

Parcial de Electrónica Avanzada 2
09/07/2024

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas.

La prueba es sin material.

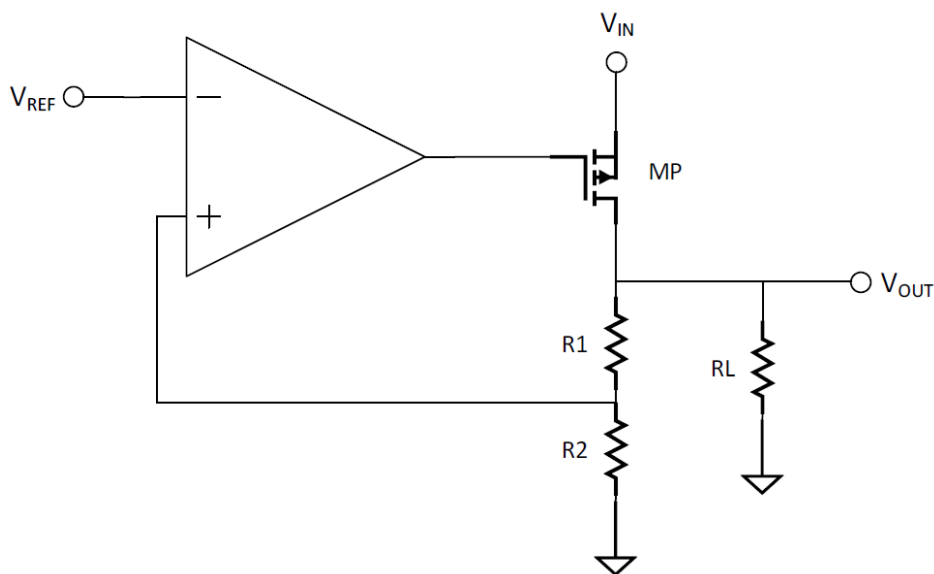
Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1 (33 pts):

Se considera el regulador de la figura con las siguientes características:

$V_{OUT} = 1.8\text{ V}$, $R_1 = 2\text{ k}\Omega$, $R_2 = 1\text{ k}\Omega$, $\mu_{Cox} = 90\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $V_t = 0.5\text{ V}$ y la ganancia en lazo abierto del amplificador operacional es $A_0 = 100\text{ V/V}$.

- Dimensionar el ancho del transistor de paso, sabiendo que el largo es $L = 1\text{ }\mu\text{m}$, la máxima corriente de carga es $I_L = 300\text{ mA}$ y para que la tensión de dropout sea $V_{DO} = 150\text{ mV}$. La tensión V_{IN} es tal que el regulador funciona correctamente.
- Obtener una expresión analítica de la ganancia de lazo cerrado V_{OUT}/V_{REF} .
- Calcular la regulación de carga cuando $I_L = 100\text{ mA}$.
- Si I_L presenta un escalón de 100 mA a 50 mA , ¿cuál será la variación en V_{OUT} ?



Problema 2 (34 pts):

- a) Para el oscilador de la Figura 1 calcular frecuencia y condición de oscilación.
- b) Si la relación G_m/gm_0 en función de la relación $V_p/(V_{GS}-V_T)$ es la dada en la Figura 2, ¿cuál es el valor de la amplitud de las oscilaciones? (V_p es la amplitud de la señal entre Gate y Source del transistor, V_{GS} es el valor de la tensión Gate-Source de polarización y V_T la tensión umbral del transistor).
- c) ¿Cuál es la mínima corriente de polarización que garantiza el arranque del oscilador?

Datos:

$R_E=750 \Omega$, $R_L=1.2 \text{ k}\Omega$, $R_1=330 \Omega$, $R_2=680 \Omega$, $L=50 \text{ nH}$, $C_1=16 \text{ pF}$, $C_2=50 \text{ pF}$, los condensadores C_p se podrán considerar infinitos.

$V_{DD} = 10V$

Para M1: $\beta=2\text{mA/V}^2$, $V_T = 1V$, la polarización es tal que el transistor trabaja en la zona de saturación.

