

Examen de Electrónica Avanzada 2
28/07/2022

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)

- a) En el amplificador de la figura 1 calcule la ganancia a bajas frecuencias: $\frac{v_{out}}{v_2 - v_1}$
- b) Determine el valor de C_C necesario para que el f_T del amplificador sea 10 MHz.
- c) Se desea que el amplificador no varíe su f_T con la temperatura. Para eso se propone utilizar una de las dos fuentes de corriente de las figuras 2 y 3 para polarizar el par diferencial (IB1).
- i. Determine el valor de R_1 y R_2 para que la corriente I_{OUT} de las fuentes tenga el valor deseado de I_{B1} a $T=300K$.
 - ii. Determine para cada una de las fuentes el coeficiente de temperatura de esta:

$$TC = \frac{\partial I_{OUT}}{\partial T}$$
 - iii. ¿Cuál de las dos fuentes se debe utilizar para lograr un f_T constante con la temperatura? Justifique.
- d) Determine el SR del amplificador a $T=300K$. ¿Cómo cambia el SR con la temperatura?

Datos:

- MOS:
 - $V_{tn} = |V_{tp}| = 0.5 \text{ V}$, $n_n = n_p = 1.3$, $\mu_n C_{ox} = 125 \mu\text{A/V}^2$, $\mu_p C_{ox} = 60 \mu\text{A/V}^2$
 - $V_{An}' = 20 \text{ V}/\mu\text{m}$, $V_{Ap}' = 30 \text{ V}/\mu\text{m}$
 - Todos los transistores tienen largo $L = 1 \mu\text{m}$
 - $W_1 = W_2 = 10 \mu\text{m}$, $W_3 = 200 \mu\text{m}$, $W_4 = W_5 = W_6 = W_7 = 20 \mu\text{m}$, $W_8 = 10 \mu\text{m}$
- Bipolares (todos):
 - $V_{BE} = V_{EB} = V_{G0} - aT$, $V_{G0} = 1.2 \text{ V}$, $a = 2.1 \text{ mV/K}$
 - El área de emisor de Q_4 es N veces mayor que la de Q_3 . $N = 8$
 - Se puede asumir que $\beta \gg 1$ y que el efecto de la tensión de Early es despreciable en los circuitos.
- $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $I_{B2} = 200 \mu\text{A}$, $I_{B3} = I_{B4} = 20 \mu\text{A}$. Todas constantes con la temperatura.
- $I_{B1} = 20 \mu\text{A}$ @ 300K
- C_C , R_1 y R_2 no cambian de valor con la temperatura.

