

Examen de Electrónica Avanzada 2
21/02/2024

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.

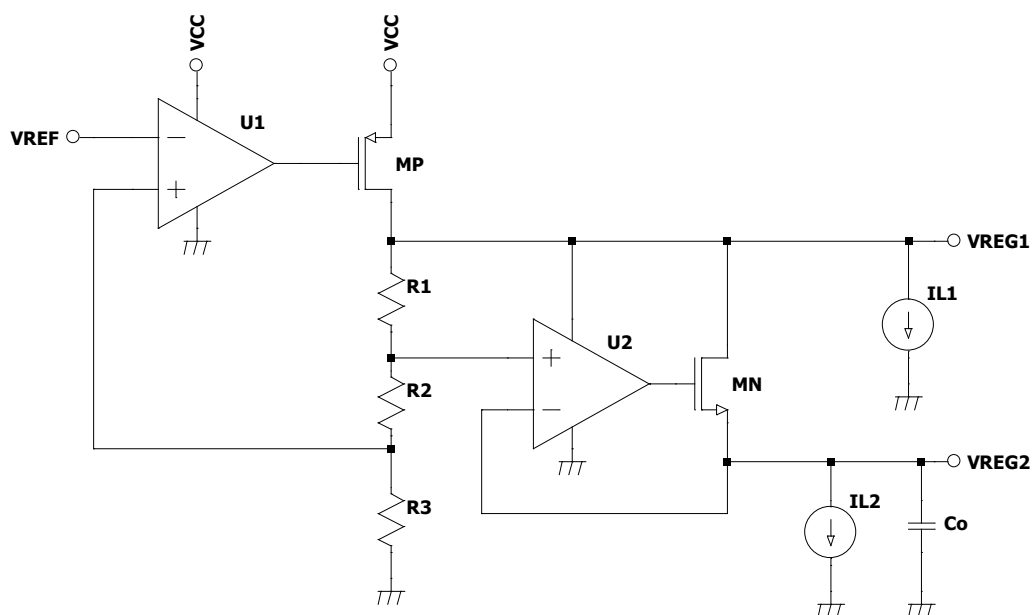
Problema 1: (37 puntos)

Se desea diseñar el regulador lineal de la figura que consta de dos salidas reguladas VREG1 y VREG2. Para el mismo se cuenta con una referencia de tensión VREF=1.2V y una alimentación externa VCC de valor nominal 5V pero que puede caer hasta 3.7V como mínimo. Los dos amplificadores son ideales excepto donde se indica lo contrario.

- Determine el valor de R1 y R2 para que, en condiciones nominales, las salidas reguladas valgan VREG1=3.3V y VREG2=1.8V.
- Dimensione los transistores MP y MN para asegurar un correcto funcionamiento del regulador cuando VCC es mínimo.
- Si los amplificadores tienen un valor máximo de offset VOFF=5mV, ¿cuál es el peor caso de los errores DC en las salidas VREG1 y VREG2 debido a ellos?
- El regulador se fabrica con una capacidad Co=1nF. Sin embargo, cuando en VREG2 ocurre un escalón de carga ("Load Dump"), vemos un salto $\Delta V_{dump}=2.2V$ en la salida que no es aceptable. Elija un nuevo valor para Co que garantice que a lo sumo se tenga $\Delta V_{dump}=0.2V$ con el mismo escalón de carga.

Datos:

- $R3=10k\Omega$, $IL1_{max}=300mA$, $IL2_{max}=500mA$
- $V_{t0n}=|V_{t0p}|=0.75V$, $\mu_n C_{ox}=120 \mu A/V^2$, $\mu_p C_{ox}=50 \mu A/V^2$, $L_P=L_N=500nm$
- Los amplificadores consumen 10mA y tienen un output swing ideal igual al rango de tensión de alimentación al que se conectan.
- Puede asumir que para los valores considerados, el tiempo de respuesta del regulador no cambia con el valor de Co.



