Examen de Electrónica Avanzada 2
22/02/2022

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.

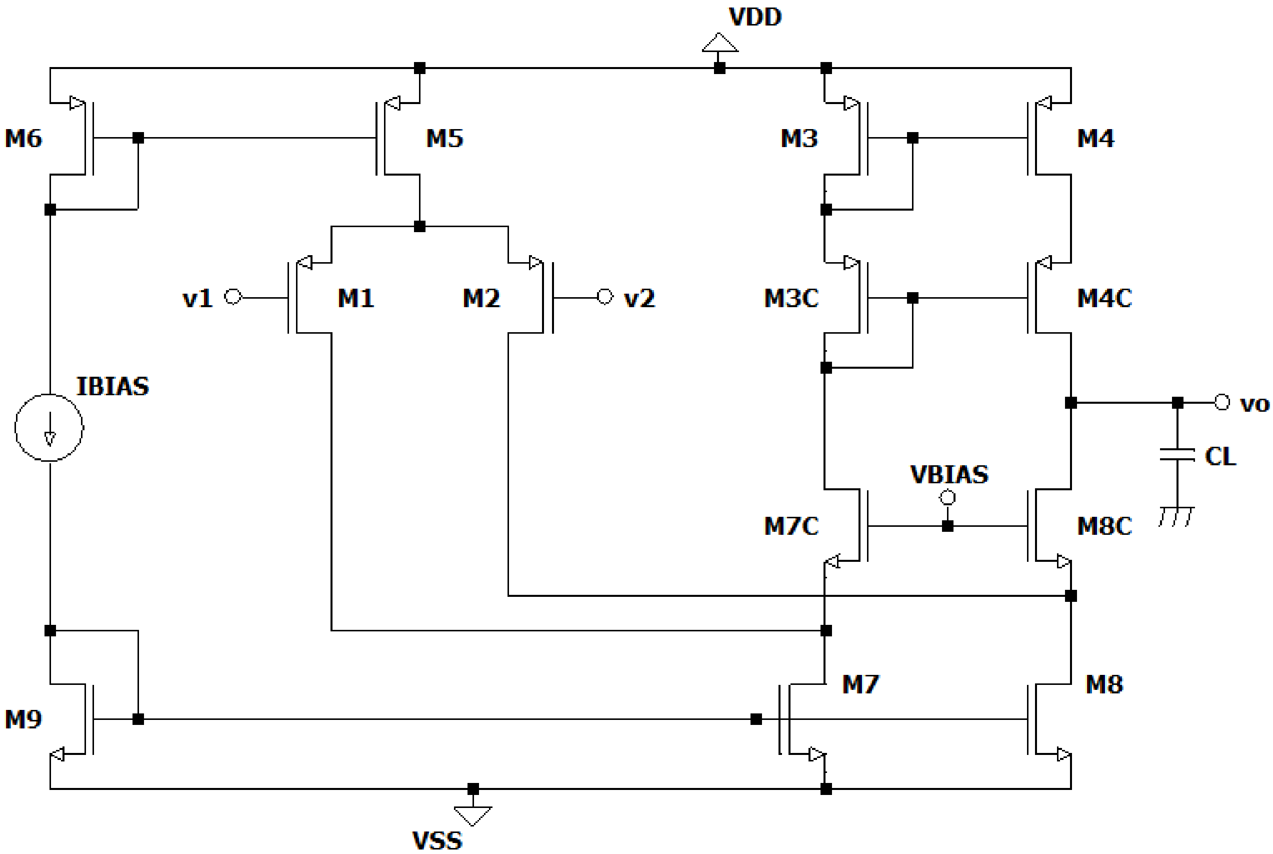
Problema 1: (37 puntos)

El circuito de la figura es un amplificador integrado tipo Folded-Cascode. Para el mismo se pide calcular:

a) Ganancia a bajas frecuencias vo/(v2-v1)
b) Slew Rate
c) Producto Ganancia por Ancho de Banda
d) Output Swing

Datos:

