

Examen de Electrónica 2
05/02/2018

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

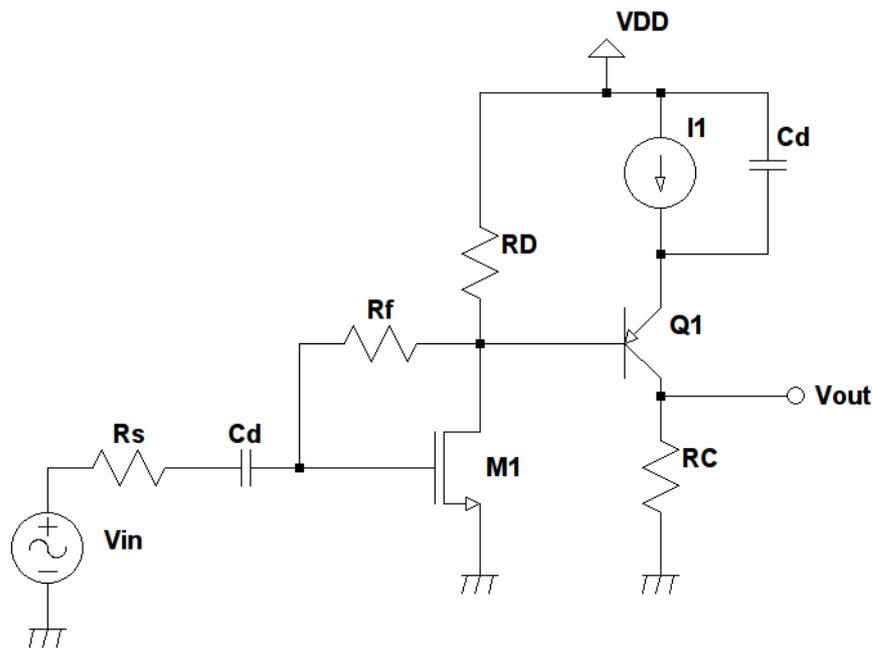
La prueba es **sin** material.

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

Problema 1 : (37 puntos)

En el amplificador de la Figura determinar:

- a) Ganancia a frecuencias medias.
- b) Frecuencia de corte superior.



Datos:

$V_{DD} = 3V$, $I_1 = 0.1mA$

$R_C = 6.8k\Omega$, $R_D = 6.8k\Omega$, $R_f = 10M\Omega$, $R_s = 1k\Omega$.

M1: $V_t = 1V$, $\delta = 0$, $\beta = 10 mA/V^2$, $W = 150\mu m$, $L = 10\mu m$, $C_{OX} = 1 \times 10^{-3} pF/\mu m^2$.

Q1: $V_{EB} = 0.7V$, $\beta = 200$, $C_\mu = 0.8pF$, $C_{je} = 5pF$, $f_T@10mA = 6GHz$.

Los condensadores de desacople Cd se pueden considerar infinitos.

Problema 2: (37 puntos)

- a) Para el oscilador de la Figura 1 calcular frecuencia y condición de oscilación.
- b) Si la relación G_m/g_{m0} en función de la relación $V_p/(V_{GS}-V_T)$ es la dada en la Figura 2, ¿cual 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) ¿Cual 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.
 $V_{DD} = 10 \text{ V}$
 Para M1: $\beta = 2 \text{ mA/V}^2$, $V_T = 1 \text{ V}$, la polarización es tal que el transistor trabaja en la zona de saturación.