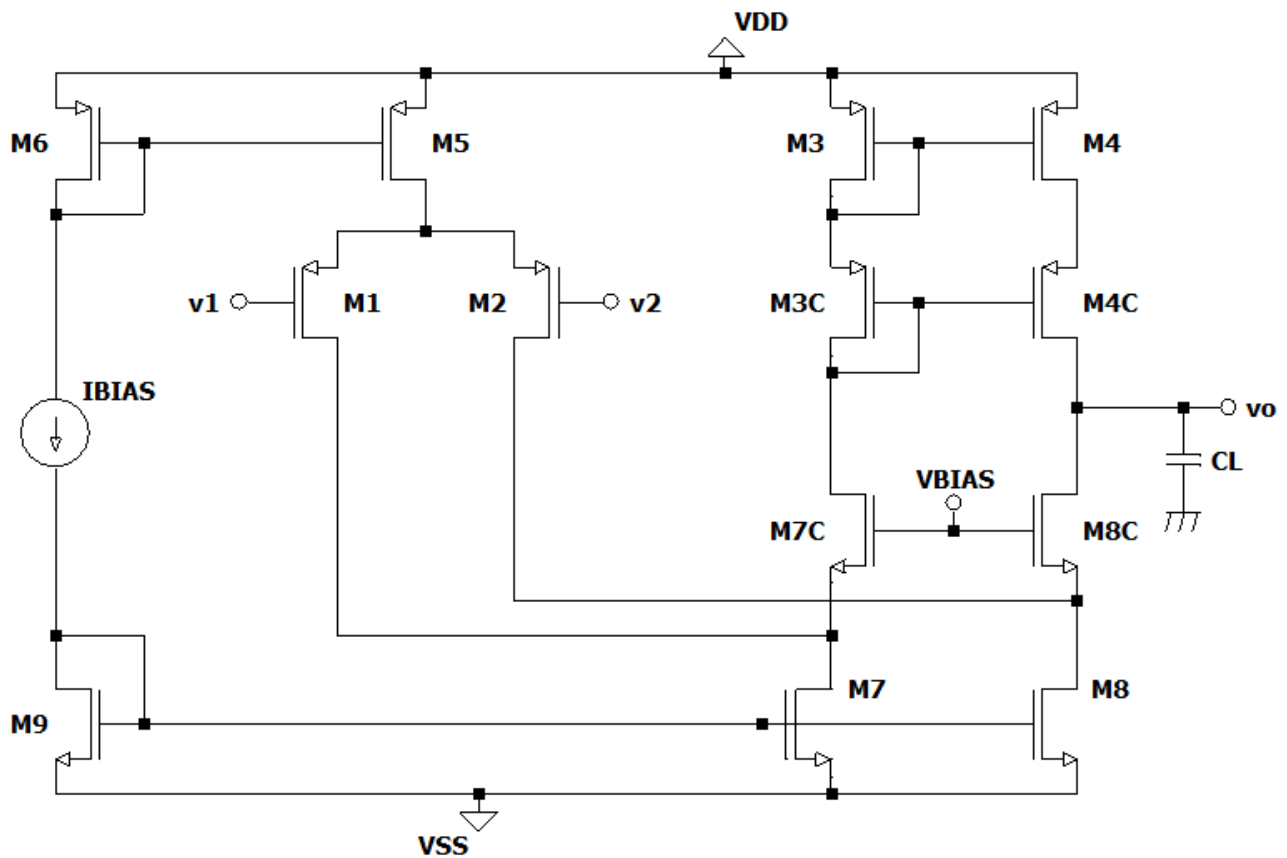
Problema 2: (37 puntos)

Para el amplificador Folded-Cascode de la figura, se pide calcular:

- a) Ganancia a bajas frecuencias $v_o/(v_2-v_1)$
- b) Capacidad CL para que el slew rate sea $40V/\mu s$
- c) Frecuencia de transición f_T
- d) Rango de entrada en modo común

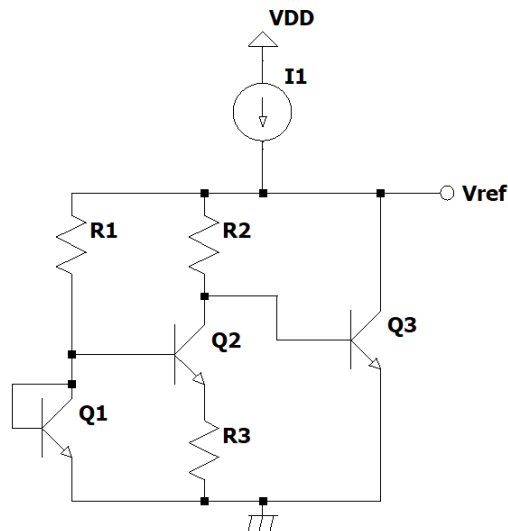
Datos:

