

Examen de Electrónica 2
19/12/2013

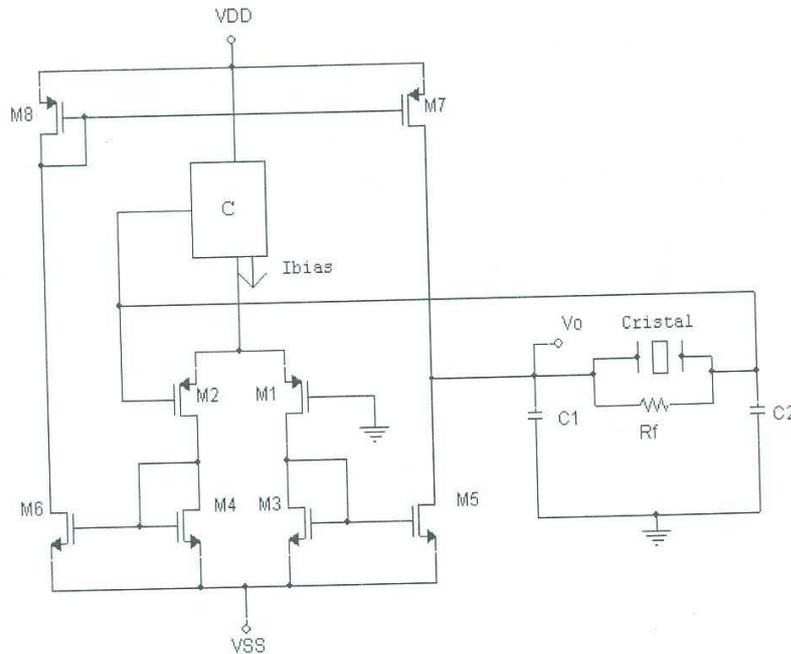
Resolver cada problema en hojas separadas.
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.
La prueba es **sin** material.
Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1: (38 puntos)

En el oscilador de la figura, R_f es una resistencia de valor muy alto que permite polarizar el gate de M2 y que se supondrá infinita a los efectos de la señal. Los transistores tienen los siguientes datos: $\beta_n = (\mu C_{ox} W/L)_n = (\mu C_{ox} W/L)_p = \beta_p$, $V_{ton} = |V_{top}| = V_{to}$, $\delta_n = \delta_p = 0$, $V_{An} = V_{Ap} = \infty$. La amplitud de la señal es tal que los transistores operan en pequeña señal.

El bloque C implementa el control de amplitud del oscilador, generando la corriente indicada como I_{bias} y se supondrá no toma corriente por su entrada. El cristal se modela con una impedancia $R+jX$.

- a) Determinar la frecuencia y condición de oscilación en función de la salida del bloque de control I_{bias} .
- b) Si el cristal utilizado tiene el siguiente modelo: $r_{serie}=100\text{ohm}$, $L=520\text{mHy}$, $C_{serie}=0.012\text{pF}$, $C_{paralelo} = 4\text{pF}$, indicar en que rango de frecuencias se encontrará la frecuencia de oscilación.
- c) El bloque de control C genera una corriente I_{bias} a su salida igual a:
 $I_{bias} = K1 \cdot V_{gp} + K2$, siendo V_{gp} la amplitud de pico de la componente de señal en el gate del transistor M2.
 - i) ¿Qué signo debe tener K1 y que condición debe cumplir K2 para que el oscilador arranque y el control de amplitud funcione correctamente? Fundamente.
 - ii) Determine la amplitud de la oscilación V_{op} que tendrá el oscilador en función del resto de los parámetros del sistema.



Problema 2: (36 puntos)

Para el circuito de la figura calcule:

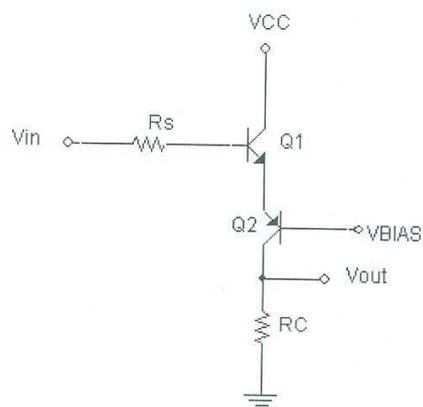
- Ganancia en la banda pasante V_{out}/V_{in} .
- Frecuencia de cortes superior f_H .
- ¿Cual es la R_s máxima que soporta el circuito si se precisa que el margen de fase sea al menos 65° ? ¿Que ganancia en banda pasante resulta en ese caso?