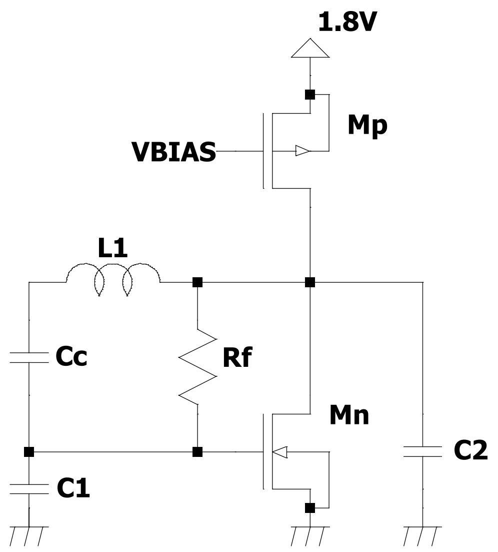
- VDD = -VSS = 2.5V, IBIAS=50µA, CL=5pF, VBIAS=1.85V
- $V_{tn} = |V_{tp}| = 0.8V$, n=1.4, $\mu_n Cox=125\mu A/V^2$, $\mu_p Cox=60\mu A/V^2$
- $V_{An}=12.5V/\mu m$, $V_{Ap}=25V/\mu m$
- W1=W2=15 µm, W5=2*W6=26 µm
- W3=W4=W3C=W4C=170 µm
- W7=W8=W7C=W8C=2*W9=78 µm
- L=1 µm para todos los transistores



Problema 2: (37 puntos)

Se considera el circuito de la figura. R_F es una resistencia arbitrariamente grande que permite polarizar el gate del transistor Mn. C_C es un condensador de desacople. La inductancia L_1 vale 1 µH.
Los transistores Mp y Mn son tales $Vt_n = |Vt_p| = 0.4$ V, $n_n = n_p = 1$, $\mu_n CoxW_n/L_n = \mu_p CoxW_p/L_p = 8$ mA/V^2 y puede despreciarse su conductancia de salida, a menos que se indique lo contrario.

a) ¿Cuánto debe valer V_{BIAS} para que la corriente de drain de Mp sea 1 mA?
b) ¿Cuánto vale la tensión de gate de Mn?
c) Calcular la frecuencia y condición de oscilación en función de los parámetros del problema. Para esta parte considere que los transistores tienen una conductancia de salida de 0.5 mS.
d) Calcular las capacidades C_1 y C_2 para que la frecuencia de oscilación sea 30 MHz.
e) Calcular la capacidad de desacople C_C para que el circuito funcione correctamente.



Pregunta: (26 puntos)

Las figuras debajo muestran dos posibles implementaciones de espejos de corriente utilizando transistores bipolares. Compare ambas en términos del error en la copia de corriente $\in = \frac{I_{OUT}}{I_{IN}} - 1$ y la resistencia de salida.