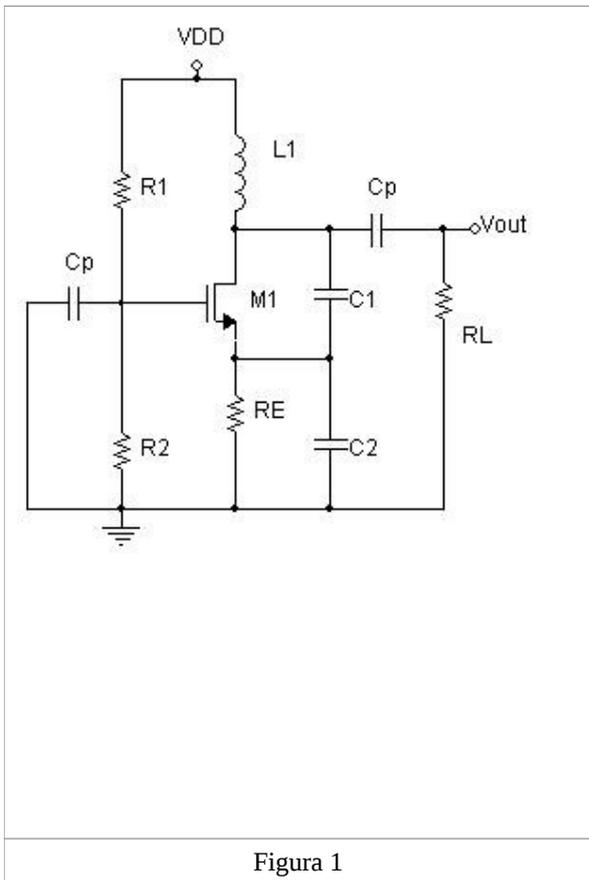


Figura 1

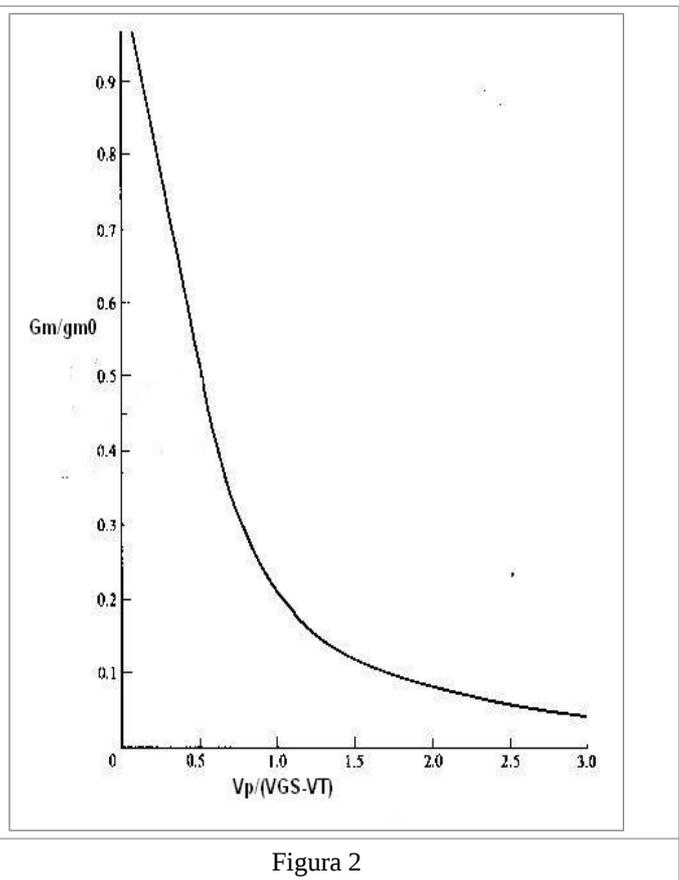


Figura 2

Pregunta: (26 puntos)

Para el circuito de la figura:

- a) Determinar el voltaje rms de ruido equivalente en la salida V_{out} del circuito de la Figura 1 (V_{nout}). Para ello se deberá considerar el ruido aportado por las resistencias y el amplificador. El amplificador operacional $U1$ tiene un voltaje de ruido equivalente a la entrada V_n (nV/\sqrt{Hz}) y producto de ganancia por ancho de banda f_T .
- b) Considere el circuito de la Figura 1 como la segunda etapa de una cadena de filtrado como se muestra en la Figura 2. Determinar cuál es el máximo voltaje rms de ruido equivalente en la salida $V1$ (V_{n1}) que el Bloque Preamp puede generar, si se desea que el ruido aportado por el circuito de la Figura 1 referido a su entrada, sea al menos 10 veces menor que V_{n1} .

