

**Examen de Electrónica Avanzada 2**  
**15/12/2023**

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: (37 puntos)**

- a) Determine para los siguientes 3 casos, la ganancia en lazo cerrado  $\frac{v_{out}}{v_{in}}$  en la Figura 1 asumiendo que el amplificador es ideal:
- $R1=10\text{ k}\Omega$ ,  $R2=30\text{ k}\Omega$
  - $R1=1\text{ k}\Omega$ ,  $R2=3\text{ k}\Omega$
  - $R1=100\text{ }\Omega$ ,  $R2=300\text{ }\Omega$

El amplificador ahora se implementa con el circuito de la Figura 2.

- Obtenga los valores de la ganancia de lazo abierto del circuito de la Figura 1 para cada caso.
- Determine el error relativo cometido en el cálculo de ganancia en la parte a) para cada caso.
- Determine el ancho de banda 3dB en la Figura 1 para el caso a)i.
- Determine la impedancia de salida del amplificador de la Figura 1 para el caso a)i.

**Datos:**

- MOS:
  - $V_{tn}=|V_{tp}|=0.5\text{ V}$ ,  $n_n=n_p=1.3$ ,  $\mu_n C_{ox}=125\text{ }\mu\text{A/V}^2$ ,  $\mu_p C_{ox}=60\text{ }\mu\text{A/V}^2$
  - $V_{An}'=20\text{ V}/\mu\text{m}$ ,  $V_{Ap}'=30\text{ V}/\mu\text{m}$
  - Todos los transistores tienen largo  $L=1\text{ }\mu\text{m}$
  - $W1=W2=20\text{ }\mu\text{m}$ ,  $W3=W4=10\text{ }\mu\text{m}$ ,  $W8=W5=10\text{ }\mu\text{m}$ ,  $W7=5*W5$ ,  $W6=100\text{ }\mu\text{m}$
- $VDD=-VSS=5\text{ V}$ ,  $I_B = 50\text{ }\mu\text{A}$ ,  $C_C=5\text{ pF}$

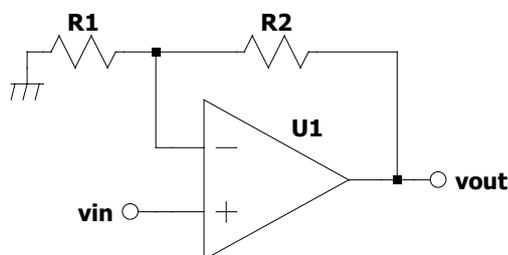


Figura 1

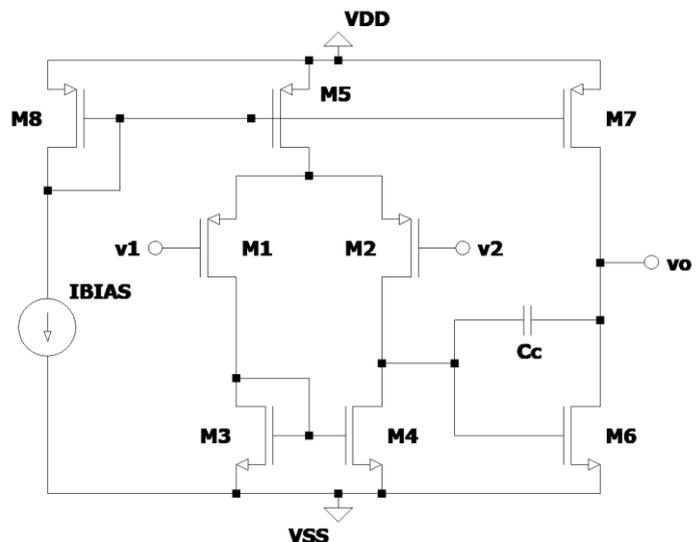
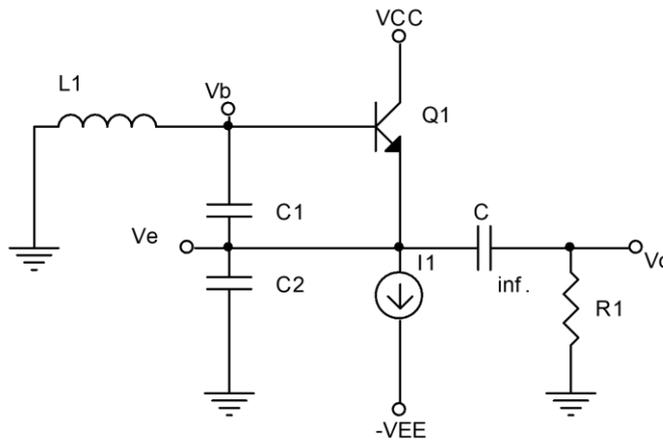


