

Examen de Electrónica Avanzada 1
11/08/2020

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)

Para el circuito de la Figura 1 calcule:

- Ganancia a frecuencias medias.
- Frecuencia de corte superior.
- Se plantea el circuito de la Figura 2 como alternativa. Repita las partes a) y b) para este circuito.
- ¿Cuál tiene mayor ancho de banda? ¿Por qué?
- ¿Cuál tiene mayor ganancia? ¿Por qué?

Datos:

Q1: $C_{\mu} = 1 \text{ pF}$, $C_{je} = 1 \text{ pF}$, $f_T@25\text{mA} = 5 \text{ GHz}$, $\beta = 250$, $V_A = \infty$

$R_s = 220 \text{ } \Omega$, $R_L = 2.7 \text{ k}\Omega$, $I_1 = 2 \text{ mA}$, $R_f = 100 \text{ k}\Omega$.

V_{cc} y V_{in} son tales que Q1 opera siempre en zona activa.

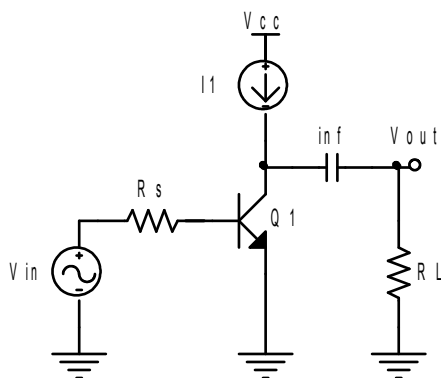


Figura 1

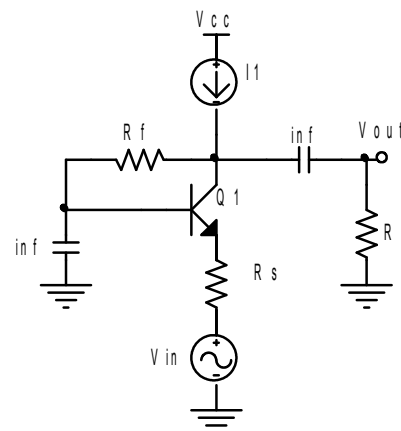


Figura 2

Problema 2: (37 puntos)

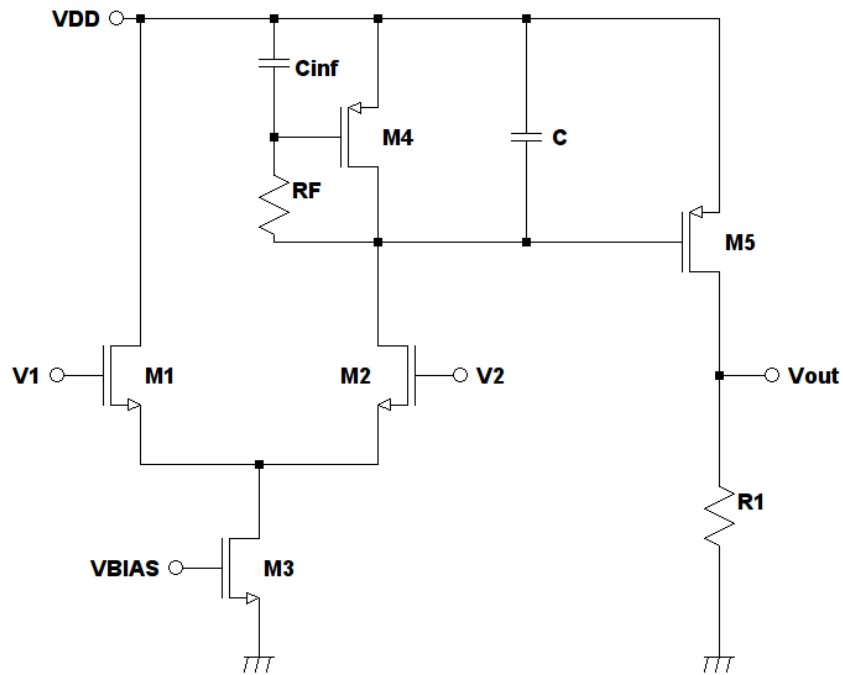
Para el circuito de la Figura, considere que las tensiones v_1 y v_2 son tales que el circuito está polarizado adecuadamente para funcionar como amplificador.

- a) Determine el rango de entrada en modo común (ICMR) del circuito.
- b) Hallar la ganancia diferencial $V_{out}/(V_1 - V_2)$ en baja frecuencia.
- c) Determine el ratio de rechazo al modo común (CMRR) del amplificador.
- d) Calcule la frecuencia de transición (f_T) del circuito.

Datos:

$R_1 = 7.5 \text{ k}\Omega$, $R_F = 3 \text{ M}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$, $C_{inf} = \infty$, $V_{DD} = 15 \text{ V}$, $V_{BIAS} = 2 \text{ V}$.

Para todos los transistores: $V_{tn} = |V_{tp}| = 1 \text{ V}$, $\beta_n = \beta_p = 4 \text{ mA/V}^2$, $V_A = 30 \text{ V}$, $\delta = 0$.



Pregunta : (26 puntos)

Sea el amplificador de potencia de la Figura 1.

