

Examen de Electrónica 2
06/02/2015

Resolver cada problema en hojas separadas.

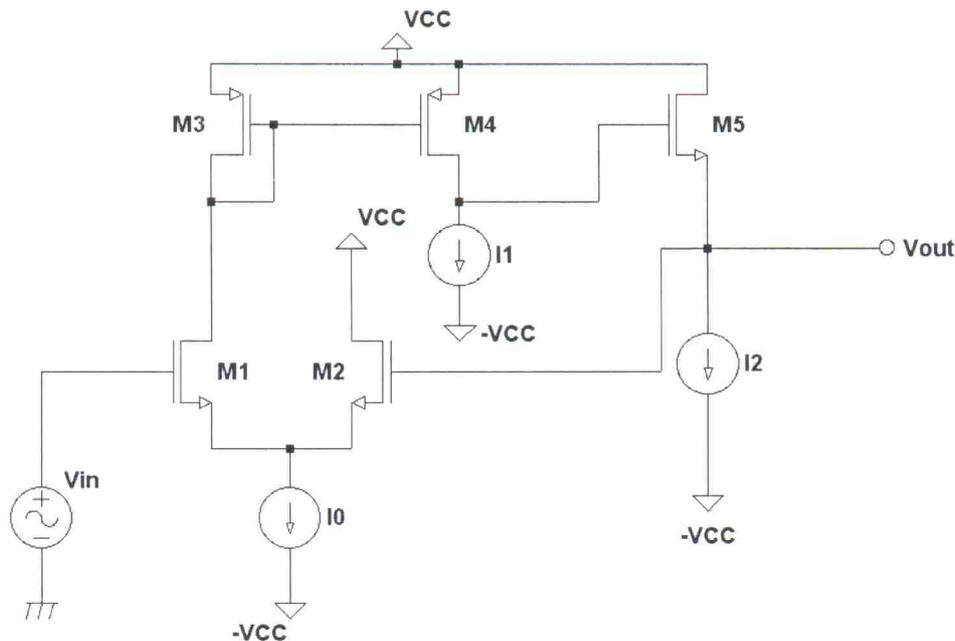
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es **sin** material.

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

Problema 1: (35 puntos)

- Para el amplificador de la figura calcular la ganancia de lazo abierto y su resistencia de salida R_{out} .
- Calcular la ganancia para el amplificador realimentado y la nueva resistencia de salida R_{outf} .
- Suponiendo que la limitante en la excursión de la salida esta dada por la saturación de M5 calcular la máxima excursión a la salida.
- Calcular la máxima eficiencia del circuito y la máxima potencia disipada en el transistor de salida M5, para una señal sinusoidal de entrada con una amplitud que puede variar entre 0 y la amplitud calculada en c), si se conecta una resistencia de carga $R_L = 100\Omega$ entre V_{out} y tierra.



Datos:

$I_0 = 200\mu A$, $I_1 = 300\mu A$, $I_2 = 10mA$ son fuentes de corriente que se podrán considerar ideales.

Los transistores M1 a M3 son idénticos con: $\beta_N = \beta_P = 2,4 mA/V^2$, para el transistor M4 $\beta_P = 7,2 mA/V^2$ y para M5 $\beta_N = 7,2 mA/V^2$, para todos los transistores $V_A = 24V$, $V_{t0} = 0.7V$.
 $V_{CC} = 2,5V$.

Problema 2: (40 puntos)

Para el circuito de la figura calcule:

- a) Calcule la frecuencia y condición de oscilación.
- b) Si se utiliza la resistencia R_f para implementar el control de amplitud la cual tiene una dependencia con la amplitud V_p de la tensión V_1 del tipo $R_f = K / (V_p + V_u) + R_f0$, indique que condiciones deben cumplir K y R_f0 para que el circuito funcione correctamente. Asuma que V_u es una constante positiva.
- c) Si se quiere que la señal V_1 sea amplificada por el amplificador formado por Q_1 y R_c . Calcule que condición deben cumplir R y C para que la sinusoides esté en la banda pasante de dicho amplificador.

