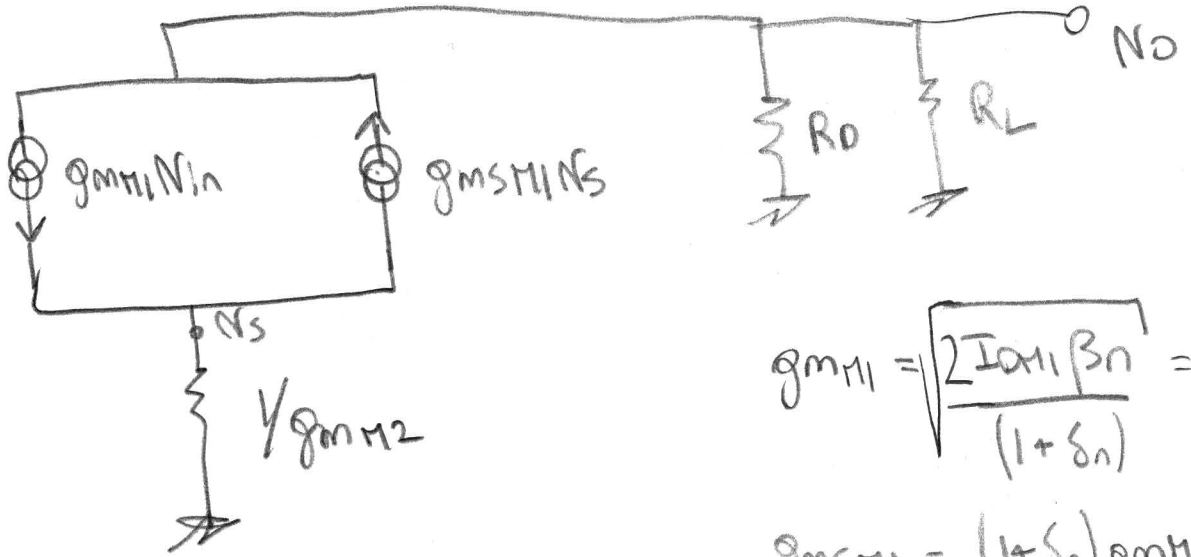
$$V_{DM1} > V_{PM1} \quad \checkmark$$

M_1 saturados

M_2

correctos como dados.

b



$$g_{mM1} = \sqrt{\frac{2I_{D11}\beta_n}{(1+\delta_n)}} = 6,5 \text{ mS}$$

$$g_{mSM1} = (1+\delta_n)g_{mM1} = 7,7 \text{ mS}$$

$$g_{mM2} = \sqrt{\frac{2I_{D12}\beta_p}{(1+\delta_p)}} = 6,5 \text{ mS}$$

$$N_s g_{mM2} = g_{mM1} N_{in} - g_{mSM1} N_s \Rightarrow$$

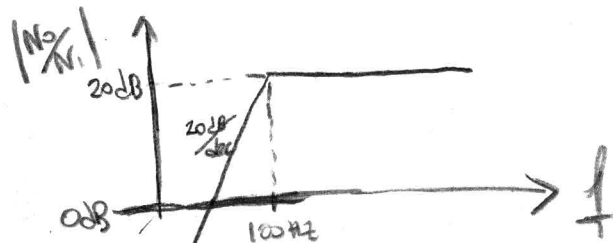
$$N_s = \frac{g_{mM1} N_{in}}{g_{mM2} + g_{mSM1}}$$

$$N_o = - \left(g_{mM1} N_{in} - \frac{g_{mSM1} g_{mM1} N_{in}}{g_{mM2} + g_{mSM1}} \right) R_o // R_L$$