Figura 2

**Problema 2: (37 puntos)**

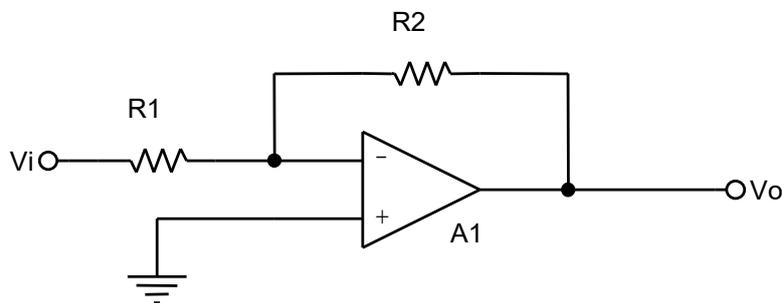
El circuito de la figura es una variante del oscilador Colpitts:

- a) Determinar la frecuencia y la condición de oscilación.
- b) ¿Qué condición tiene que cumplir  $I_1$  para que el oscilador arranque?
- c) ¿Cómo funciona el mecanismo de estabilización de amplitud?  
 Cuando el oscilador arranca y la amplitud de  $V_o$  va creciendo, explicar que mecanismos actúan para que  $V_o$  se estabilice en su valor final.

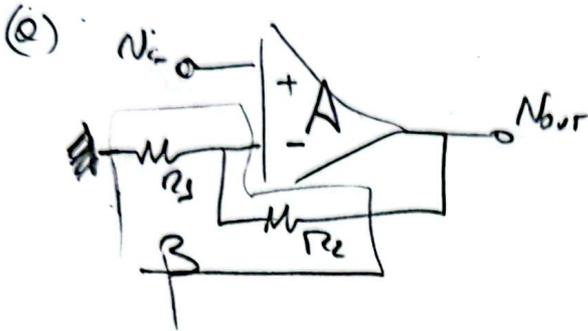


**Pregunta: (26 puntos)**

Para el amplificador de la figura determinar el voltaje de ruido total rms a la salida. Para ello se deberá considerar el ruido aportado por las resistencias, que se trabaja sobre un ancho de banda de  $B$  Hz y que el amplificador operacional A1 tiene, en ese ancho de banda, un ruido equivalente de entrada con densidad espectral de potencia constante igual a  $S_{Ai}$  V<sup>2</sup>/Hz.



P1



A ideal

$$G = \frac{A}{1+A\beta} \approx \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

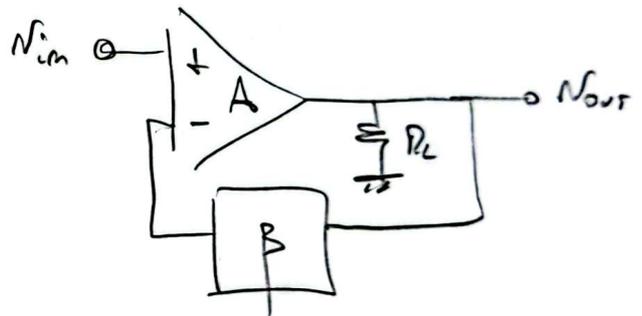
$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$\Rightarrow G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 4 \text{ V/V}$   
 Para todos los casos

