

Examen de Electrónica 2
29/07/2008

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 (43 pts):

Para el operacional de la figura 1 calcular:

- Polarización de cada uno de los transistores exceptuando Q9 y Q10.
- R2 tal que la salida este a tierra en continua.
- Determina la frecuencia de transición f_T y la ganancia a baja frecuencia A_o .
- Si se conecta como carga una resistencia de 1k, calcular cual es la máxima potencia que se puede entregar a la carga.

Datos:

Q9 y Q10 tienen $V_{BE} = |V_{EB}| = 0.5V$ y $\beta = 50$

El resto de los transistores tienen $V_{BE} = |V_{EB}| = 0.7V$, tensión de Early $V_A = 100V$ y $\beta = 200$, $V_{CESAT} = 0.3V$, siendo los transistores de un mismo tipo (npn y pnp) idénticos entre si.
 $V_{CC} = 15V$, $C_m = 30pF$, $R_1 = 8k\Omega$, $R_c = 5k\Omega$, $R = 10k\Omega$

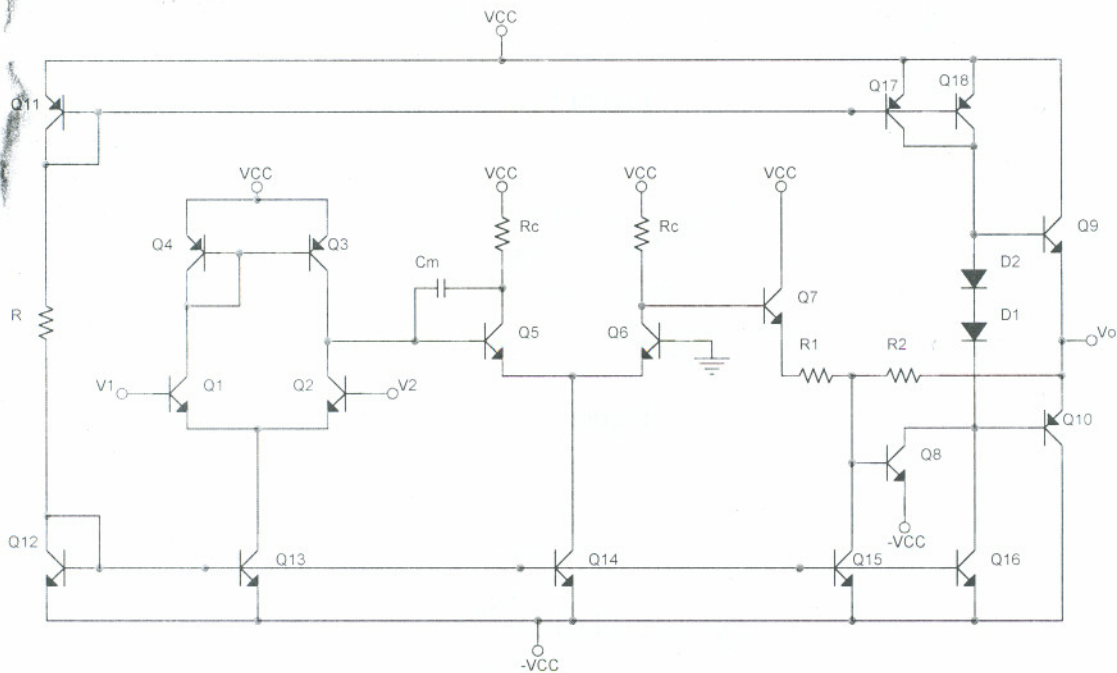


Figura 1.

Problema 2 (37 pts):

En el circuito de la Figura 1, los bloques indicados como gm son transconductores que proveen a la salida una fuente de corriente proporcional a la diferencia entre la tensión en el terminal + de entrada y en el terminal – de entrada, tal como se muestra en la Figura 2, siendo la constante de proporcionalidad la transconductancia gm indicada en cada bloque.

Para el circuito de la Figura 1 calcular:

- a) Frecuencia, condición de oscilación y condición de arranque.
- b) Para el control de amplitud la resistencia R1 se implementa utilizando el bloque de la Figura 3. Si se sabe que $gm_1(V_{op}) = gm_0 + K.V_{op}$, siendo V_{op} la amplitud de pico de las oscilaciones a la salida, indicar:
 - i) que signo debe tener K para que se tenga un correcto control de amplitud del oscilador.
 - ii) ¿Qué condición debe cumplir gm_0 para que el oscilador arranque ?
 - iii) ¿Cuál será la amplitud de las oscilaciones si K y gm_0 cumplen las condiciones antes indicadas.