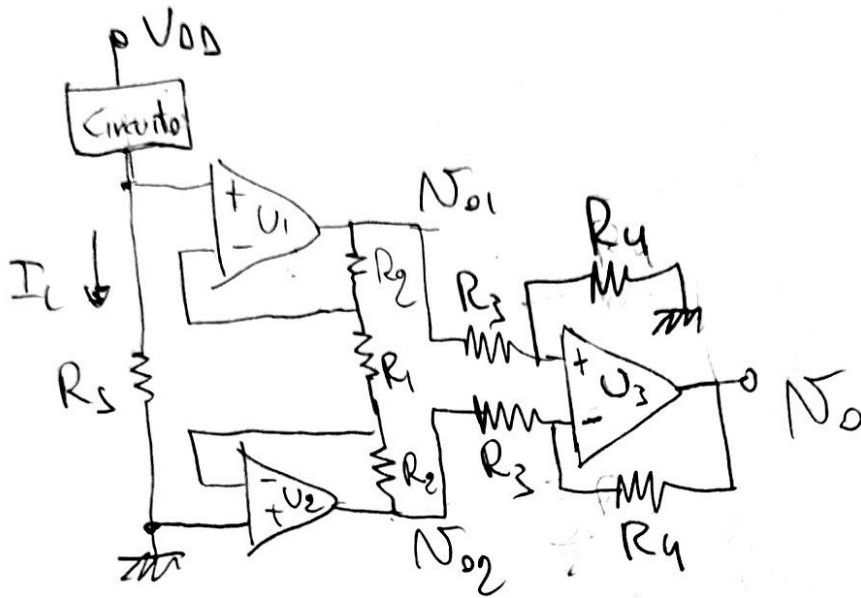
$$\Rightarrow \frac{N_o}{N_{in}} = - \frac{g_{mM1} g_{mM2}}{g_{mM2} + g_{mSM1}} \cdot R_o // R_L \approx -10,2 \text{ V/V}$$

c

$$f_p = \frac{1}{2\pi(R_o + R_L)C} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi(R_o + R_L)f_p} \approx 43 \text{ nF}$$



2)



$$I_L R_s = i_{R_1} R_1 \Rightarrow i_{R_1} = \frac{I_L R_s}{R_1} \Rightarrow N_{01} - N_{02} = (2R_2 + R_1) i_{R_1}$$

$$\Rightarrow N_{01} - N_{02} = (R_1 + 2R_2) I_L \frac{R_s}{R_1} \Rightarrow N_{01} - N_{02} = \left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right) R_s I_L$$

$$N_0 = \frac{R_4}{R_3} (N_{01} - N_{02}) \Rightarrow N_0 = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right) R_s I_L$$

$$N_0 = (225 \Omega) I_L$$

b) U1

$$\left. \begin{aligned} e_{MAX}^+ &= R_s I_{LMAX} \\ e_{MIN}^+ &= R_s I_{LMIN} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\left. \begin{aligned} I_{CMR_{MAX1}} &\geq R_s I_{LMAX} \\ I_{CMR_{MIN1}} &\leq R_s I_{LMIN} \end{aligned} \right\}$$

U2 $e^+ = \emptyset \Rightarrow$

$$\left. \begin{aligned} I_{CMR_{MAX2}} &\geq \emptyset \\ I_{CMR_{MIN2}} &\leq \emptyset \end{aligned} \right\}$$

$$b) \frac{U_3}{N_{01}} = R_s I_L + R_2 i_{R1} = R_s I_L + R_2 I_L \frac{R_s}{R_1}$$

$$\Rightarrow N_{01} = R_s \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) I_L$$

$$e_3^+ = N_{01} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \Rightarrow e_3^+ = R_s \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) I_L \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