(b) A no é mais ideal  $\Rightarrow$

$$\beta = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = R_1 + R_2$$



Ampl. A: Miller de 2 etapas

$$A = g_{m3} (r_{o2} \parallel r_{o4}) \cdot g_{m6} (r_{o6} \parallel r_{o7} \parallel R_L)$$

GANANCIA de todo ABISNTO:  $G_0 = A\beta$

$$g_{m3} = \sqrt{2\beta_3 I_{D3}}, \quad \beta_3 = \mu_n C_{ox} \frac{W_3}{L} = 1,7 \text{ mA/V}^2 \Rightarrow g_{m3} = 0,25 \text{ mA/V}$$

$$r_{o2} = \frac{V_{Ap} L}{I_{D2}} = 1,2 \text{ k}\Omega, \quad r_{o4} = \frac{V_{An} L}{I_{D4}} = 800 \text{ k}\Omega$$

$$g_{m6} = \sqrt{2\beta_6 I_{D6}}, \quad \beta_6 = \mu_n C_{ox} \frac{W_6}{L} = 12,5 \text{ mA/V}^2 \Rightarrow g_{m6} = 2,2 \text{ mA/V}$$

$$r_{o6} = \frac{V_{An} L}{I_{D6}} = 80 \text{ k}\Omega, \quad r_{o7} = \frac{V_{Ap} L}{I_{D7}} = 120 \text{ k}\Omega$$

(P1) (b)  $R_L = \begin{cases} 40 \text{ k}\Omega \\ 4 \text{ k}\Omega \\ 400 \text{ }\Omega \end{cases} \quad \beta = 0,25 \quad (3 \text{ casos})$

$$G_o = A\beta = \begin{cases} 1233 \text{ V/V} = 63,8 \text{ dB} & \text{(i)} \\ 259 \text{ V/V} = 46,4 \text{ dB} & \text{(ii)} \\ 22,4 \text{ V/V} = 27,0 \text{ dB} & \text{(iii)} \end{cases}$$

(c) Error relativo:  $\text{err} = \left(1 - \frac{G^{\text{real}}}{G^{\text{id}}}\right)$

$$\Rightarrow \text{err} = \left(1 - \frac{\frac{A}{1+A\beta}}{\frac{A}{\beta}}\right) = \left(1 - \frac{A\beta}{1+A\beta}\right)$$

$$\Rightarrow \text{err} = \begin{cases} 0,081\% & \text{(i)} & (G^{\text{real}} = 3,997 \text{ V/V}) \\ 0,48\% & \text{(ii)} & (G^{\text{real}} = 3,98 \text{ V/V}) \\ 4,27\% & \text{(iii)} & (G^{\text{real}} = 3,83 \text{ V/V}) \end{cases}$$

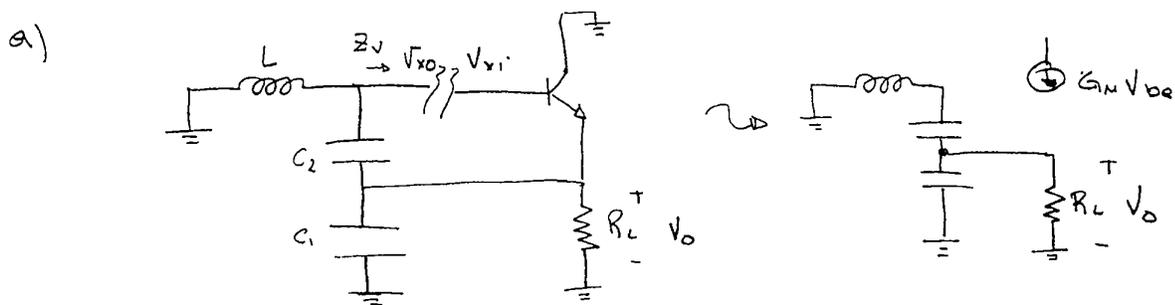
(d)  $f_T$  del amp:  $f_T = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\rho_{m1}}{C_c} = 6,84 \text{ MHz}$

$$\boxed{BW = f_T / G_1 = 1,71 \text{ MHz}}$$

(e)  $R_o$  del amp:  $R_{oA} = r_{o1} // r_{o2} // R_L = 21,8 \text{ k}\Omega$

$$R_o \text{ hacia carga: } \boxed{R_o = \frac{R_{oA}}{1+A\beta} = 17,7 \text{ }\Omega}$$