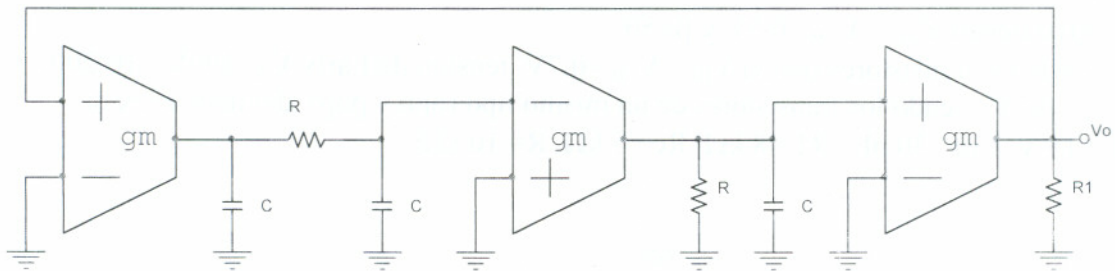


Figura 1

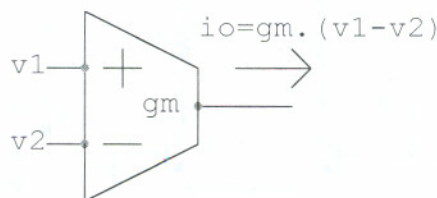


Figura 2

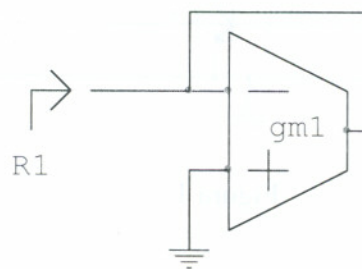


Figura 3

Pregunta (20 ptos):

Para los circuitos de las Figuras 1 y 2, compare la ganancia a frecuencias medias y la frecuencia de corte superior. Fundamente cualitativamente.

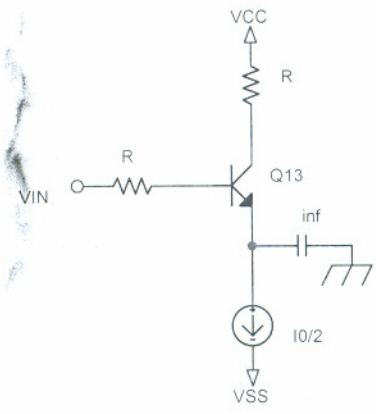


Figura 1

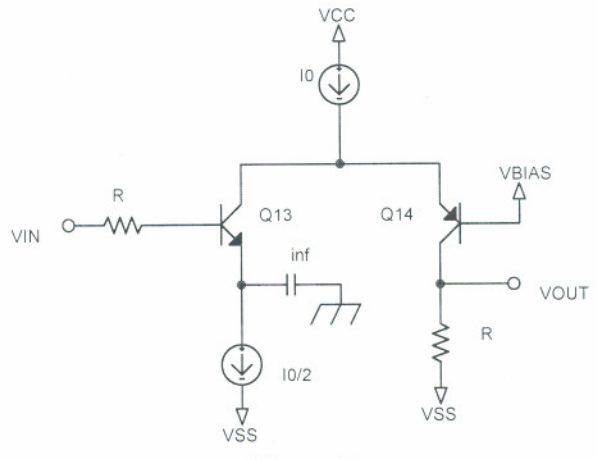


Figura 2

Problems 1

$$(a) \quad I_{Q_{11 \dots 18}} = I_{R_2} = \frac{2V_{CC} - 2V_{BE}}{R} = 2,86 \text{ mA}$$

$$I_{Q_{5 \dots 6}} = I_{R_2}/2 = 1,43 \text{ mA}$$

$$\underline{Q_8}: \text{ Assume } I_{B9}, I_{B10} \ll I_{R_2}$$

$$\Rightarrow I_{Q8} = I_{Q_{17}} + I_{Q_{18}} - I_{Q_{16}} \Rightarrow \boxed{I_{Q8} = I_{R_2}}$$