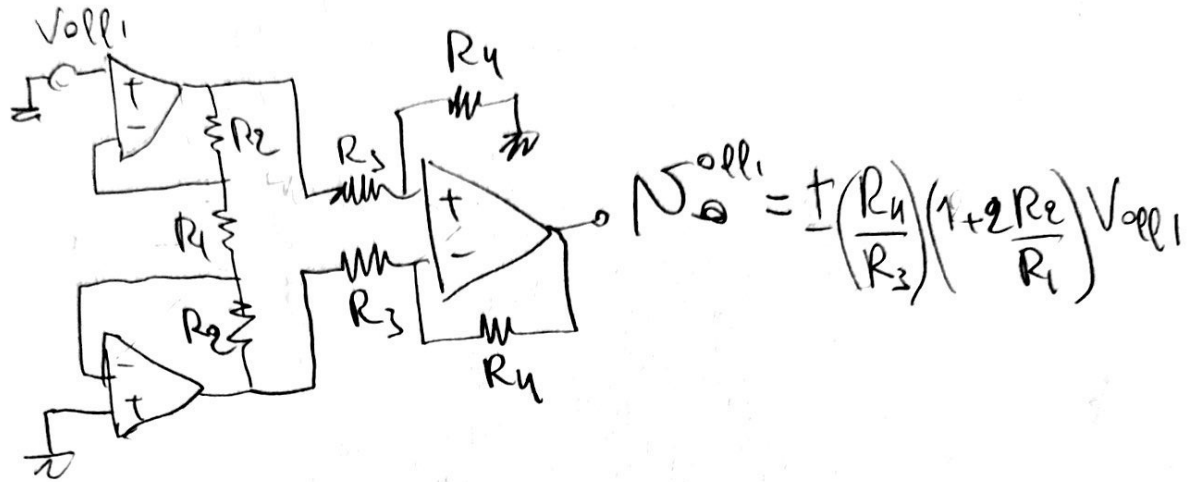
$$ICMR_{MAX3} > R_s \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) I_{LMAX}$$

$$ICMR_{MIN3} < R_s \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) I_{LMIN}$$

	U1	U2	U3
ICMR _{MAX}	100mV	∅	121mV
ICMR _{MIN}	25mV	∅	30mV

c)

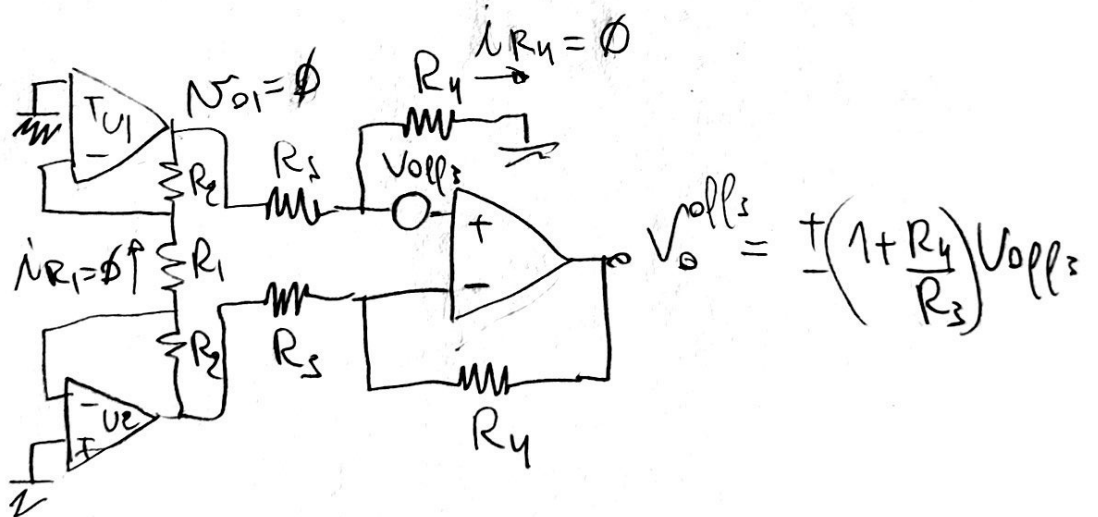
U1



U2

Idem U1 $\Rightarrow N_{oll2} = \pm \frac{R_4}{R_3} \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right) V_{opp2}$

U3



$$V_{opp}^{MAX} = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right) (V_{opp1} + V_{opp2}) + \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) V_{opp3}$$