Fig 1:

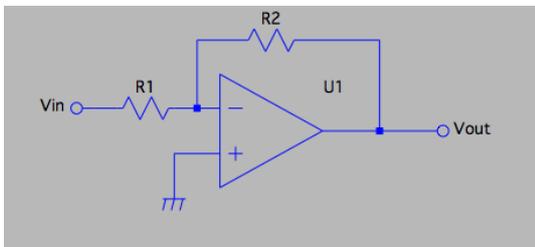
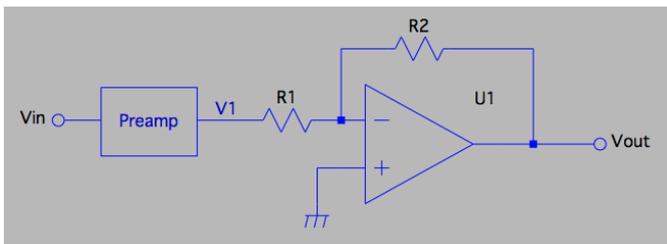
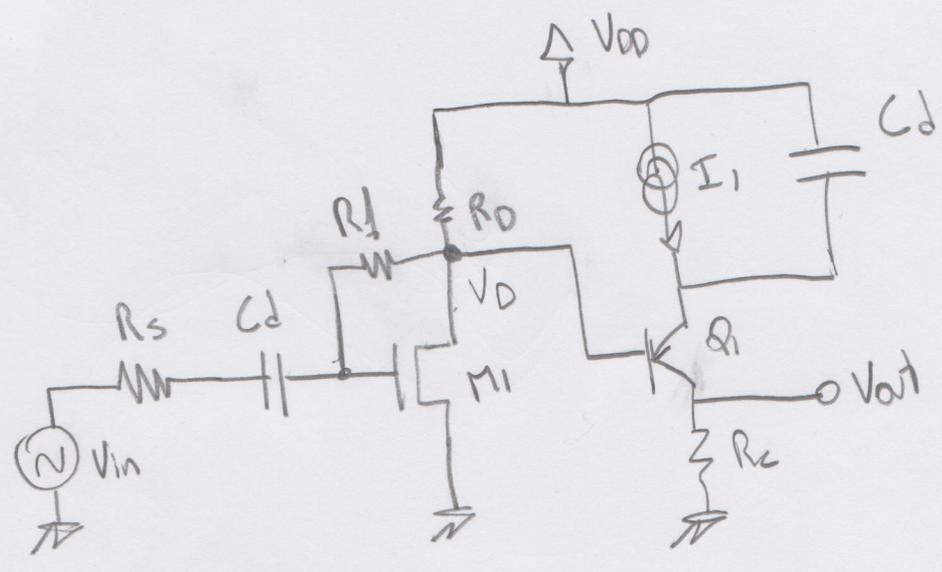


Fig 2:



Problem 1

2



Polarisation:

I_{M1} ?

$$\frac{\beta_{mos}}{2} (V_D - V_T)^2 = \frac{V_{DD} - V_D}{R_D} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\beta}{2} V_D^2 + \left(\frac{1}{R_D} - V_T \beta \right) V_D + \frac{\beta V_T^2}{2} - \frac{V_{DD}}{R_D} = 0$$