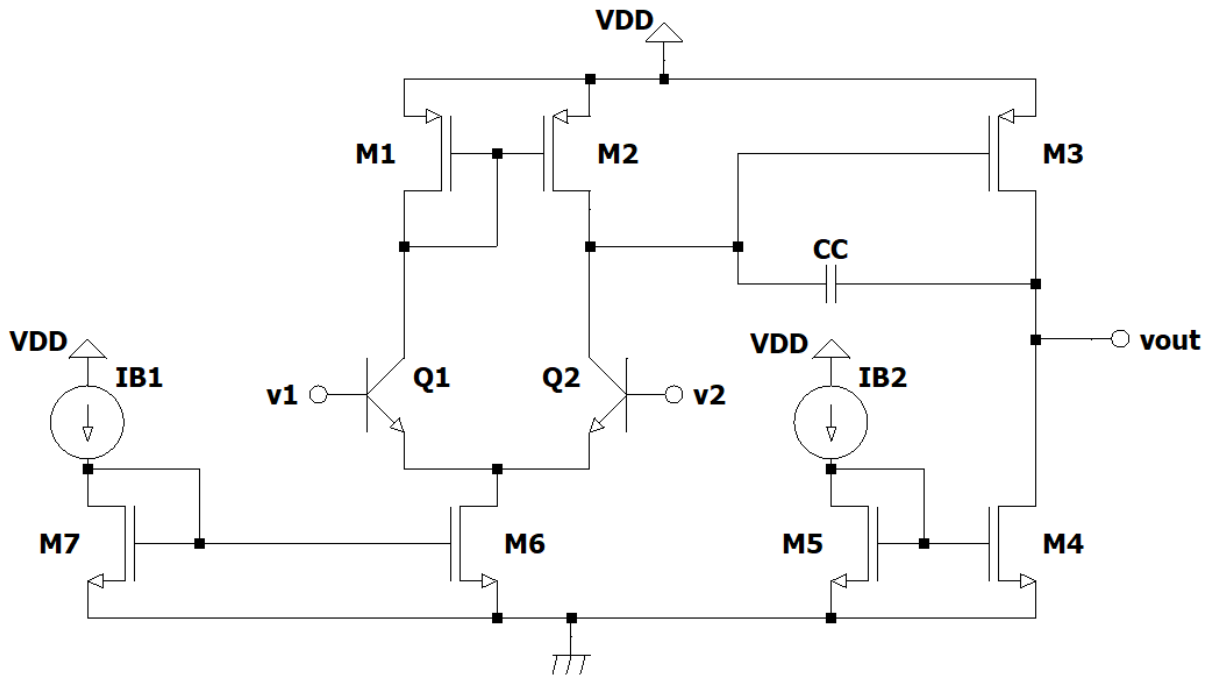


Figura 1

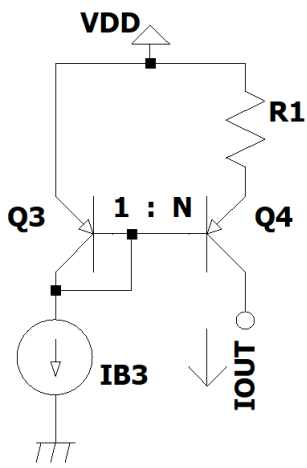


Figura 2

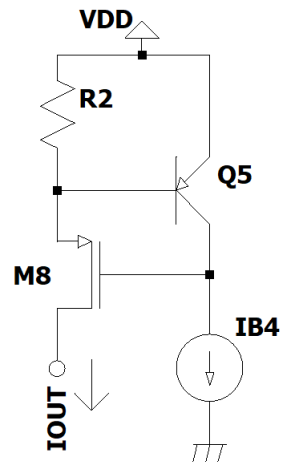
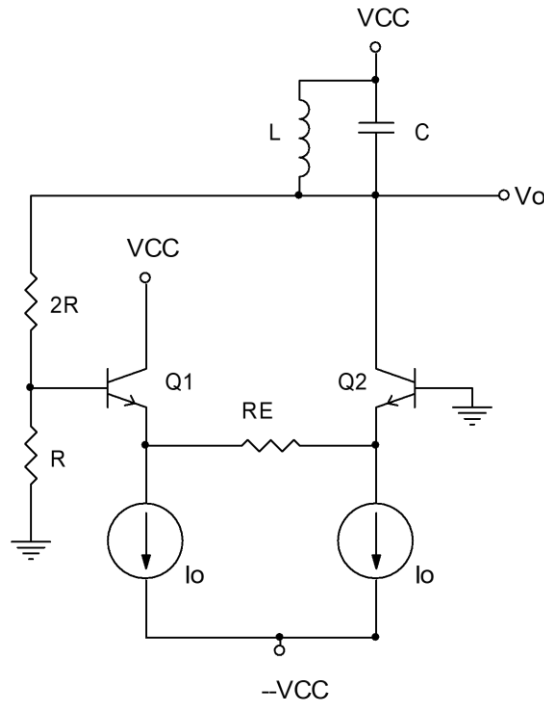


Figura 3

Problema 2: (37 puntos)

En el oscilador de la Figura todos los transistores son idénticos con $\beta \gg 1$ y se cumple que $R_{E0}/V_T \gg 2$, determinar:

- a) Frecuencia y condición de oscilación.
- b) Si la resistencia R_E depende de la amplitud de pico en V_o según la siguiente expresión: $R_E = R_{E0}(1+k \cdot V_{op}^2)$.
 - i. Determinar k para que el oscilador funcione correctamente con una amplitud V_A .
 - ii. ¿Qué condición debe cumplir R_{E0} para que el oscilador arranque?