- $V_{DD} = -V_{SS} = 2.5V$, $I_{BIAS}=50\mu A$, $V_{BIAS}=1.85V$
- $V_{tn} = |V_{tp}| = 0.7V$, $n=1.4$, $\mu_n C_{ox}=125\mu A/V^2$, $\mu_p C_{ox}=60\mu A/V^2$
- $V_{An}=12.5V/\mu m$, $V_{Ap}=25V/\mu m$
- $W_1=W_2=21\ \mu m$, $W_5=2*W_6=36\ \mu m$
- $W_3=W_4=W_3C=W_4C=238\ \mu m$
- $W_7=W_8=W_7C=W_8C=2*W_9=109\ \mu m$
- $L=1.4\ \mu m$ para todos los transistores



Pregunta: (26 puntos)

- a) Explique el principio de funcionamiento de una referencia de tensión tipo Bandgap, describa los principales bloques y que función cumple cada uno. Puede incluir un diagrama en su respuesta.
- b) El circuito de la figura es una referencia de tensión Bandgap tipo Widlar. Identifique en el circuito los principales bloques descritos en la parte a) y demuestre que la tensión de salida VREF es independiente de la temperatura.
- c) Asuma que todas las resistencias del circuito de la figura son del mismo tipo y tienen la misma dependencia con la temperatura $\alpha \neq 0$. ¿Se mantiene el resultado de la parte b) y se obtiene una tensión VREF independiente de la temperatura? Justifique.



P1

$$(a) \quad V_{DSG1} = \left(1 + \frac{R_1 + R_2}{R_3} \right) V_{DSF}$$

$$V_{DSG2} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V_{DSG1}$$

$$\Rightarrow V_{DSG2} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_1 + R_2}{R_3} \right) V_{DSF}$$

$$\Rightarrow V_{DSG2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right) V_{DSF}$$

$$R_2 = \left(\frac{V_{DSG2}}{V_{DSF}} - 1 \right) R_3 \Rightarrow R_2 = 54 \Omega$$

$$\Rightarrow R_1 = \left(\frac{V_{DSG1}}{V_{DSF}} - 1 \right) R_3 - R_2 \Rightarrow R_1 = 12,54 \Omega$$

$$(b) \quad V_{D01} = V_{CC}^{min} - V_{DSG1} \times 0,95 = 0,565 \text{ V}$$

$$\Rightarrow W_p = L \times \frac{\left(I_{L1}^{max} + I_{L2}^{max} + I_{CC}^{AMP} + \frac{V_{DSG1}}{R_1 + R_2 + R_3} \right)}{\mu_n C_{ox} (V_{CC}^{min} - V_{t0}) V_{D01}}$$