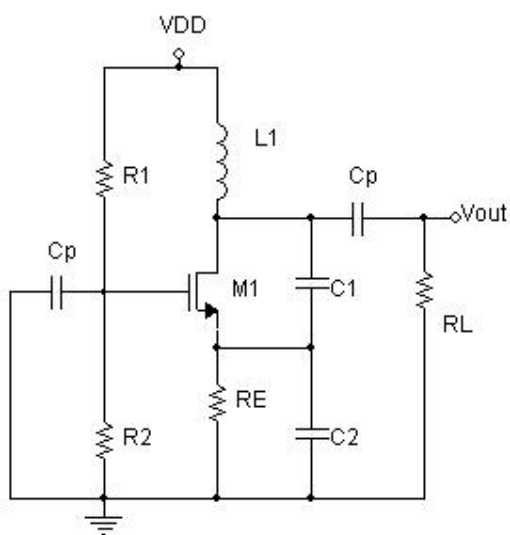


Figura 1

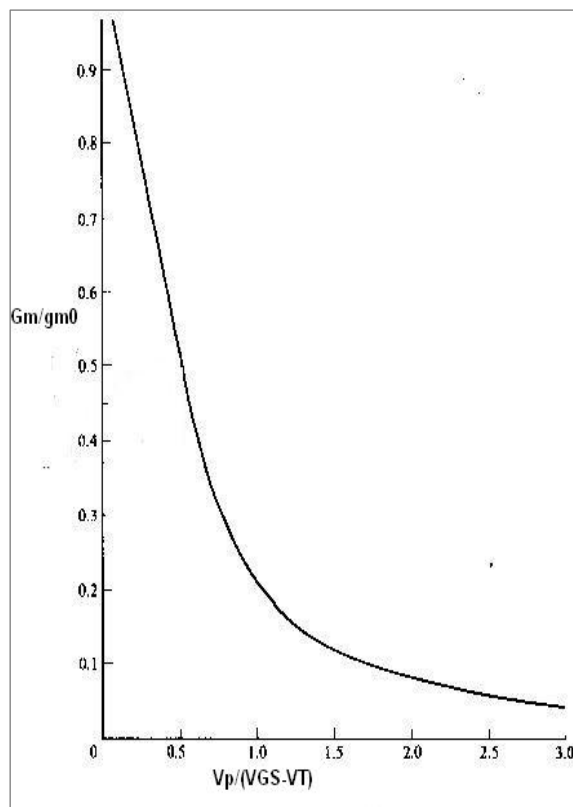


Figura 2

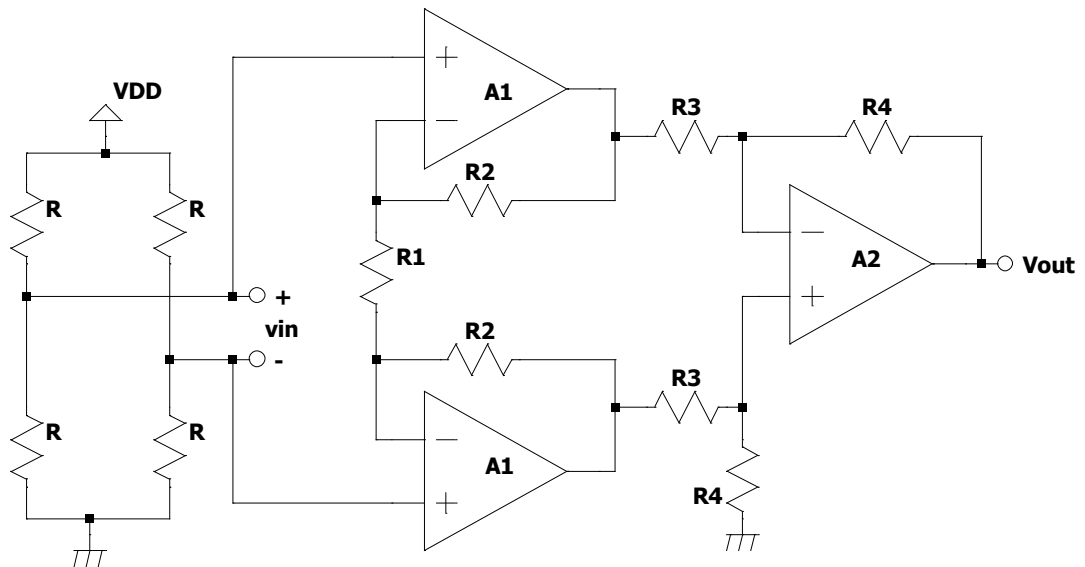
Problema 3 (33 pts):

En el circuito de la figura, el puente de resistencias modela un transductor que genera una señal diferencial v_{in} pequeña. Las variaciones en el valor de las resistencias R del puente se pueden despreciar para los efectos de este problema. La señal del transductor es amplificada por un amplificador de instrumentación como el que se muestra en la figura.