Datos: Q1, Q2: $\beta = 100$; $V_A = \text{infinito}$; $C_{je} = 0,5\text{pF}$; $C_{mu} = 5\text{pF}$; $I_{DC} = 1\text{mA}$ (no se muestra el circuito de polarización); $f_T@5\text{mA} = 2\text{GHz}$.

$R_s = 600\ \text{ohm}$.

$R_c = 10\text{k}$

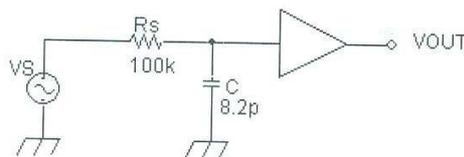
Asuma en todo momento que los transistores se encuentran en zona activa.

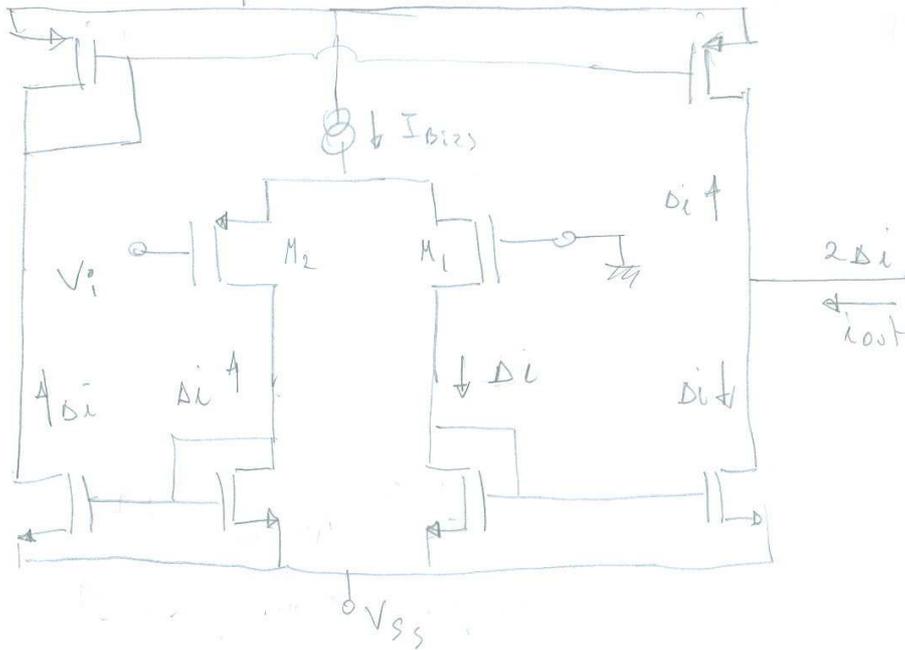
**Pregunta : (26 puntos)**

Se desea amplificar y filtrar la señal proveniente de un sensor V_S , que genera señales en la banda de 25Hz a 7kHz, con una resistencia de salida $R_s=100\text{k}\Omega$, como se muestra en la Figura 1. Para ello se utiliza un amplificador de ganancia 100 cuya respuesta en frecuencia se supondrá es la de un filtro ideal con frecuencias de corte a 1Hz y 10kHz, y que tiene un ruido equivalente de entrada, con densidad espectral constante igual a $120\text{nV}/(\text{Hz})^{1/2}$, siendo la corriente de entrada que toma el amplificador despreciable.

- Determinar la tensión de ruido rms a la salida.
- ¿Cómo cambia el resultado si $R_s=100$? Justifique.