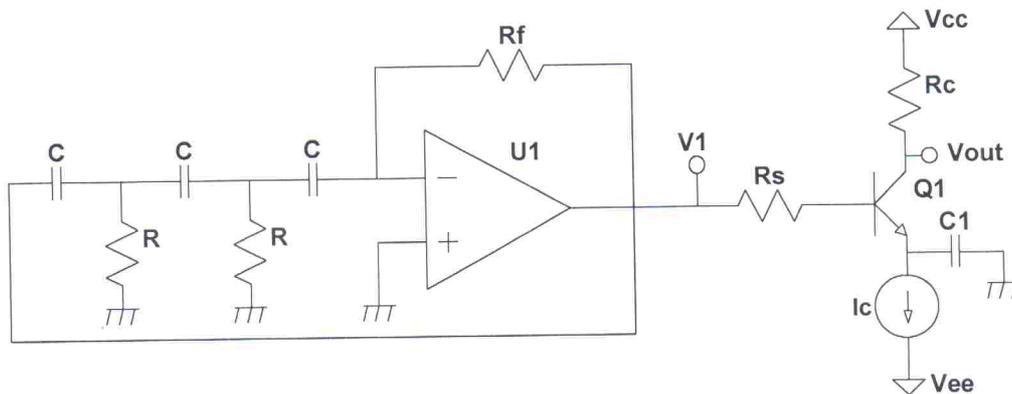
Datos: U_1 – Ideal.

$C_1 =$ infinito.

$R_c = R_s = 100\Omega$.

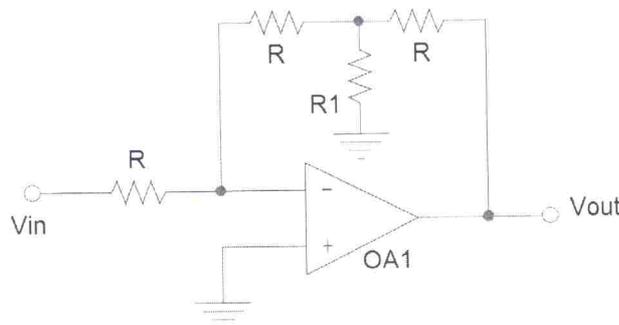
$Q_1 - I_c = 100mA; \beta = 200; f_T @ I_c = 10mA = 100MHz; C_\mu = 3pF; C_{JE} = 30pF$

V_{cc} y V_{ee} – suficientemente grandes para que Q_1 este siempre en zona activa.

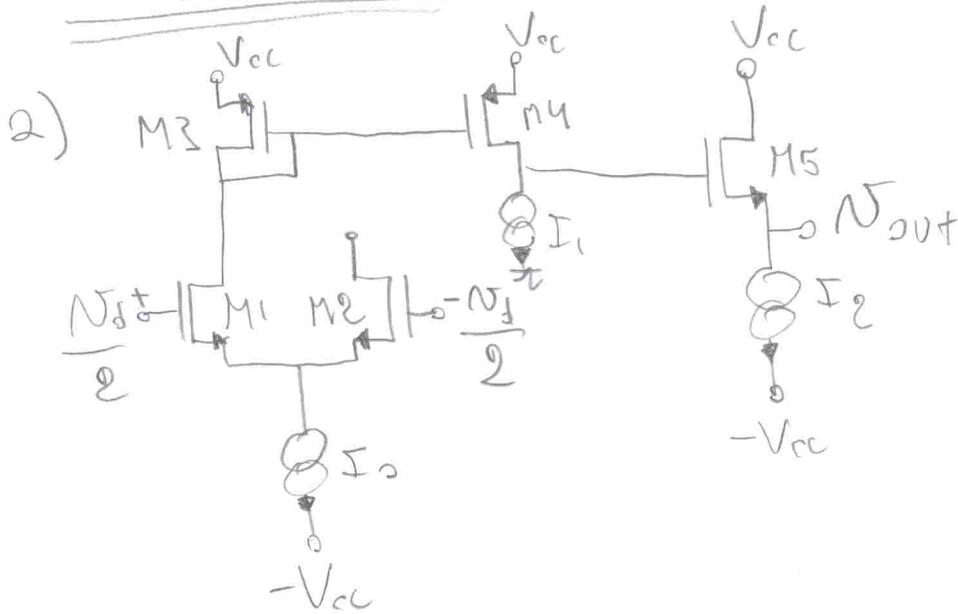


Pregunta : (25 puntos)

Para el circuito de la figura determinar el voltaje rms de ruido equivalente en la salida V_{out} . Para ello se deberá considerar el ruido aportado por las resistencias, que se trabaja sobre un ancho de banda ideal de B Hz y que el amplificador operacional OA_1 tiene, en ese ancho de banda, un ruido equivalente de entrada con densidad espectral de potencia constante igual a S_A V^2/Hz .