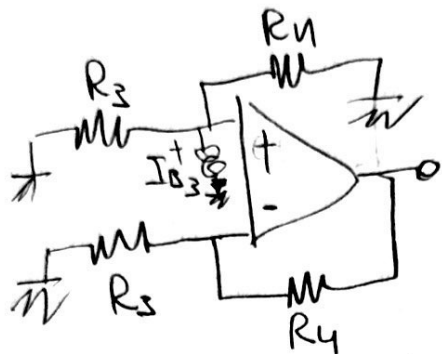
$$V_{opp}^{MAX} = 191 \text{ mV}$$

$$E_{Error}^{MAX} = \frac{V_{opp}^{MAX}}{29552 \cdot I_{MIN}}$$

$$E_{Error}^{MAX} = 10,2 \%$$

d) $\underline{U_3} \Rightarrow N_{01} = N_{02} = \emptyset$

e^+

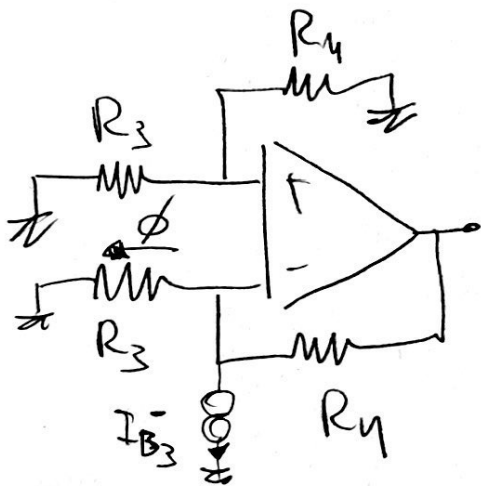


$$N_{03}^+ = \left(\frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} \right) \left(\frac{1 + R_4}{R_3} \right) I_{B3}^+$$

$$e^+ = -(R_3 / R_4) I_{B3}^+$$

$$\Rightarrow N_{03}^{IB^+} = -R_4 I_{B3}^+$$

e^-



$$N_{03}^{IB^-} = R_4 I_{B3}^-$$

$$V_{O_{IB}} = R_4 I_{B3}^- - R_4 I_{B3}^+ \Rightarrow$$

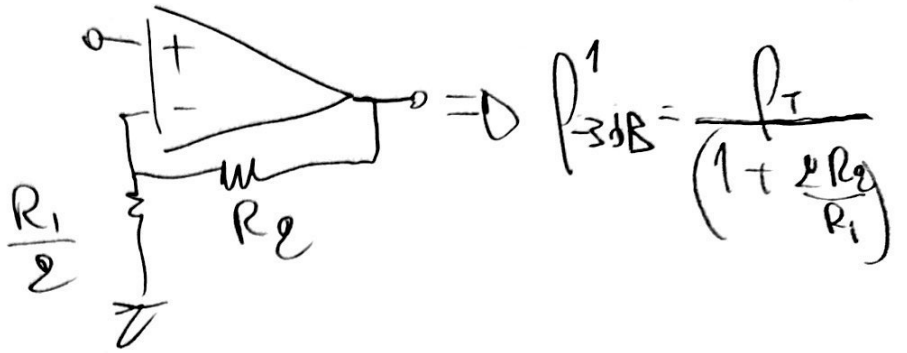
$$V_{O_{IB}} = R_4 I_{offset}$$

$$E_{error}^{MAX} = \frac{R_4 I_{offset}}{(295 \Omega) I_{L_{MIN}}}$$

$$\Rightarrow E_{error}^{MAX} = 0,27\%$$

$$V_{O_{IB}} = 3mV$$

e) 1^{er} etapa



2^a etapa $\Rightarrow f_{-3dB}^2 = \frac{f_T}{\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)}$

$f_{-3dB}^1 = 667 \text{ kHz} \gg f_{-3dB}^2 = 32,2 \text{ kHz}$

$\Rightarrow f_{-3dB} = 32,2 \text{ kHz}$