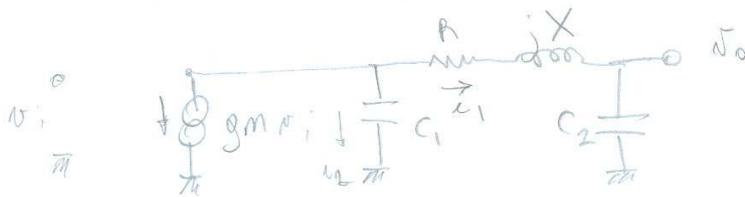
Datos: $T = 290^\circ\text{K}$, $k=1.38 \times 10^{-23}$





$$\Delta i = g_{m1,2} \cdot v_i / 2 \Rightarrow i_{out} = 2\Delta i = g_{m1,2} v_i$$

Abro el loop en el gate de M2



$$v_o = \frac{i_1}{C_2 j\omega}$$

$$i_1 = \frac{-g_m v_i \left(\frac{1}{j\omega C_1} \right) \left(R + jX + \frac{1}{j\omega C_2} \right)}{R + jX + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2}} \cdot \frac{1}{\left(R + jX + \frac{1}{j\omega C_2} \right)}$$

$$\Rightarrow v_o = \frac{-g_m v_i}{C_2 j\omega \left(C_1 R j\omega + 1 + \frac{C_1}{C_2} - C_1 X \omega \right)}$$

$$1 + \frac{C_1}{C_2} - C_1 X \omega = 0 \Rightarrow C_1 X \omega = \frac{C_2 + C_1}{C_2}$$

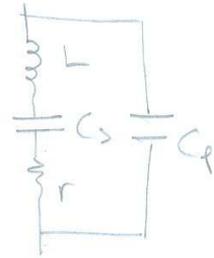
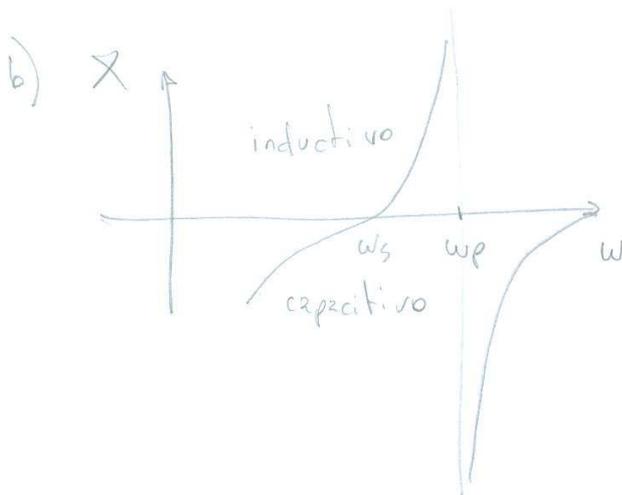
$$\omega_{osc} = \frac{1}{X \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}} \quad (X = \omega L \Rightarrow \omega_{osc} = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}})$$

$$\frac{N_0}{N_i} = \frac{g_m}{C_1 C_2 R \omega_{osc}^2} = 1$$

$$X = \omega L \Rightarrow \sqrt{\beta I_{B,AS}} = \frac{R(C_1 + C_2)^2}{C_1 C_2 L^2 \left(\frac{C_1 + C_2}{L(C_1 C_2)} \right)}$$

$$= \frac{R(C_1 + C_2)}{L}$$

$$g_m = \sqrt{2\beta \frac{I_{B,AS}}{r}} \Rightarrow \frac{N_0}{N_i} = \frac{\sqrt{\beta I_{B,AS}}}{C_1 C_2 R \frac{1}{\frac{X^2 (C_1 C_2)^2}{(C_1 + C_2)^2}}} \Rightarrow \frac{\sqrt{\beta I_{B,AS}} \cdot X^2 C_1 C_2}{R (C_1 + C_2)^2} = 1$$



Para que el circuito oscile X debe ser positivo (inductivo)

$$\Rightarrow \omega_s < \omega_{osc} < \omega_p$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C_1}} = 2,0148 \text{ MHz}$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} = 2,0178 \text{ MHz}$$

$$\rightarrow 2,0148 \text{ MHz} < f_{osc} < 2,0178 \text{ MHz}$$

c)

$$a) A_{\beta}(j\omega_{osc}) = \frac{\sqrt{\beta I_{B,AS}} X^2 C_1 C_2}{R (C_1 + C_2)^2} = \frac{\sqrt{\beta (K_1 V_{gp} + K_2)} \cdot X^2 \cdot C_1 C_2}{R (C_1 + C_2)^2} = 1$$