Pregunta: (26 puntos)

- Deducir la expresión analítica de la regulación de carga del regulador lineal de la figura 1.
- Repetir la parte a) para el regulador lineal de la figura 2.
- Calcular
 - La regulación de carga para el circuito de la figura 1 dados los siguientes datos: $V_{REF}=1.2\text{ V}$, $R_1=1\text{ k}\Omega$, $R_2=2\text{ k}\Omega$, $R_L=60\ \Omega$, el transistor tiene $W/L=9000\ \mu\text{m}/\mu\text{m}$ y $\mu_p C_{ox}=90\ \mu\text{A}/\text{V}^2$, el amplificador operacional tiene ganancia en bajas frecuencias $A_0=100\text{ V}/\text{V}$.
 - En base al resultado en i), estime la diferencia esperada en V_{OUT} respect a su valor nominal cuando se tienen 15 mA de variación de la corriente de carga.
- Repetir las partes c) i) y ii), para el circuito de la figura 2 considerando que $\mu_n C_{ox}=120\ \mu\text{A}/\text{V}^2$.

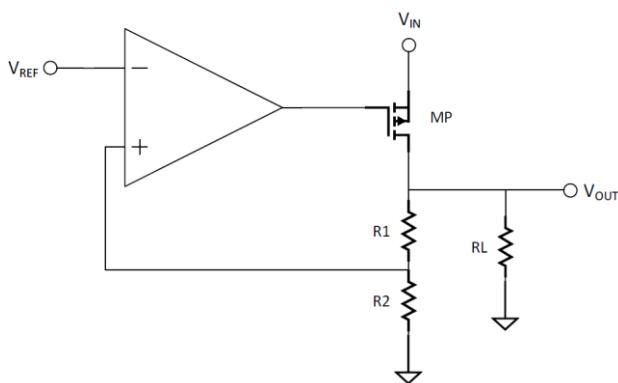


Figura 1

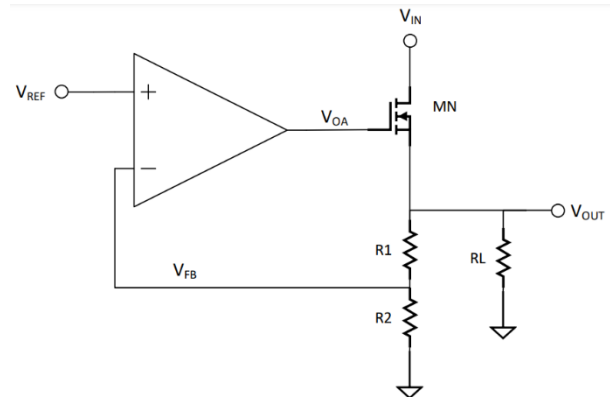


Figura 2

1

(a) Amplificador de 2 etapas con compensación Miller

$$\text{GANANCIA: } G = \underbrace{1^{\text{a}} \text{ etapa}}_{g_{m1} \cdot R_{o1}} \cdot \underbrace{2^{\text{a}} \text{ etapa}}_{g_{m2} \cdot R_{o2}}$$

$$g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_{B1}}{2V_T} = 0,39 \text{ mA/V} \quad \leftarrow (\text{en frecuencia})$$

$$R_{o1} = R_{o2} \parallel r_{on2} \approx r_{on2} = \frac{V_{Ap} \cdot L}{(I_{B1}/2)} = 3 \text{ k}\Omega$$