$$\underline{Q_7} \quad V_{B7} = V_{CC} - I_{R_2}/2 R_C = 7,85 \text{ V} \quad (\text{Assume } I_{B7} \ll I_{R_2}/2)$$

$$I_{R_1} = \frac{V_{B7} - V_{BE} - (-V_{CC} + V_{BE})}{R_1} = \frac{V_{CC} + V_{B7} - 2V_{BE}}{R_1}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{Q7} = I_{R_1} = 2,68 \text{ mA}} \quad (\Rightarrow I_{B7} \ll I_{R_2}/2 \checkmark)$$

$$(b) \quad \underline{R_2}$$

$$I_{Q7} + I_{R_2} = I_{B8} + I_{Q_{15}} \approx I_{R_2} \quad \beta \gg 1$$

$$\Rightarrow I_{R_2} = 0,18 \text{ mA}$$

$$V_{O_{DC}} = (-V_{CC} + V_{BE}) + I_{R_2} \times R_2 = 0$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{R_2}} \Rightarrow \boxed{R_2 = 79,4 \text{ k}\Omega}$$

Problema 1

(c)

1ª etapa: en diferencial la carga activa

$$\Rightarrow R_{i1} = 2r_{\pi 1} =$$

$$G_{m1} = g_{m1} = 55,2 \text{ mA/V}$$

$$R_{o1} = r_{o2} // r_{o3} = 354 \Omega$$

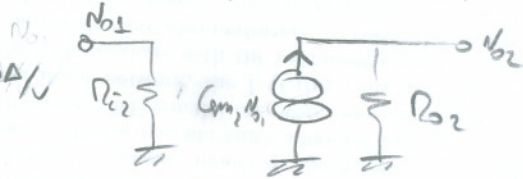


2ª etapa

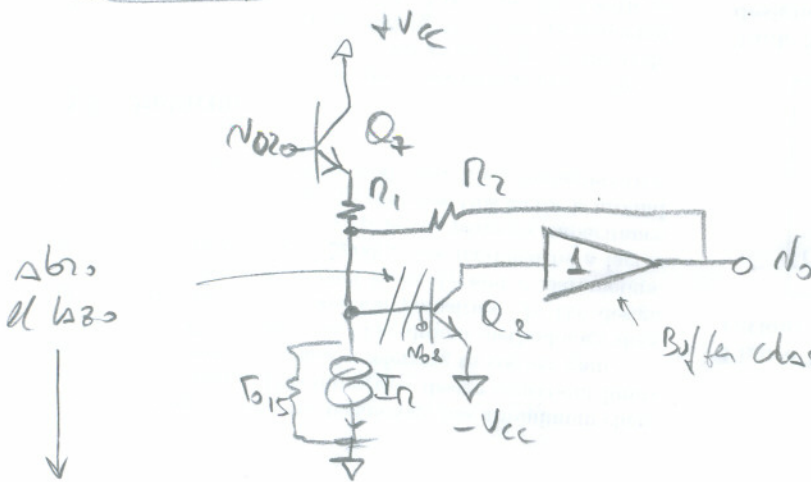
$$R_{i2} = 2r_{\pi 5} = 7,24 \text{ k}\Omega \text{ (después efecto de } r_{o4})$$

$$G_{m2} = g_{m5} / 2 = 27,6 \text{ mA/V}$$

$$R_{o2} = R_c // r_{o6} \approx R_c = 5 \text{ k}\Omega$$



3ª etapa

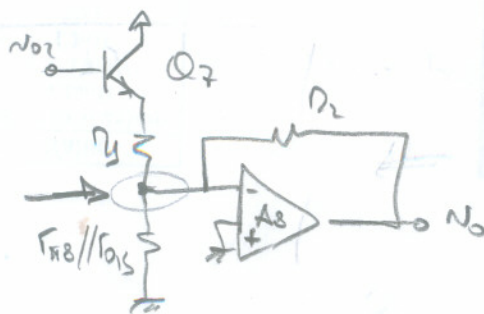


Buffer clase AB: $R_{iB} = r_{o16} // r_{o18} // r_{o17}$
 $A_B = 1$

$$\frac{N_o}{N_{b8}} = -g_{m8} R_{iB} = 1287 \text{ V/V} \gg 1$$

⇒ eq. c señal:

Trans virtual



$$\rightarrow R_{vst} = R_2 \rightarrow g_{m2} R_{vst} = 828 \gg 1$$

$$\rightarrow \frac{N_{e2}}{N_{b2}} = 1 \text{ (seguida)}$$

$$\rightarrow \frac{N_o}{N_{b2}} = -\frac{R_2}{r_{\pi 1}} \approx -10\%$$

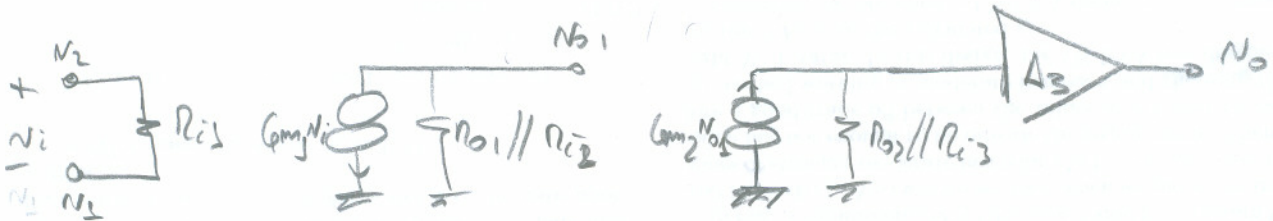
Problema 1

(c) (sigue)

resuena 3ª parte:

$$\left. \begin{aligned} R_{i3} &= r_{\pi 3} + (\beta + 1)R_1 = 1,65 \text{ k}\Omega \\ A_3 &= -10 \text{ V/V} \end{aligned} \right\}$$

→ circuito completo a baja freq.



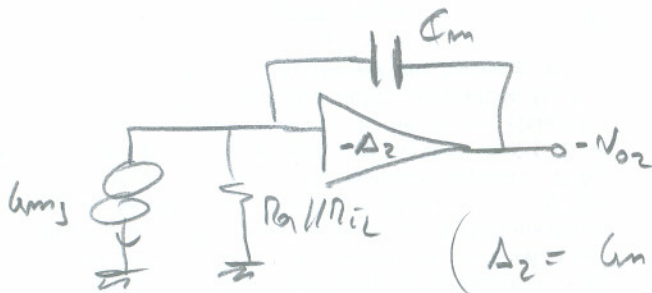
$$\Rightarrow A = (-G_{m1} R_{o1} // R_{i2}) \times (G_{m2} R_{o2} // R_{i3}) \times A_3$$

$$A = (-335, 1) \times 138 \times (-10) \Rightarrow A = 457 \times 10^3 \text{ V/V}$$

$$A = 113,2 \text{ dB}$$

f_T

compresión de Miller



$$(A_2 = G_{m2} R_{o2} // R_{i3})$$

$$\rightarrow f_T = \frac{1}{2\pi} \frac{G_{m1}}{C_m}$$

$$f_T = 293 \text{ MHz}$$

Problema 1

$$(d) P_L = \frac{\hat{V}_o^2}{2R_L}$$

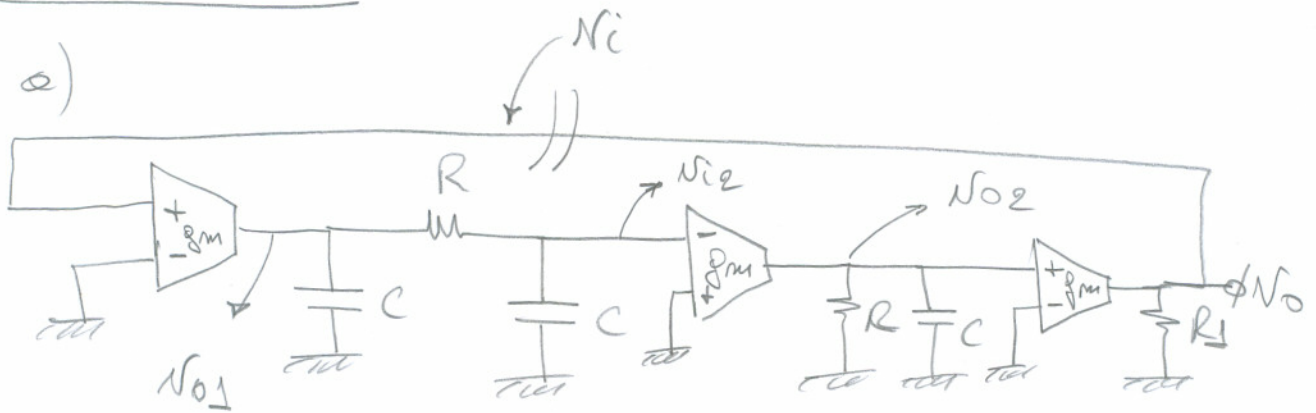
$$Q_9, Q_{10} \text{ s.r. saturada : } \hat{V}_o = V_{CC} - V_{BE} - V_{CE(sat)} = 14,2 \text{ V}$$