Problema 1



Factor de copia del espejo M3-M4

$$i_{Dn} = \left(\frac{\beta_4}{\beta_3}\right) i_{D3} = \left(\frac{\beta_4}{\beta_3}\right) i_{D3} = \left(\frac{\beta_4}{\beta_3}\right) \frac{g_{m1} V_d}{2}$$

En el drain de M4 la resistencia vista es V_{o4}

$$\Rightarrow \frac{V_{d4}}{V_{in}} = \left(\frac{\beta_4}{\beta_3}\right) \frac{g_{m1} V_{o4}}{2} \Rightarrow A^{OL} = \left(\frac{\beta_4}{\beta_3}\right) \frac{g_{m1} V_{o4}}{2}$$

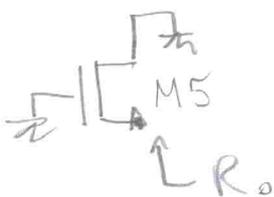
M5 seguidor

$$g_{m1} = \sqrt{2\beta_1 \frac{I_0}{2}} = 7 \times 10^{-4} \text{ A/V}^2$$

$$V_{o4} = \frac{V_{A4}}{I_1} = 80 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow A^{OL} = 83,1 \text{ V/V}$$

Para calcular R_o cortocircuitado la entrada \Rightarrow



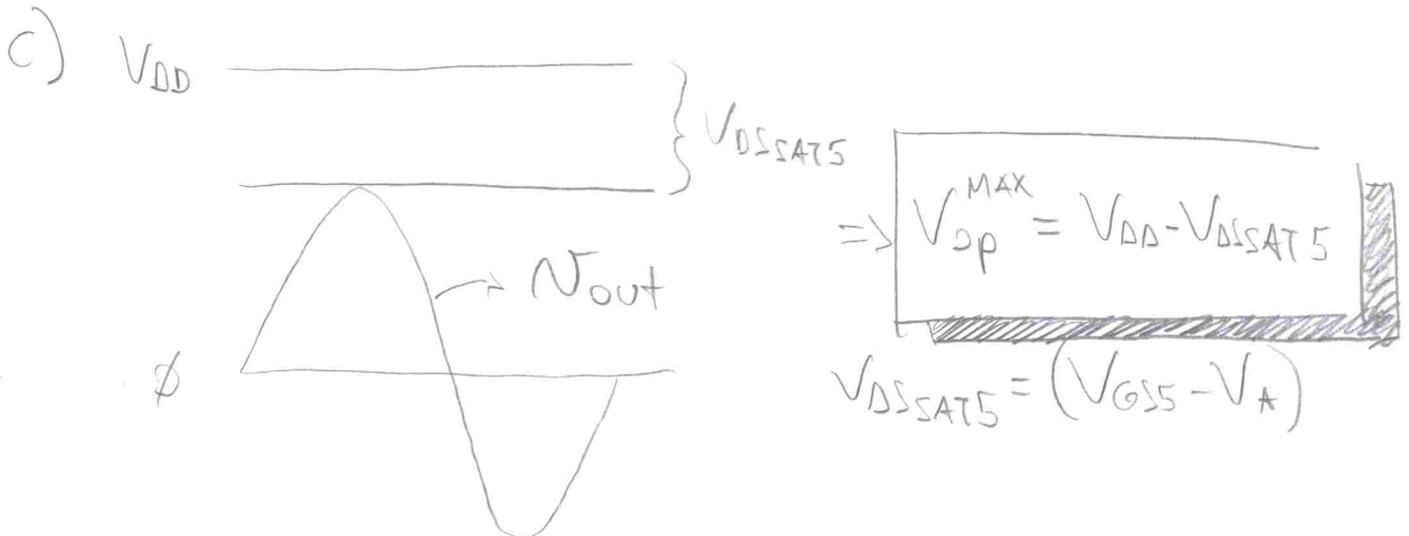
$$R_o^{OL} = \frac{1}{g_{m5}}$$

$$\Rightarrow R_o^{OL} = 83 \Omega$$

Problema 1

$$b) (\beta=1) A^{CL} = \frac{A^{OL}}{1 + A^{OL}} = 0,97 \text{ V/V} \Rightarrow A^{CL} = 0,99 \text{ V/V}$$