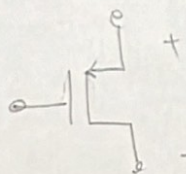
- Calcule el ruido RMS equivalente a la entrada del amplificador de instrumentación debido a las resistencias del transductor y a los componentes del amplificador.
- Si la señal máxima que se espera obtener del transductor es 5 mVpp, determine el número efectivo de bits (ENOB) del sistema considerando el ruido RMS calculado en a) como 1 LSB.

Datos:

- $R_1=220 \Omega$, $R_2=3.3 \text{ k}\Omega$, $R_3=2.2 \text{ k}\Omega$, $R_4=10 \text{ k}\Omega$
- Transductor: $R=1 \text{ k}\Omega$
- Amplificadores A1: $f_T=10 \text{ MHz}$, Ruido equiv. a la entrada: $V_{nA1} = 4 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Amplificador A2: $f_T=100 \text{ kHz}$, Ruido equiv. a la entrada: $V_{nA2} = 20 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$



2)



$$V_{DD} = R_{ON} \cdot I_{L \max}$$

$$R_{ON} = \frac{1}{\mu_{Cox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})} = \frac{1}{\mu_{Cox} \frac{W}{L} (V_{in \max} - V_{th})}$$

$$\Rightarrow \frac{W}{L} = \frac{1}{R_{ON} \mu_{Cox} (V_{in \max} - V_{th})} = \frac{I_{L \max}}{V_{DD} \mu_{Cox} (V_{in \max} - V_{th})}$$

$$V_{in \min} = 0,95 \cdot V_{out} + V_{DD} = 0,95 \cdot 1,8V + 0,15V = 1,86V$$

$$W = \frac{L \cdot I_{L \max}}{V_{DD} \mu_{Cox} (V_{in \min} - V_{th})} = 16340 \mu m$$

$$b) \frac{v_{out}}{v_g} = -g_m r_{out}$$

$$v_g = A_0 (v_{fb} - v_{ref})$$

$$v_{fb} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_{out} = \beta v_{out}$$

$$\Rightarrow v_{out} = -g_m r_{out} \cdot A_0 (\beta v_{out} - v_{ref})$$

$$\Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{ref}} = \frac{g_m r_{out} A_0}{1 + g_m r_{out} A_0 \beta}$$

$$r_{out} = r_{op} \parallel R_c \parallel (R_1 + R_2)$$

$$c) R_{out} = \frac{1}{g_m A_0 \beta}$$

$$g_m (I_D = 100 \mu A) = \sqrt{2 \mu_{Cox} \frac{W}{L} \cdot 100 \mu A} = 0,542 \text{ mA/V}$$

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,67$$

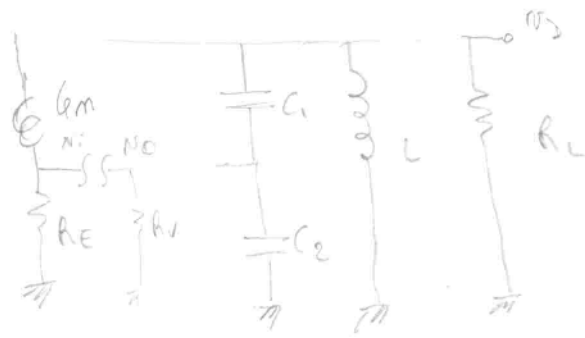
$$R_{out} = \frac{1}{300 \mu V \cdot 0,67 \cdot 0,542} = 27,6 \text{ m}\Omega$$

$$d) \quad \Delta I_L = 50 \text{ mA}$$

$$R_{out} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_L}$$

$$\Rightarrow \Delta V_{out} = 50 \text{ mA} \times 27,6 \text{ m}\Omega = 1,4 \text{ mV}$$

Problema 1)



$$\therefore R_v = R_E \parallel \frac{1}{g_m} \gg \frac{1}{g_m}$$

$$N_D = g_m N_i \cdot \frac{C_1 + C_2}{s C_1 C_2} \parallel L \parallel R_L = \frac{g_m N_i \cdot L \cdot s \cdot R_L}{R_L L C_1 C_2 s^2 + L s + R_L (C_1 + C_2)}$$

$$N_o = \frac{N_D \cdot \frac{1}{C_2 s}}{\frac{1}{C_1 s} + \frac{1}{C_2 s}} = \frac{N_D \cdot C_1 s}{(C_1 + C_2) s}$$