En el arranque $V_{gp} = \phi$

$$\Rightarrow A_{\beta}(j\omega_{osc}) = \frac{\sqrt{\beta K_2} \cdot X^2 C_1 C_2}{R (C_1 + C_2)^2} > 1$$

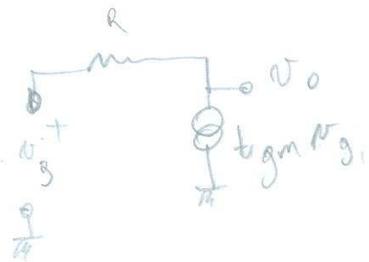
$$\Rightarrow K_2 > \frac{R^2 (C_1 + C_2)^4}{\beta \cdot X^4 (C_1 C_2)^2}$$

A medida que crece la amplitud $A\beta$ debe ir disminuyendo hasta que $A\beta = 1 \Rightarrow K_1 < \phi$

$$\bar{u}) \quad A\beta(j\omega_{osc}) = \frac{\sqrt{\beta(k_2 - K_1 V_{gp})} \cdot \omega^2 C_1 C_2}{R(C_1 + C_2)^2} = 1$$

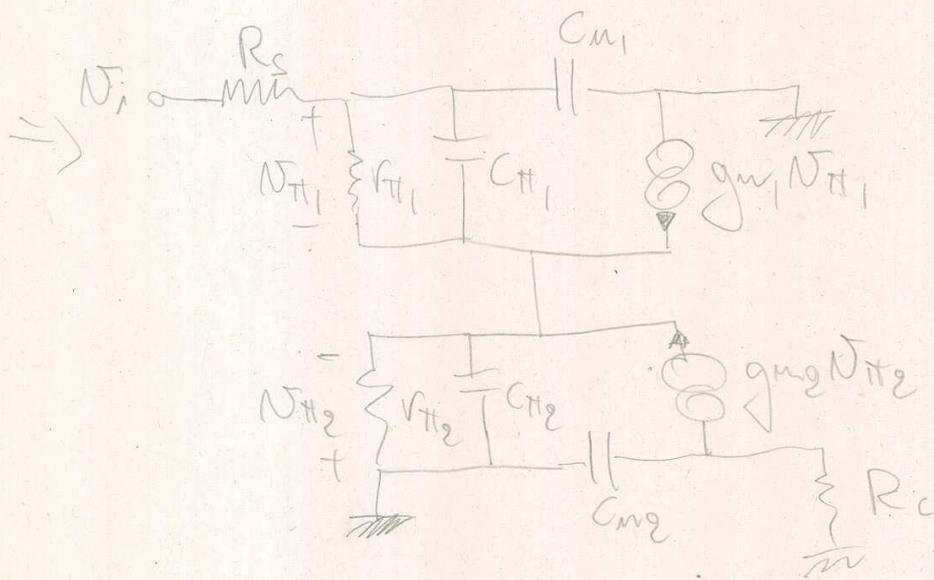
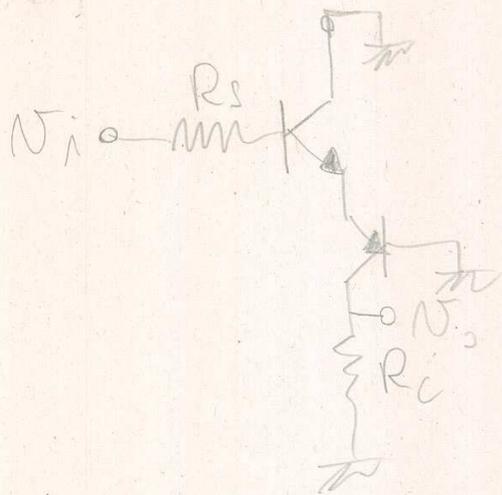
$$\Rightarrow V_{gp} = \frac{1}{K_1} \left[k_2 - \frac{(C_1 + C_2)^4 R^2}{\beta \times 4 (C_1 C_2)^2} \right]$$