$$I_{Omax} : I_{Omax} = 2I_{R2} \beta_{out} = 286 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow \hat{V}_o = R_L I_{Omax} \gg 14,2 \text{ V}$$

$$\Rightarrow \boxed{\hat{V}_o = 14,2 \text{ V}}$$

$$\Rightarrow \boxed{P_L = 0,10 \text{ mW}}$$

Problema 2

Abriendo el loop a la entrada del primer transductor,

$$N_{o1} = g_m \cdot N_i \cdot \left(\frac{1}{sC} \parallel \left(R + \frac{1}{sC} \right) \right) = \frac{g_m (R s C + 1)}{sC (R s C + 2)} \cdot N_i$$

$$N_{i2} = \frac{1/sC}{R + 1/sC} \cdot N_{o1} \Rightarrow N_{i2} = \frac{g_m}{sC (R s C + 2)} \cdot N_i$$

$$N_{o2} = -g_m \cdot \left(R \parallel \frac{1}{sC} \right) N_{i2}$$

$$\Rightarrow N_{o2} = \frac{-g_m^2 R}{(R s C + 1) sC (R s C + 2)} N_i$$

$$N_o = +g_m N_{o2} \cdot R_1$$

$$\Rightarrow \frac{N_o}{N_i} = \frac{-g_m^3 \cdot R \cdot R_1}{(R s C + 1) sC (R s C + 2)}$$

$$\Rightarrow \text{Condición de Barkhausen: } \frac{N_o}{N_i} = 1$$



Problema 2

a)

$$\Rightarrow -\mu^3 R R_1 = j\omega C \underbrace{(2 + j\omega C 3R - \omega^2 R^2 C^2)}_{(*)}$$

$\Rightarrow (*)$ imaginario puro

$$\Leftrightarrow \omega_{osc}^2 = \frac{2}{R^2 C^2} \Rightarrow$$

$$f_{osc} = \frac{\sqrt{2}}{2\pi RC}$$

\Rightarrow Cond. de oscilación:

$$\left. \frac{V_o}{V_i} \right|_{\omega=\omega_{osc}} = 1 \Leftrightarrow \frac{-\mu^3 R R_1}{-\omega^2 C^2 3R} = \frac{\mu^3 R R_1}{\frac{2}{R^2} \cdot 3R} =$$

$$= \frac{\mu^3 R^2 R_1}{6} = 1$$

\Rightarrow Cond. de ganancia: $\left[\frac{\mu^3 R^2 R_1}{6} > 1 \right]$

b) i) $R_1 = \frac{1}{\mu_{11}} = \frac{1}{\mu_{10} + kV_{op}}$

R_1 debe bajar luego del aumento $\Rightarrow k > 0$
(cuando V_{op} pasa de 0 a > 0)

ii) En el aumento, con $V_{op} = 0$ se debe cumplir la condición de ganancia

$$\Rightarrow \frac{\mu^3 R^2}{6 \mu_{10}} > 1 \Rightarrow \mu_{10} < \frac{\mu^3 R^2}{6}$$

Problema 2.

(3)

b) iii) La amplitud de las oscilaciones será tal que V_{op} cumpla la condición de oscilación:

$$\frac{g_m^3 R^2}{6(g_{m0} + kV_{op})} = 1 \Rightarrow \boxed{V_{op} = \left(\frac{g_m^3 R^2}{6} - g_{m0} \right) \frac{1}{k}}$$

Amado J