$$N_o = \frac{g_m N_i \cdot L \cdot s \cdot R_L \cdot C_1}{R_L L C_1 C_2 s^2 + L (C_1 + C_2) s + R_L (C_1 + C_2)}$$

$$\frac{N_o}{v_i} = \frac{g_m R_L L C_1 s}{R_L (L C_1 C_2 s^2 + (C_1 + C_2) s) + R_L (C_1 + C_2)} \quad \frac{16 \cdot 50}{60} =$$

$$\text{Im} \left(\frac{N_o}{v_i} \right) = \phi \Rightarrow L C_1 C_2 \omega_0^2 = C_1 + C_2 \Rightarrow f_{osc} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{L C_1 C_2}} = 204 \text{ kHz}$$

$\omega = \omega_0$

Cond. osc. $\left| \frac{g_m R_L \cdot L \cdot C_1}{L (C_1 + C_2)} \right| = 1$

$$g_m R_L = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = \frac{16 \text{ pF} + 50 \text{ pF}}{16 \text{ pF}} = 4,125$$

$$g_m = \frac{4,125}{112 \text{ k}} = 3,68 \text{ mS} \quad R_E \parallel \frac{1}{g_m} = 209 \gg \frac{1}{C_2 \cdot 2\pi \cdot 204 \times 10^3} = 15,6$$

b) $V_u = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 6,73 \text{ V}$

$$V_{S_0} = I_{D_0} \cdot R_E$$

$$I_{D_0} = \frac{\beta}{2} (V_G - I_{D_0} R_E - V_T)^2 \Rightarrow 5625 I_{D_0}^2 - 9,5625 I_{D_0} + 0,0328$$

$$\Rightarrow I_{D_0} \begin{cases} 12,3 \text{ mA} \Rightarrow V_S = 12,3 \text{ mA} \cdot 750 = 9,225 \text{ V} > V_G \quad \times \\ 4,73 \text{ mA} \Rightarrow V_S = 4,73 \text{ mA} \cdot 750 = 3,5475 \text{ V} < V_G \quad \checkmark \end{cases}$$

$$g_{m_0} = \sqrt{2 \beta \cdot I_{D_0}} = \sqrt{2 \cdot 2 \text{ mA/V}^2 \cdot 4,73 \text{ mA}} = 4,35 \text{ mS}$$

$$\frac{A_m}{g_{m_0}} = \frac{3,44 \text{ mS}}{4,35 \text{ mS}} = 0,79$$

De la gráfica $\Rightarrow V_p / (V_{as} - V_T) \approx 0,25$

$$V_{as} - V_T = (4,73 - 3,55 - 1) = 2,18 \Rightarrow V_p = 0,545$$

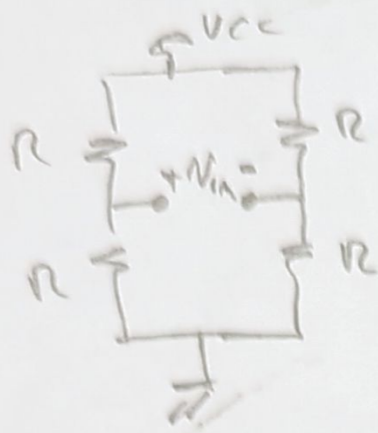
$$V_{out_p} = V_p \cdot C_{2s} \cdot \left(\frac{1}{C_{1s}} + \frac{1}{C_{2s}} \right) = V_p \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_1} = V_p \cdot 2,25 \text{ V}$$

c) En el arranque $A_m = g_{m_0}$ para que arranque

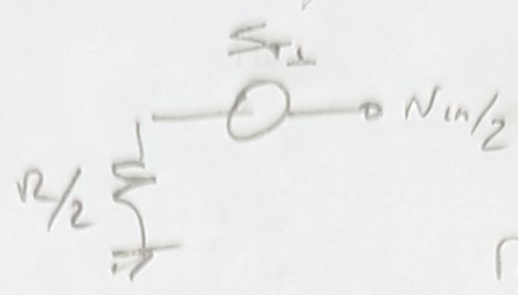
$$A_m R_L \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2} > 1 \quad g_{m_0} > 3,44 \text{ mS}$$

$$g_{m_0} = \sqrt{2 \cdot 2 \text{ mA/V}^2 \cdot I_{D_0}} > 3,44 \text{ mS} \Rightarrow I_{D_0} > 2,96 \text{ mA}$$