En resonancia el circuito tiene impedancia real



$$v_g - v_o = R \cdot g_m v_g \Rightarrow \frac{v_o}{v_g} = (1 - R g_m)$$

$$\Rightarrow v_{of} = v_{gp} \cdot (1 - R g_m)$$



Resolvemos el modo que conecta ambos emisores

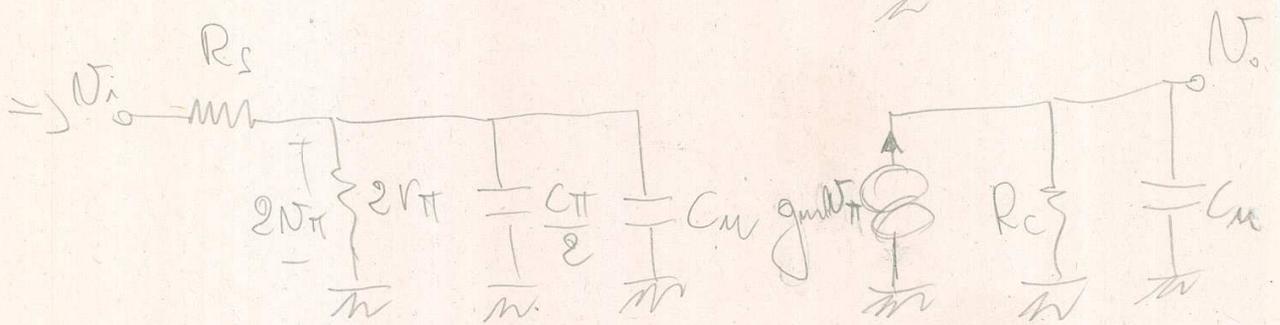
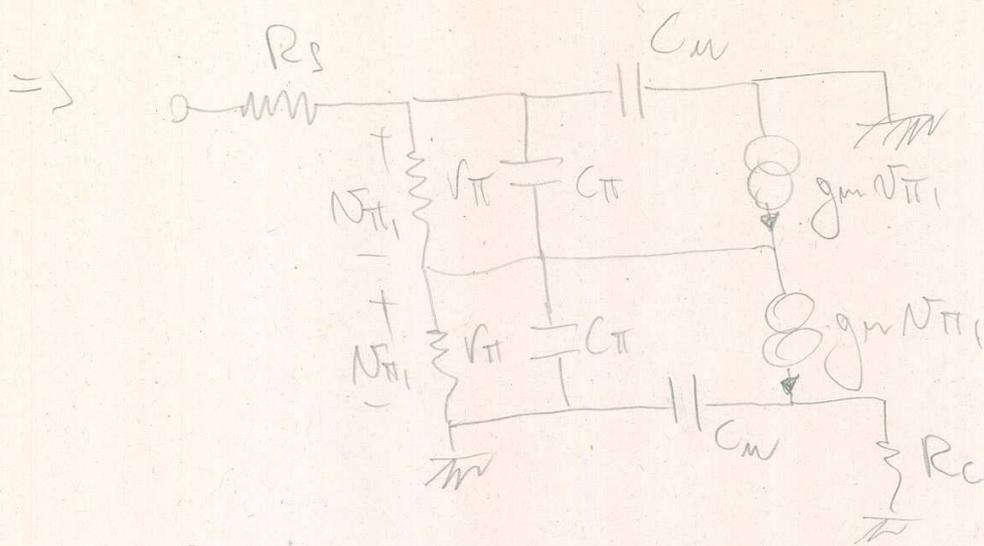
$$N_{\pi 1} \left(\frac{1}{r_{\pi 1}} + C_{\pi 1} \Delta + g_{m1} \right) + N_{\pi 2} \left(\frac{1}{r_{\pi 2}} + C_{\pi 2} \Delta + g_{m2} \right) = 0$$

$$\Downarrow \cdot N_{\pi 1} + N_{\pi 2} = 0 \Rightarrow N_{\pi 1} = -N_{\pi 2}$$

$$C_{\pi 1} = C_{\pi 2}$$

$$r_{\pi 1} = r_{\pi 2}$$

$$g_{m1} = g_{m2}$$



2) En AC $2v_{\pi} = N_i \frac{2r_{\pi}}{2r_{\pi} + R_s} \Rightarrow v_{\pi} = \frac{r_{\pi}}{2r_{\pi} + R_s} N_i$