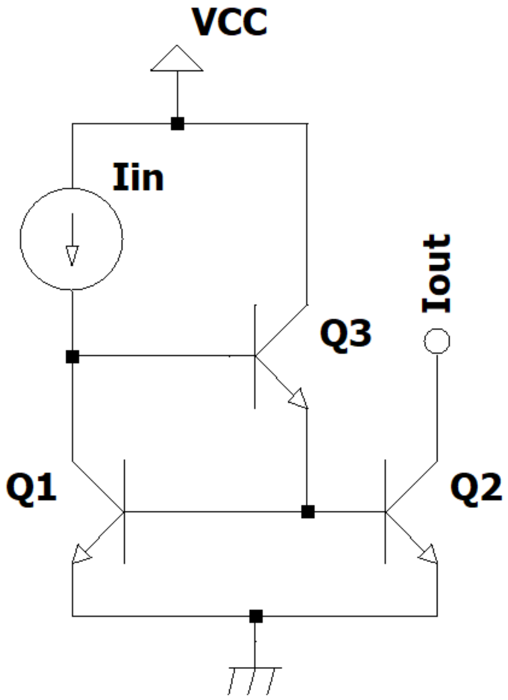


Figura 1

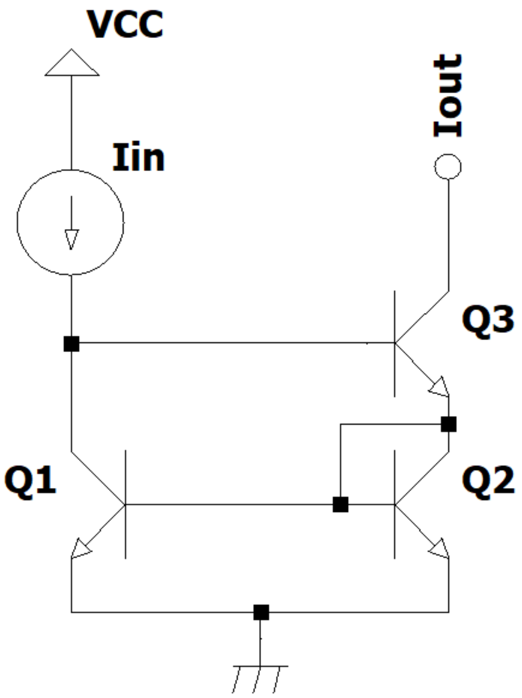


Figura 2

EXAMEN ELECTRÓNICA AVANZADA 2 FEB/2022

(1)

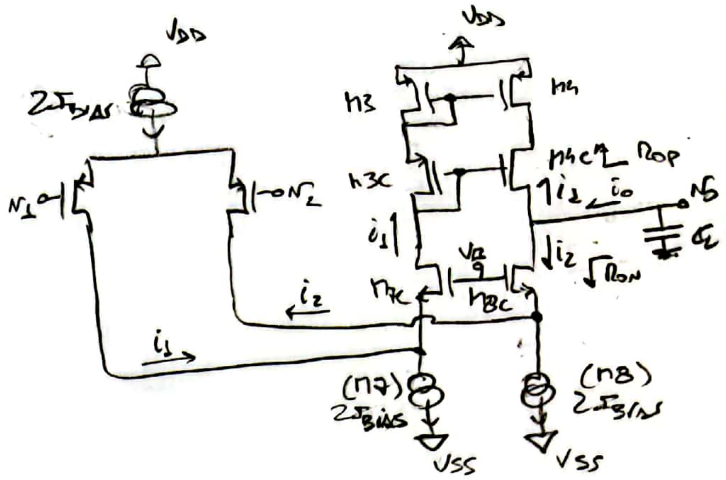
(a) DC:

$I_{D1} = I_{D2} = 50\mu A$

$I_{D3} = I_{D3C} = I_{D4} = I_{D4C} = 50\mu A$

$I_{D7C} = I_{D8C} = 50\mu A$

$I_{D7} = I_{D8} = 100\mu A$



AC

$i_o\big|_{N_o=0} = i_1 + i_2 = g_{m1}(N_2 - N_1)$

$i_1 = i_2 = g_{m1}\left(\frac{N_2-N_1}{2}\right)$

RESISTENCIA DE SALIDA CASCODE:

$R_{OUT} = R_{ON} \parallel R_{OP} \Rightarrow \begin{cases} R_{ON} = g_{m8C}\, r_{o8}\, r_{o8C} \\ R_{OP} = g_{m4C}\, r_{o4}\, r_{o4C} \end{cases}$

$\Rightarrow G = \frac{N_o}{N_2 - N_1} = -g_{m1} R_{OUT}$

$R_{ON} = 26{,}1\ M\Omega$
$R_{OP} = 213\ M\Omega$ $\Big\} \Rightarrow$ $G = -5892\ V/V\ (75{,}4\ dB)$

Parámetros Peq. señal

$\beta_1 = \mu_p C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_1 = 0{,}9\ mA/V^2$

$\beta_{4C} = \mu_p C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_{4C} = 10{,}2\ mA/V^2$

$\beta_{8C} = \mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_{8C} = 9{,}8\ mA/V^2$