↑
en paralelo

$$g_{m2} = g_{m3} = \sqrt{\frac{2\beta_3 I_{B2}}{n}} = 1,9 \text{ mA/V}$$

$$\beta_3 = \mu_f C_{ox} \frac{W_3}{L} = 12 \text{ mA/V}^2$$

$$R_{o2} = r_{o3} \parallel r_{o4}$$

$$r_{o3} = \frac{V_{Ap} \cdot L}{I_{B2}} = 150 \text{ k}\Omega \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow R_{o2} = 60 \text{ k}\Omega$$

$$r_{o4} = \frac{V_{An} \cdot L}{I_{B2}} = 100 \text{ k}\Omega$$

$$G = 134 \times 10^3 \text{ V/V} = 102,5 \text{ dB}$$

$$(b) f_T = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{g_{m1}}{C_c} \Rightarrow C_c = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{g_{m1}}{f_T} = 6,2 \text{ pF}$$

(c) i) FUENTE fig. 2: WIDLAR

$$V_{r1} = V_{ES3} - V_{ES4} = V_T L \left(\frac{I_{C3}}{I_{S3}} - \frac{I_{C4}}{I_{C4}} \right) = V_T L \left(\frac{I_{B1}}{I_{pur}} \cdot N \right)$$

$$I_{pur} = \frac{V_{r1}}{R_1} = \frac{V_T L(N)}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{V_T L(N)}{I_{pur}} = 26,9 \text{ k}\Omega$$

(A) (c) i) FUENTE fig. 3 : Reference V_{SS}

$$(\beta \gg 1) \quad I_{OUT} = \frac{V_{SS}}{R_2} \Rightarrow \boxed{R_2 = \frac{V_{SS}}{I_{OUT}} = 28,5 \text{ k}\Omega}$$

$$V_{SS} @ 300 \text{ K} = V_{G0} - 0.300 \text{ K} = 0,57 \text{ V}$$

$$(c) \text{ ii) } \boxed{TC_2 = \frac{k_B L(N)}{q R_1} = 66,7 \text{ mA/K}} \leftarrow \text{FUENTE PTAT}$$

$$\boxed{TC_3 = -\frac{Q}{R_2} = -73,7 \text{ mA/K}} \leftarrow \text{FUENTE CTAT}$$

$$(c) \text{ iii) } f_T = \frac{1}{2\pi} \frac{Q_{m1}}{C_c} = \frac{1}{2\pi} \frac{I_{B1}}{\left(\frac{k_B T}{q}\right) \cdot C_c}$$

→ preciso que I_{B1} q T (PTAT) para que f_T sea constante

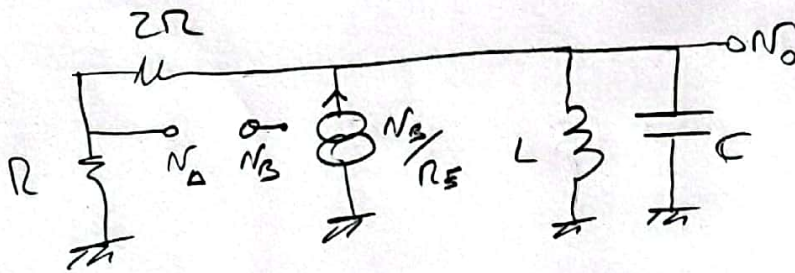
→ uso la fuente de la fig. 2

$$(A) \quad SR = \frac{I_{B1}}{C_c} = 3,25 \text{ V}/\mu\text{s}$$

El SR es proporcional a T (PTAT)

2

(e)



$$N_A = \frac{R}{3R} N_0 \Rightarrow \frac{N_A}{N_0} = \frac{1}{3}$$

$$N_0 = \frac{N_B}{R_E} \left(Ls \parallel \frac{1}{Cs} \parallel 3R \right) = \frac{N_B}{R_E} \frac{3RLs}{3R(1+LCs^2) + Ls}$$

$$\Rightarrow \frac{N_A}{N_B} = \frac{RLs}{3RR_E(1+LCs^2) + R_E Ls}$$

$$\text{Im} \left(\frac{N_A}{N_B} \right) = 0 \Rightarrow -LC\omega^2 + 1 = 0 \Rightarrow \boxed{\omega_{sc} = \sqrt{\frac{1}{LC}}}$$

$$\left| \frac{N_A}{N_B} \right|_{\omega=\omega_{sc}} = 1 \Rightarrow \frac{RL\omega}{R_E L\omega} = 1 \Rightarrow \boxed{R = R_E}$$