$$\Rightarrow W_p = 4860 \mu\text{m}$$

$$V_{D02} = V_{DSG1} - V_{DSG2} \times 0,95 = 1,59 \text{ V}$$

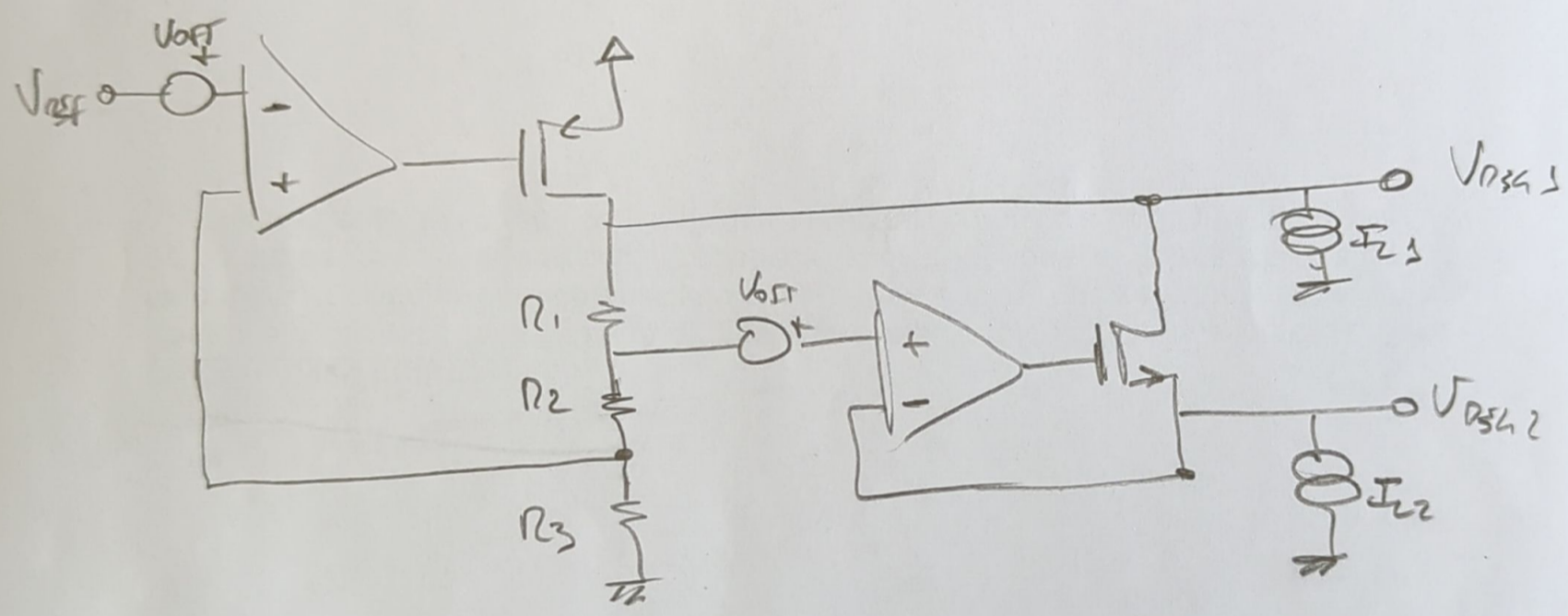
$$\Rightarrow W_n = L \times \frac{I_{L2}^{max}}{\mu_n C_{ox} (V_{DSG1} - 0,95 V_{DSG2} - V_{t0}) V_{D02}}$$

$$\Rightarrow W_n = 1560 \mu\text{m}$$

(c)

$$V_{OFF1}^{OUT} = \left(1 + \frac{R_1 + R_2}{R_3}\right) V_{OFF} \Rightarrow \boxed{V_{OFF1}^{OUT} = 13,8 \text{ mV}}$$

$$V_{OFF2}^{OUT} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_{OFF} + V_{OFF} \Rightarrow \boxed{V_{OFF2}^{OUT} = 12,5 \text{ mV}}$$



(d)

$$\Delta V_{dmp} = \frac{\Delta I_L}{C_0} \cdot \Delta t_{tr} \quad \begin{matrix} \text{excitation de charge} \\ \text{temps de} \\ \text{response} \end{matrix}$$

$$\Delta V_{dmp} C_0 = \Delta V_{dmp}^{new} C_0^{new}$$

$$C_0^{new} = \frac{\Delta V_{dmp}}{\Delta V_{dmp}^{new}} \cdot C_0 = \frac{2,2}{0,2} \cdot 1 \text{ nF}$$

$$\boxed{C_0^{new} = 11 \text{ nF}}$$

Problema 2

a) DC: $I_{D5} = 100 \mu A$; $I_{D1} = I_{D2} = 50 \mu A$; $I_{D3} = I_{DC3} = I_{D4} = I_{DC4} = 50 \mu A$

$I_{D7C} = I_{D6C} = 50 \mu A$; $I_{D7} = I_{D8} = 100 \mu A$.