Problema 2



$$Z_i = r_{\pi} + \beta \left( R_L \parallel Z_{C_1} \parallel Z_{C_2+L} \right) = r_{\pi} + \beta Z_L$$

Para que se cumpla el siguiente planteo espereamos que  $Z_L \ll Z_i$

1)  $V_{be} = V_{xi} - V_o \rightarrow V_{xi} = V_{be} + V_o$  (1)

2)  $V_o = \frac{Z_{C_1}}{Z_{C_1} + Z_{C_2}} \cdot V_{x_0} = \frac{s C_2}{s C_1 + s C_2} V_{x_0} \rightarrow V_{x_0} = \left( 1 + \frac{C_1}{C_2} \right) \cdot V_o$  (2)

3)  $G_m \cdot V_{be} = \frac{V_o}{R_L} + V_o s C_1 + \frac{V_o}{\frac{1}{s C_2} + s L} = V_o \left[ \frac{1}{R_L} + s C_1 + \frac{s C_2}{1 + s^2 L C_2} \right]$  (3)

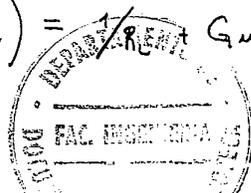
De (1) y (3):  $V_{xi} = \frac{V_o}{G_m} \left[ \frac{1}{R_L} + s C_1 + \frac{s C_2}{1 + s^2 L C_2} + G_m \right]$  (4)

De (2) y (4):  $\frac{V_{x_0}}{V_{xi}} = G_m \frac{1 + C_1/C_2}{1/R_L + G_m + s \left[ C_1 + \frac{C_2}{1 + s^2 L C_2} \right]}$

Se debe cumplir que  $\begin{cases} \text{Im}(V_{x_0}/V_{xi}) = 0 & (a) \\ \text{Re}(V_{x_0}/V_{xi}) = 1 & (b) \end{cases}$

$\Rightarrow$  (a) vale si  $s^2 L C_2 + C_1 + C_2 = 0 \Leftrightarrow \omega^2 = \frac{C_1 + C_2}{L C_1 C_2}$   
 $s = j\omega$

(b) vale si  $G_m \left( 1 + C_1/C_2 \right) = G_m \Leftrightarrow G_m = \frac{C_2}{C_1 R_L}$



se el circuito arranque  $\frac{V_{x0}}{V_{x1}} > 1 \Rightarrow G_m > \frac{C_2}{C_1 R_L}$

este caso  $g_{m\phi} = g_m = \frac{I_1}{V_T}$  (toda la corriente  $I_1$  pasa por  $\phi$ )

al inicio arranca  $G_m = g_{m\phi} \Rightarrow \frac{I_1}{V_T} > \frac{C_2}{C_1 R_L}$

$$\Rightarrow \boxed{I_1 > \frac{C_2}{C_1 R_L} \cdot V_T}$$

medida que el voltaje  $V_{BE}$  aumenta, las componentes no  
 sales de  $i_c$  aumentan, por tanto la componente fundamental  
 $i_c$  disminuye entonces  $V_{BE}$  disminuye  $\Rightarrow V_o$  disminuye  
 (razonamiento analogo se hace si  $V_{BE}$  disminuye)

$$\begin{aligned} \uparrow &\rightarrow \begin{cases} V_b \uparrow \\ V_b - V_e \uparrow \\ (V_b = \frac{z_{c1} - z_{c2} \cdot V_e}{z_{c1}}) \end{cases} \rightarrow r_c = \frac{V_b - V_e}{V_T} \uparrow \rightarrow \frac{G_m}{g_{m\phi}} \downarrow \rightarrow \\ &\rightarrow i_c \downarrow \rightarrow V_o \downarrow \end{aligned}$$