$g_{m1} = \sqrt{\frac{2 I_{D1}\beta_1}{n}} = 0{,}25\ mA/V$

$g_{m4C} = \sqrt{\frac{2 I_{D4C}\beta_{4C}}{n}} = 0{,}85\ mA/V$

$g_{m8C} = \sqrt{\frac{2 I_{D8C}\beta_{8C}}{n}} = 0{,}83\ mA/V$

$r_{o4} = r_{o4C} = \frac{V_{Ap} L}{I_{D4}} = 500\ k\Omega$

$r_{o8} = \frac{V_{An} L}{I_{D8}} = 125\ k\Omega$

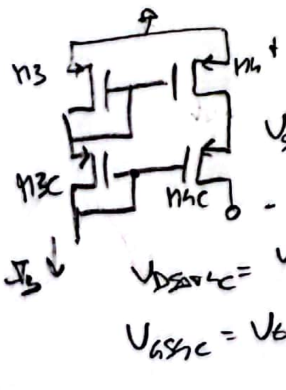
$r_{o8C} = \frac{V_{An} L}{I_{D8C}} = 250\ k\Omega$

(b) $SR = \frac{2 I_{D1}}{C_L} \Rightarrow$ $SR = 20\ V/\mu s$

(c) $f_T = \frac{1}{2\pi}\frac{g_{m1}}{C_L} \Rightarrow$ $f_T = 8{,}1\ MHz$

(d) OUTPUT SWING : $(V_{DD} - V_{SAT\,H},\ V_{SS} + V_{SAT\,L})$

$V_{SAT\,H}$:



$V_{SD4} = V_{SG3} + V_{SG3C} - V_{SG4C}$

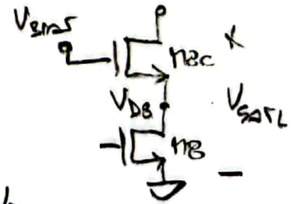
$= V_{SG3} = V_{tp} + \sqrt{\frac{2n I_{D3}}{\beta_3}} = 0{,}92\ V$

$V_{SAT\,H} = V_{SD4} + V_{DSAT4C} \Rightarrow$ $V_{SAT\,H} = 1{,}00\ V$

$V_{DSAT4C} = \frac{V_{GS4C} - V_{tp}}{n}$

$V_{GS4C} = V_{tp} + \sqrt{\frac{2n I_{D4C}}{\beta_{4C}}}$ $\Big\} \Rightarrow V_{DSAT4C} = \sqrt{\frac{2 I_{D4C}}{n\,\beta_{4C}}} = 84\ mV$

$V_{SAT\,L}$:



$V_{SAT\,L} = V_{D8} + V_{DSAT8C}$

$V_{D8} = V_{BIAS} - V_{GS8C}$

$V_{DSAT8C} = \frac{V_{GS8C} - V_{tn}}{n}$

$V_{GS8C} = V_{tn} + \sqrt{\frac{2n I_{D8C}}{\beta_{8C}}} = 0{,}92\ V$

$\rightarrow$ $V_{SAT\,L} = 1{,}02\ V$

Examen Electrónica Avanzada 2 - febrero 2022

Problema 2

a) $I_{BIAS} = \frac{\mu_p C_{ox}}{2} \cdot \frac{W_p}{L_p} (V_{SGp} - |V_{tp}|)^2$