b
c

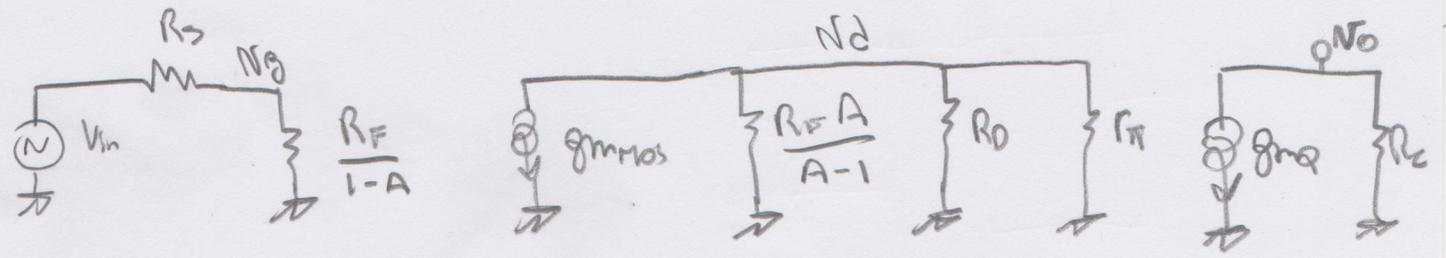
$$-b \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \rightarrow V_D = 1,2 \text{ V } \checkmark \quad (V_D > V_T \checkmark)$$

$$V_D = 0,74 \text{ V } \times \quad (V_D < V_T \times)$$

$$\Rightarrow I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R_D} = 260 \mu\text{A} \quad \Rightarrow \quad g_{m_{mos}} = \sqrt{2\beta I_D} \approx 2,28 \text{ mS}$$

$$g_{m2} = \frac{I_1}{V_T} \approx 3,8 \text{ mS}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_{m2}} = 52 \text{ k}\Omega$$



$$\frac{N_d}{N_g} = A \approx -g_{mMOS} \cdot R_D \cdot r_{\pi} = -13,7 \text{ V/V}$$

\uparrow
 25umrds
 $A \gg 1$

$$\frac{N_g}{N_{in}} = \frac{R_F / (1-A)}{R_F / (1-A) + R_S} \approx 1 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow G = \frac{N_g}{N_{in}} \cdot \frac{N_d}{N_g} \cdot \frac{N_o}{N_d} = \frac{N_o}{N_{in}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow G = \frac{N_o}{N_{in}} = 358 \text{ V/V}$$

$$\frac{N_o}{N_d} = -g_{mQ} \cdot R_C \approx -26,1 \text{ V/V}$$

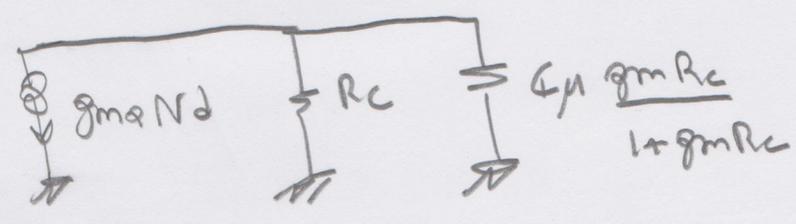
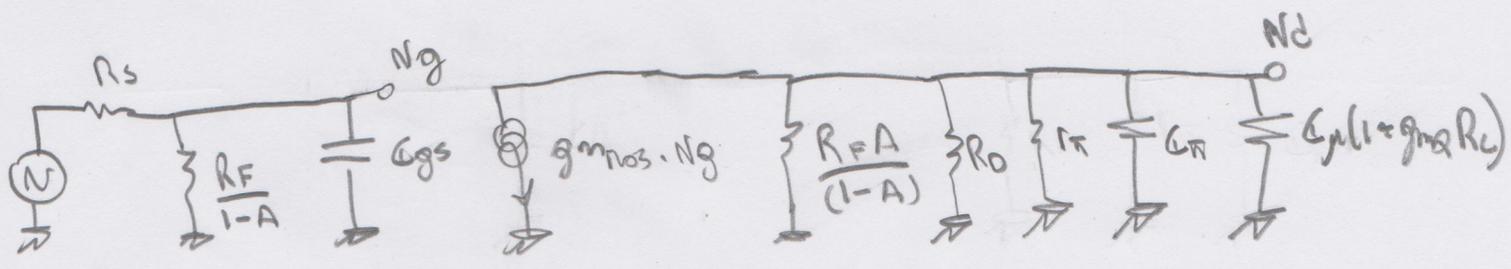
(b)