Parámetros pequeña señal:

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

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

$\beta_5 = \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_5 = 1,5 \text{ mA/V}^2$

$\beta_{6C} = \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{6C} = 9,7 \text{ mA/V}^2$

$\beta_{7C} = \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{7C} = 9,7 \text{ mA/V}^2$

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

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

$g_{m6C} = \sqrt{\frac{2 I_{D6C} \beta_{6C}}{n}} = 0,83 \text{ mA/V}$

$r_{o4} = r_{o4C} = \frac{V_{Ap} \cdot L}{I_{D4}} = 700 \text{ k}\Omega = r_{o2}$

$r_{o8} = \frac{V_{An} \cdot L}{I_{D8}} = 175 \text{ k}\Omega$

$r_{o6C} = \frac{V_{An} \cdot L}{I_{D6C}} = 350 \text{ k}\Omega$

AC:

$i_o \Big|_{v_o=0} = i_{d4C} + i_{d6C} \quad \Bigg\} \Rightarrow i_o \Big|_{v_o=0} = g_{m1} \cdot (v_2 - v_1)$

$i_{d4C} = i_{d6C} = g_{m1} \left(\frac{v_2 - v_1}{2}\right)$

$R_{out} = R_{oN} \parallel R_{oP} \rightarrow \begin{cases} R_{oN} = g_{m6C} \cdot r_{o6C} \cdot (r_{o2} \parallel r_{o8}) = 0,83 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \cdot 350 \text{ k}\Omega \cdot \frac{700 \cdot 175 \text{ k}\Omega}{875 \text{ k}\Omega} \\ R_{oP} = g_{m4C} \cdot r_{o4C} \cdot r_{o4} = 0,85 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \cdot 700 \text{ k}\Omega \cdot 700 \text{ k}\Omega \end{cases}$

$\begin{cases} R_{oN} = 40,7 \text{ M}\Omega \\ R_{oP} = 417 \text{ M}\Omega \end{cases}$ Resistencias de salida cascode.

$G = \frac{v_o}{v_2 - v_1} = -g_{m1} \cdot R_{out} = -g_{m1} \cdot (R_{oN} \parallel R_{oP}) = -0,25 \frac{\text{mA}}{\text{V}} (40,7 \text{ M}\Omega \parallel 417 \text{ M}\Omega) =$

$= -0,25 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \cdot 37,1 \text{ M}\Omega = -9275 \text{ V/V} \Rightarrow \boxed{G = -9275 \text{ V/V}} \leftarrow 79 \text{ dB} .$

$$b) SR = \frac{2I_{D1}}{C_L} \Rightarrow C_L = \frac{2I_{D1}}{SR} = \frac{100\mu A}{40V/\mu s} \Rightarrow \boxed{C_L = 2,5pF}$$

$$c) f_T = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{g_{m1}}{C_L} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{0,25mA/V}{2,5pF} \Rightarrow \boxed{f_T = 16MHz}$$

$$d) \left. \begin{aligned} V_{CMH} &= V_{DD} - V_{SDSAT5} - V_{SG1} \\ V_{SG1} &= V_{tp} + \sqrt{\frac{2nI_{D1}}{\beta_1}} = 0,7V + \sqrt{\frac{2 \times 1,4 \times 50\mu A}{0,9mA/V^2}} = 1,09V \\ V_{SDSAT5} &= \frac{V_{SG5} - V_{tp}}{n} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{2I_{D5}}{\beta_5}} = \frac{1}{1,4} \cdot \sqrt{\frac{2 \times 1,4 \times 100\mu A}{1,5mA/V^2}} = 0,31V \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{CMH} = 2,5V - 0,31V - 1,09V = 1,1V$$

$$\left. \begin{aligned} V_{CML} &= V_{BIAS} - V_{GS7C} + V_{SDSAT1} - V_{SG1} \\ V_{GS7C} &= V_{tn} + \sqrt{\frac{2nI_{D7C}}{\beta_{7C}}} = 0,7V + \sqrt{\frac{2 \times 1,4 \times 50\mu A}{9,7mA/V^2}} = 0,86V \\ V_{SDSAT1} &= \frac{V_{SG1} - V_{tp}}{n} = \frac{1,09V - 0,7V}{1,4} = 0,28V \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{CML} = 1,85V - 0,86V + 0,28V - 1,09V = 0,18V$$

$$\boxed{ICMR = (0,18V ; 1,1V)}$$