(Q) Transdución



Análisis
retro circuito



$$S_{T1} = 4k_B T R/2$$

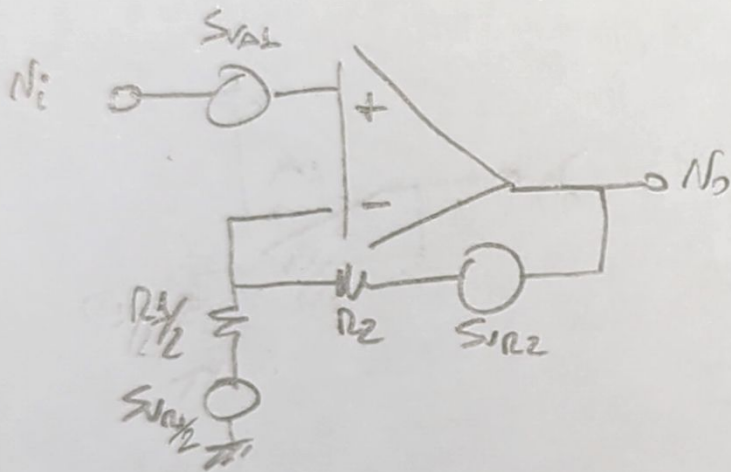
Ruido Total TRANS:

$$S_T = 2S_{T1} = 4k_B T R$$

$$S_T = 1.66 \times 10^{-17} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

AMP.

→ ANÁLISIS LOS AMPS A1 por separado: $G_1 = (1 + \frac{2R_2}{R_1})$
 $f_{3dB1} = f_{T1}/G_1$

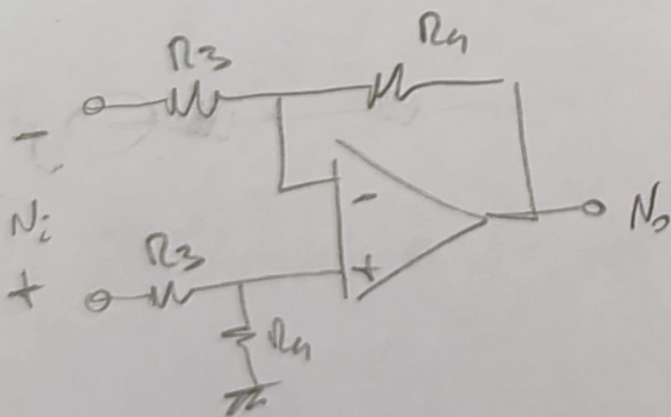


Resultado teórico:
PSD equiv. a la entrada.

$$S_{Vi1} = S_{Vn1} + 4k_B T (R_2 // R_1/2)$$

$$S_{Vi1} = 1.78 \times 10^{-17} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

→ AMP A2: $G_2 = R_4/R_3$, $f_{3dB2} = f_{T2}/(1 + R_4/R_3)$



Análisis equivalente al
amplifier agregando el divisor
 $R_4 // R_3$ en la pta + =

$$S_{Vout2} = [S_{Vn2} + 2 \times 4k_B T (R_3 // R_4)] (1 + R_4/R_3)^2$$

$$\Rightarrow S_{Vi2} = \frac{S_{Vout2}}{G_1^2 G_2^2} = 7.12 \times 10^{-19} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

($\ll S_{V1}, S_T$)

(Q) (signal)

$$S_{V_{inTOT}} = S_T + 2 \times S_{Vi1} + S_{Vi2} = 5,21 \times 10^{-17} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

↳ has 2 amps A1

$$V_{niTOT} = \sqrt{S_{V_{inTOT}}} = 7,22 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

ANCHO de BANDA

$$f_{3dB1} = f_1/G_1 = 323 \text{ kHz}$$

$$f_{3dB2} = f_2/G_2 = 18 \text{ kHz} \ll f_{3dB1}$$

$$\Rightarrow \text{ANCHO de BANDA Ef.} : B_{eq} \approx \frac{1}{2} f_{3dB2}$$

$$B_{eq} = 28 \text{ kHz}$$

$$\Rightarrow N_{ni}^{rms} = \sqrt{S_{V_{inTOT}} \cdot B_{eq}} \Rightarrow \boxed{N_{ni}^{rms} = 1,22 \mu\text{V}}$$

$$(b) \text{ ENOB} = \log_2 \left(\frac{FS}{N_{ni}^{rms}} \right) = \log_2 \left(\frac{5 \text{ mV}}{1,22 \mu\text{V}} \right)$$

$$\Rightarrow \boxed{\text{ENOB} = 12 \text{ bits}}$$