$I_{BIAS} = 1\,mA$; $|V_{tp}| = 0{,}4V$

$\mu_p C_{ox} \frac{W_p}{L_p} = 8\,mA/V^2$

$\Rightarrow V_{SGp} = 0{,}9V$, $V_{Sp} = 1{,}8V$ $\Rightarrow V_{Gp} = 0{,}9V$

$\boxed{V_{BIAS} = 0{,}9V}$

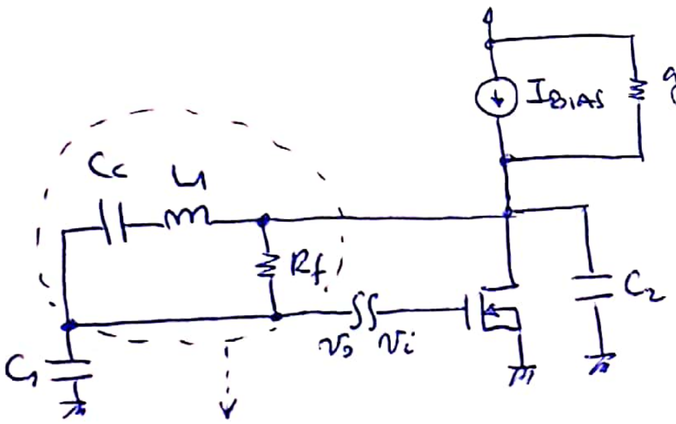
b) $I_N = I_p = 1\,mA$

$V_{tn} = |V_{tp}| = 0{,}4V$

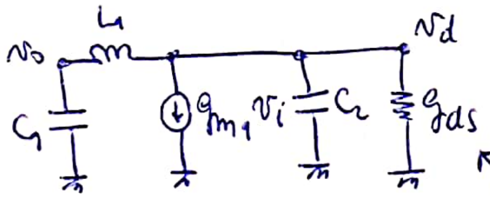
$\mu_n C_{ox} \frac{W_n}{L_n} = \mu_p C_{ox} \frac{W_p}{L_p}$

$\Rightarrow V_{GSn} = V_{SGp} \Rightarrow \boxed{V_{Gn} = 0{,}9V}$

c)



modelo pequeña señal



$g_{ds} = g_{dsn} + g_{dsp}$

$R_f \,||\, \left[\frac{1}{sC_c} + sL_1\right] \approx R_f \,||\, sL_1 \approx sL_1$

Cc desacople $\Rightarrow \frac{1}{sC_c} << sL_1$

Rf arbitrariamente grande

$sC_2 v_d + g_{ds} v_d = -sC_1 v_o - g_{m1} v_i \quad (1)$

$\frac{v_o - v_d}{sL_1} + sC_1 v_o = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow v_d = (1 + s^2 L_1 C_1) v_o \quad (2)$

Sustituyendo (2) en (1): $(sC_2 + g_{ds}) v_o (1 + s^2 L_1 C_1) = -sC_1 v_o - g_{m1} v_i \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_{m1}}{(sC_2 + g_{ds})(1 + s^2 L_1 C_1) + sC_1} \rightarrow \frac{v_o}{v_i}(j\omega) = \frac{-g_{m1}}{(j\omega C_2 + g_{ds})(1 + (j\omega)^2 L_1 C_1) + j\omega C_1}$$

Examen Electrónica Avanzada 2 - febrero 2022

$$\mathrm{Im}\left\{\frac{v_o}{v_i}(j\omega_o)\right\} = 0 \Rightarrow \omega_o C_1 + \omega_o C_2 - \omega_o^3 C_1 C_2 L_1 = 0 \Rightarrow \omega_o^2 = \frac{C_1+C_2}{C_1 C_2}\cdot\frac{1}{L_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1 C_2/(C_1+C_2)}}}$$ Frecuencia de oscilación

$$\mathrm{Re}\left\{\frac{v_o}{v_i}(j\omega_o)\right\} = \frac{-g_{m1}}{g_{ds}(1-\omega_o^2 C_1 L_1)} = \frac{-g_{m1}}{g_{ds}\left(1-\frac{C_1+C_2}{C_2}\right)} = \frac{g_{m1}}{g_{ds}\frac{C_1}{C_2}} = 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{g_{m1}}{g_{ds}} = \frac{C_1}{C_2}}$$ Condición de oscilación

$$g_{m1} = \frac{2 I_{BIAS}}{V_{Gn}-V_{tn}} = 4\,mS$$

$$g_{ds} = g_{dsn} + g_{dsp} = 1\,mS$$

$$\rightarrow \frac{C_1}{C_2} = 4$$

d) $f_o = 30MHz$

$$(2\pi f_o)^2 L_1 = \frac{C_1+C_2}{C_1C_2} \Rightarrow \frac{C_1C_2}{C_1+C_2} = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 L_1} = 28pF$$

$$C_1 = 4C_2$$

$$\Rightarrow \frac{4}{5}C_2 = 28pF \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{C_2 = 35pF} \Rightarrow \boxed{C_1 = 140pF}$$

e) $sL_1 + \frac{1}{sC_c} \approx sL_1$ @ f_o $\Rightarrow \omega_o L_1 >> \frac{1}{\omega_o C_c} \Rightarrow C_c >> \frac{1}{\omega_o^2 L_1}$

$$\Rightarrow C_c >> \frac{C_1C_2}{C_1+C_2} = 28pF \Rightarrow \boxed{C_c = 330pF}$$