$$Q: f_{\pi @ 10\mu A} = \frac{g_{m @ 10\mu A}}{2\pi (C_{\pi @ 10\mu A} + C_{\mu})} \Rightarrow C_{\pi @ 10\mu A} = \frac{g_{m @ 10\mu A}}{2\pi f_{\pi @ 10\mu A}} - C_{\mu} = 9,4 \text{ pF}$$

$$C_{\pi @ 10\mu A} = C_{je} + \alpha \cdot I_1 \Rightarrow \alpha = \frac{C_{\pi @ 10\mu A} - C_{je}}{10\mu A} = 4,4 \cdot 10^{-10} \frac{F}{A}$$

$$C_{\pi @ I_1} = C_{je} + \alpha \cdot I_1 = 5,04 \text{ pF}$$

$$m: C_{gs} = 2/3 \cdot W \cdot L \cdot C_{ox} = 1 \text{ pF}$$



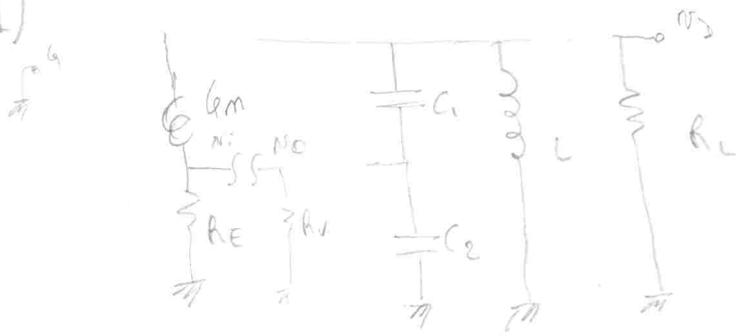
$$f_1 = \frac{1}{2\pi \cdot R_s \parallel \frac{R_F}{1-A} \cdot C_{gs}} \approx 159 \text{ MHz}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi \cdot R_O \parallel r_{\pi} \parallel \frac{R_F A}{1-A} \cdot (C_{\pi} + C_{\mu}(1 + g_m R_C))} \approx 989 \text{ kHz}$$

$$f_3 = \frac{1}{2\pi \cdot R_C \cdot C_{\mu} \frac{g_m R_C}{g_m R_C + 1}} \approx 29,2 \text{ MHz}$$

$\Rightarrow f_{-3dB} = 989 \text{ kHz}$

Problema 1)



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

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

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

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

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

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

$\omega = \omega_0$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Problema 2:

$$I_{D1} = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = V_{DS} = V_{DD} - R_D \cdot I_D$$

$$V_{GS} = V_{DD} - R_D \cdot \frac{\beta}{2} V_{GS}^2 + \beta V_{GS} \cdot V_T \cdot R_D - R_D \cdot \frac{\beta}{2} V_T^2$$

$$-14,25 V_{GS}^2 + 21,8 V_{GS} - 4,12$$

$$V_{GS} = \frac{-21,8 \pm \sqrt{21,8^2 - 4 \cdot 14,25 \cdot 4,12}}{2 \cdot 14,25}$$

$$= \frac{-21,8 \pm 15,5}{-28,5}$$

1,31

$$I_{D1} = \frac{5 - 1,31}{5k} = 0,74 \text{ mA} \Rightarrow g_{m1} = \sqrt{2\beta \cdot I_{D1}} = 2,9 \text{ mS}$$

$$g_{m2} = g_{m3} = \sqrt{2\beta I_0} = 4,77 \text{ mA/V}$$

$$C_{gd1,2,3} = W \cdot C_{gdov} = 0,1 \text{ pF}$$

$$C_{gs1,2,3} = \frac{2}{3} W \cdot L \cdot C_{ox} + W C_{gsov} \approx 26,1 \text{ pF}$$