(b) $R = R_E = R_{E0} (1 + k V_A^2)$ ← COND. de OSC

(i) $\Rightarrow \boxed{k = \frac{1}{V_A^2} \left(\frac{R}{R_{E0}} - 1 \right)}$

(ii) Cond. de oscilacion: $\left| \frac{N_A}{N_B} \right|_{\omega=\omega_{sc}, V_A=0} > 1 \Rightarrow \frac{R}{R_{E0}} > 1$

$\Rightarrow \boxed{R > R_{E0}}$

Pregunta

$$a) R_{out} = \frac{\partial V_{out}}{\partial I_L} = R_{V_{MOS}} \parallel (R_1 + R_2) \parallel R_L$$

$$\left. \begin{aligned} R_{V_{MOS}} &= \frac{v_{out}}{i_d} = \frac{v_{out}}{g_m v_{gs}} \\ v_{gs} &= v_g = A_o \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_{out} \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_{V_{MOS}} = \frac{v_{out}}{g_m \cdot A_o \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_{out}}$$

$$R_{V_{MOS}} = \frac{1}{g_m A_o \frac{R_2}{R_1 + R_2}} \Rightarrow R_{out} = \left(\frac{1}{g_m A_o \frac{R_2}{R_1 + R_2}} \right) \parallel (R_1 + R_2) \parallel R_L$$

$$g_m = \sqrt{2 \cdot \frac{W}{L} \cdot \mu C_{ox} \cdot I_D} = \sqrt{2 \frac{W}{L} \mu C_{ox} \cdot \frac{V_{out}}{(R_1 + R_2) \parallel R_L}}$$

b) ídem a).

$$c) i) V_{REF} = 1,2V$$

$$\left. \begin{aligned} V_{out} &= V_{REF} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ R_1 &= 1k\Omega; R_2 = 2k\Omega \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_{out} = 1,8V$$

$$\Rightarrow g_m = \sqrt{2 \times 9000 \cdot 90 \frac{\mu A}{V^2} \cdot \frac{1,8V}{60\Omega}}$$

$$g_m = 0,225$$

$$(R_1 + R_2) \parallel R_L = 3k\Omega \parallel 60\Omega \sim 60\Omega$$

$$R_{V_{MOS}} = \frac{1}{0,225 \cdot 100 \frac{V}{V} \cdot \frac{2k\Omega}{1k\Omega + 2k\Omega}} = 68 m\Omega \Rightarrow R_{out} = 68 m\Omega \parallel 3k\Omega \parallel 60\Omega$$

$$\boxed{R_{out} = 68 m\Omega}$$

$$ii) \Delta V_{out} = \Delta I_L \cdot R_{out} = 15 mA \cdot 68 \mu\Omega = 1,0 mV$$

$$\boxed{\Delta V_{out} = 1,0 mV}$$

$$d) i) g_m = \sqrt{2 \times 9000 \cdot 120 \frac{\mu A}{V^2} \cdot \frac{1,8V}{60\Omega}} = 0,255$$

$$R_{V_{MOS}} = \frac{1}{0,255 \cdot 100 \frac{V}{V} \cdot \frac{2k\Omega}{1k\Omega + 2k\Omega}} = 60 m\Omega \Rightarrow R_{out} = 60 m\Omega \parallel 3k\Omega \parallel 60\Omega$$

$$\boxed{R_{out} = 60 m\Omega}$$

$$ii) \Delta V_{out} = \Delta I_L \cdot R_{out} = 15 mA \cdot 60 \mu\Omega = 0,9 mV$$

$$\boxed{\Delta V_{out} = 0,9 mV}$$