$$R_o^{CL} = \frac{R_o^{OL}}{(1 + A^{OL})} = 1 \Omega \Rightarrow R_o^{CL} = 1 \Omega$$



$$V_{GS5} = V_T + \sqrt{\frac{2 I_e}{\beta_5}} = 2,37 \text{ V} \Rightarrow V_{DSSAT5} = 1,67 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{opMAX} = 0,83 \text{ V}$$

d) Como $I_2 \gg I_1, I_3 \Rightarrow \bar{P}_{Vcc^+} = \bar{P}_{Vcc^-} = V_{cc} I_2$

$$\Rightarrow P_{Vcc} = 2 V_{cc} I_2 \quad // \quad P_{LMAX} = \frac{V_{op}^{MAX 2}}{2 R_L} \Rightarrow$$

$$\eta_{LMAX} = \frac{P_{LMAX}}{P_{Vcc}} \Rightarrow \eta_{LMAX} = \frac{V_{op}^{MAX 2}}{4 R_L V_{cc} I_2} \Rightarrow \eta_{LMAX} = 0,14$$

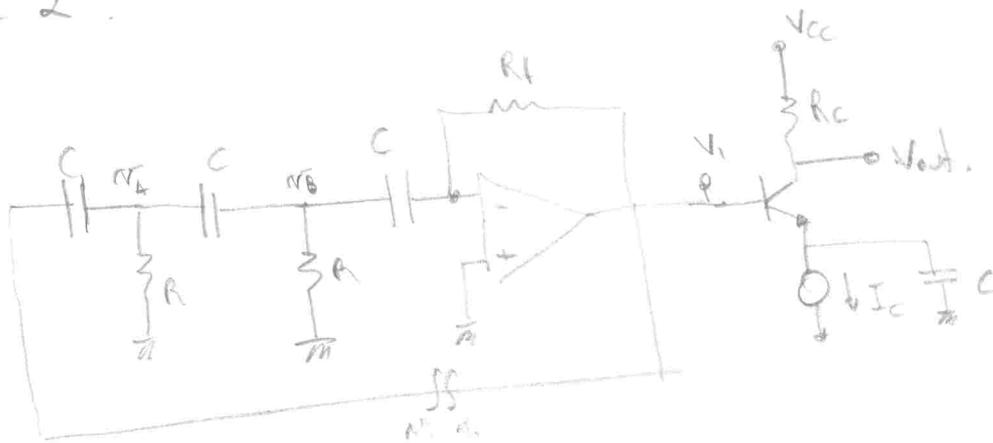
d) La potencia disipada promedio de M5 es:

$$\overline{P}_{M5} = \overline{V_{DS5} \cdot I_{D5}} = \overline{(V_{CC} - V_o \text{ sem}(wt)) \left(I_2 + \frac{V_o \text{ sem}(wt)}{R_L} \right)}$$

$$= V_{CC} I_2 - \frac{V_o^2}{2R_L} \Rightarrow \text{La potencia máxima se da}$$

en reposo \Rightarrow $P_{M5MAX} = V_{CC} I_2 \Rightarrow P_{M5MAX} = 25 \text{ mW}$

Problema 2:



$$N_B = -\frac{1}{C_s} \cdot \frac{N_0}{R_f}$$

$$N_A = N_B - \frac{1}{C_s} \cdot \left(\frac{N_0}{R_f} - \frac{N_B}{R} \right) = -\frac{1}{C_s} \frac{N_0}{R_f} - \frac{1}{C_s} \left(\frac{N_0}{R_f} + \frac{1}{C_s} \frac{N_0}{R R_f} \right)$$

$$= -N_0 \left(\frac{1}{C_s R_f} + \frac{1}{C_s R_f} + \frac{1}{C_s^2 R R_f} \right)$$

$$N_i = N_A - \frac{1}{C_s} \cdot \left(\frac{N_0}{R_f} - \frac{N_B}{R} - \frac{N_A}{R} \right)$$

$$N_i = N_A - \frac{1}{C_s} \left(\frac{N_0}{R_f} + \frac{N_0}{C_s R_f R} + \frac{N_0 2}{C_s R_f R} + \frac{N_0}{C_s^2 R^2 R_f} \right)$$