$\Rightarrow N_o = R_c g_m v_{\pi} \Rightarrow N_o = \frac{R_c g_m r_{\pi}}{2r_{\pi} + R_s} N_i$

$$\frac{N_o}{N_i} = \frac{\beta R_c}{2r_{\pi} + R_s}$$

$$\frac{N_o}{N_i} = 172$$

b) Tenencias dos polos

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi (2V_{T1} / I_{DC}) \left(\frac{C_{\pi}}{2} + C_M \right)}$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi R_C C_M}$$

Calculo C_{π}

$$f_{T@1mA} = \frac{g_m^*}{2\pi (C_{\pi}^* + C_M)} \Rightarrow C_{\pi}^* = C_{je} + K I_{DC} = \frac{g_m^*}{2\pi f_{T@1mA}} - C_M$$

$$\Downarrow \begin{matrix} I_{DC}^* = 1mA \\ \uparrow \end{matrix} K = \frac{1}{I_{DC}^*} \left(\frac{g_m^*}{2\pi f_{T@1mA}} - C_M - C_{je} \right) = 1,96 \cdot 10^{-9} \text{ F/A}$$

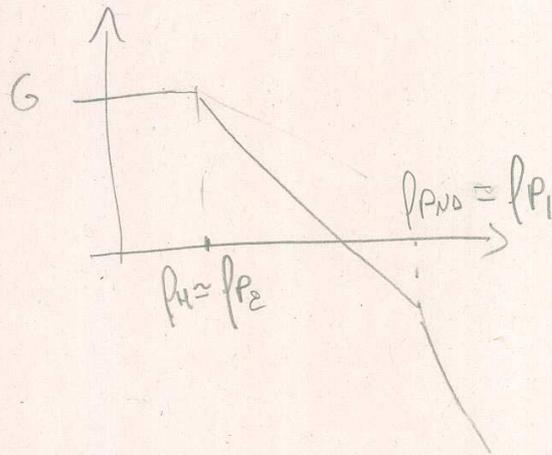
$$\Rightarrow C_{\pi} = C_{je} + K I_{DC} \Downarrow \begin{matrix} I_{DC} = 10mA \\ \uparrow \end{matrix} 2,46 \text{ pF}$$

$$\Rightarrow f_{p1} = 47,5 \text{ MHz} \quad // \quad f_{p2} = 3,2 \text{ MHz}$$

$\Rightarrow f_{p2}$ es el polo dominante \Rightarrow

$$\boxed{f_H \approx \frac{1}{2\pi R_C C_M}} \Rightarrow \boxed{f_H \approx 3,2 \text{ MHz}}$$

$$c) \text{NSP} = \frac{P_{ND}}{P_T} \gg 2,2$$



$$\Rightarrow f_T = G \cdot f_{P2}$$

$$\Rightarrow \frac{P_{P1}}{G f_{P2}} \gg 2,2 \Rightarrow \frac{1}{2\pi(2v_{\pi} || R_S)(\frac{C_{\pi}}{2} + C_M)} \cdot \frac{2\pi R_C C_M}{G} \gg 2,2$$

$$\Rightarrow \frac{R_C C_M}{2,2 G (\frac{C_{\pi}}{2} + C_M)} \gg (2v_{\pi} || R_S)$$

$$\frac{2v_{\pi} R_S}{2v_{\pi} + R_S} \leq A \Rightarrow 2v_{\pi} R_S \leq A 2v_{\pi} + A R_S$$

$$\Rightarrow R_S(2v_{\pi} - A) \leq A 2v_{\pi} \Rightarrow R_S \leq \frac{A 2v_{\pi}}{2v_{\pi} - A}$$

$$R_S^{\text{MAX}} = 21,2 \Omega$$

$$G = 191$$