$$N_i = -N_0 \left(\frac{2}{C_s R_f} + \frac{1}{C_s^2 R R_f} + \frac{1}{R C_s} + \frac{3}{C_s^2 R R_f} + \frac{1}{C_s^3 R^2 R_f} \right)$$

$$= -N_0 \left(\frac{3}{C_s R_f} + \frac{4}{C_s^2 R R_f} + \frac{1}{C_s^3 R^2 R_f} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{N_0}{N_i} = \frac{-C_s^3 R^2 R_f}{3 C_s^2 R^2 + 4 C_s R + 1} = -A\beta$$

$$\text{Im} \cdot A\beta = \phi \Rightarrow -3C^2 \omega^2 R^2 + 1 = \phi \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{3C^2 R^2}} = \frac{1}{\sqrt{3} R C}$$

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi \sqrt{3} R C}$$

Cond. Osc.

$$\frac{C^2 \omega^2 \cdot R^2 R_f}{4 C_{\mu} R} = 1$$

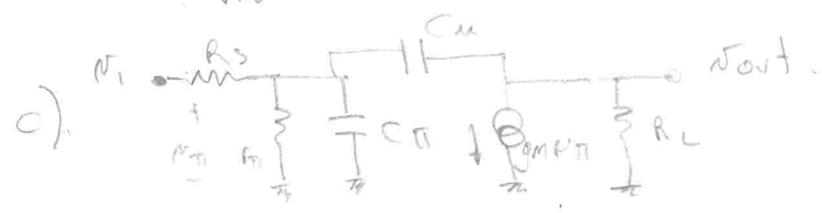
$$\frac{C^2 \cdot R \cdot R_f}{R^2 C_{\mu} \cdot 3 \cdot 4} = \frac{R_f}{12R} = 1$$

b) Para la amplitud de oscilación V_p se debe cumplir la condición de oscilación

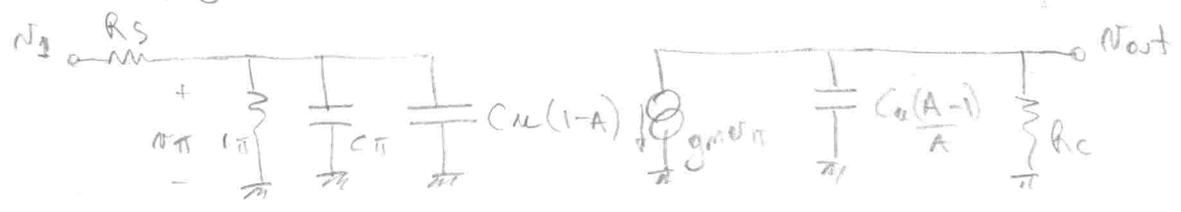
$$R_{f_{osc}} = \frac{K}{V_p + V_{th}} + R_{fo} = 12R$$

En el arranque $V_p = 0$ $R_f > R_{fo}$ y luego disminuir su valor con $V_p \Rightarrow K > 0$

$$\frac{K}{V_{th}} + R_{fo} > 12R$$



Reemplazamos C_{μ} por Miller



$$A = -g_m R_c = \frac{-100 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} \cdot 100 = -385$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{200 \cdot 26 \text{ mV}}{100 \text{ mA}} = 52 \Omega$$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_{\pi} + C_u)} \Rightarrow C_{\pi} + C_u = \frac{g_m}{2\pi \cdot f_T} = 612 \text{ pF}$$

$$C_{\pi} \underset{C_{\text{int}}}{=} 612 \text{ pF} - 30 \text{ pF} = 582 \text{ pF} = 58,2 \text{ pF/mA} \cdot 10 \text{ mA}$$

$$C_{\pi} \underset{C_{100 \text{ mA}}}{=} 58,2 \text{ pF/mA} \cdot 100 \text{ mA} + 30 \text{ pF} = 5,85 \text{ nF}$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi \cdot R_S // r_{\pi} (C_{\pi} + C_u \cdot 386)} = 664 \text{ kHz}$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{39,2 \Omega} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{5,85 \text{ nF}} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{1,16 \text{ nF}}$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi R_C C_u} = 530 \text{ MHz}$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{100 \Omega} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{3 \text{ pF}}$

$$f_{\text{osc}} < f_{-3\text{dB}} \Rightarrow \frac{1}{2\pi \sqrt{3} \cdot R \cdot C} < 664 \text{ kHz}$$