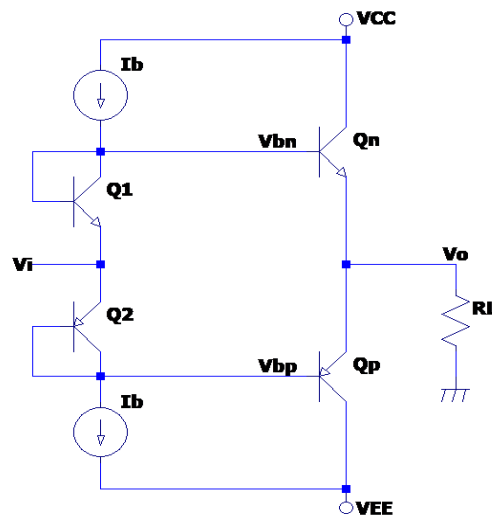


Figura 1

Los transistores Q1, Q2, Qn y Qp tienen las mismas características, con $\beta = 20$, $V_{CEsat} = 0$ V y la misma área de juntura.

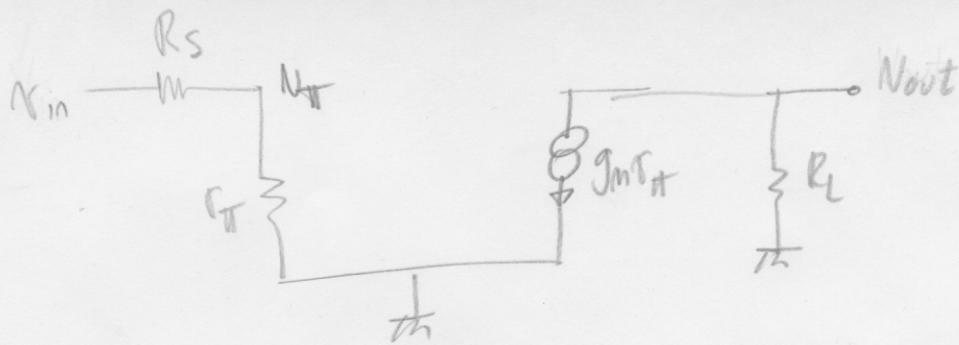
Se asume que las fuentes de corriente dan una corriente constante independiente del voltaje entre sus bornes.

Datos:

$V_{CC} = -V_{EE} = 12$ V, $R_L = 8$ Ω , $T_{jmax} = 150$ $^{\circ}\text{C}$, $R_{ja} = 70$ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$, $R_{jc} = 1,67$ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$

- ¿Cuánto deben valer las fuentes de corriente I_b para poder dar a la salida una senoide de la máxima amplitud de pico?
- Calcular la corriente de emisor de los transistores Q1, Q2, Qn y Qp cuando $V_i = 0$ y considerando el mínimo valor de I_b necesario hallado en la parte a).
- ¿De qué clase es el amplificador de potencia? Justificar.
- ¿Cual es la potencia máxima que deben disipar cada uno de los transistores Qn y Qp ?
- Si se desea que el circuito pueda funcionar correctamente a una temperatura ambiente máxima de 50°C , ¿Es necesario colocar disipadores? En caso afirmativo, calcular la resistencia térmica máxima que deben tener los disipadores (uno para cada transistor) asumiendo $R_{cs} = 1$ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

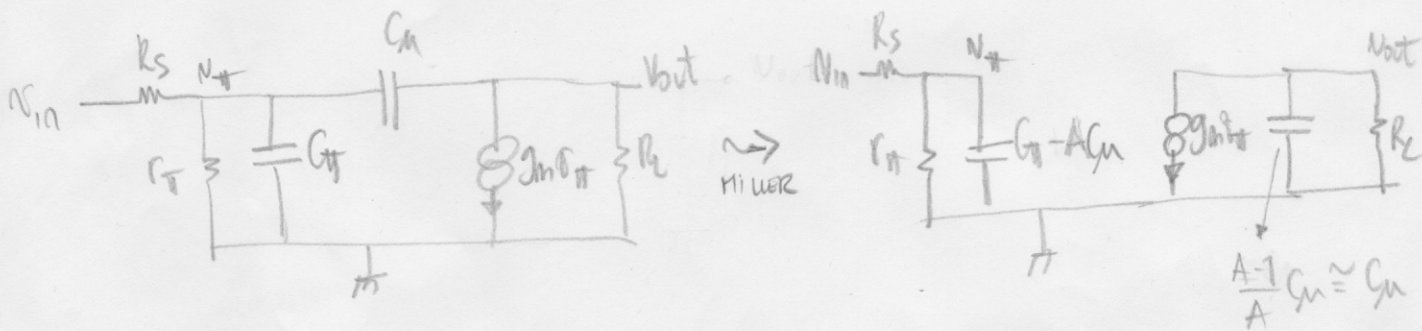
(a)



$$\left. \begin{aligned}
 V_{\pi} &= \frac{r_{\pi}}{R_s + r_{\pi}} N_{in} \\
 -\frac{N_{out}}{R_L} &= g_m V_{\pi}
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow -\frac{N_{out}}{R_L} = g_m \frac{r_{\pi}}{R_s + r_{\pi}} N_{in} \Rightarrow \boxed{\frac{N_{out}}{N_{in}} = -g_m R_L \cdot \frac{r_{\pi}}{R_s + r_{\pi}} \approx -1}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta V_T}{I_1} = 3,25 \text{ k}\Omega \Rightarrow \boxed{\frac{N_{out}}{N_{in}} = -195 \frac{\text{V}}{\text{V}}} \text{ ganancia}$$

(b)



Aplica Miller: $A = -195 \frac{\text{V}}{\text{V}} \gg 1$, $C_1 = C_u - A C_u$

$$\left. \begin{aligned}
 N_{\pi} &= \frac{r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_1 s}}{R_s + r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_1 s}} N_{in} = \frac{r_{\pi}}{1 + r_{\pi} C_1 s} N_{in} \\
 N_{in} &= \frac{r_{\pi}}{R_s (1 + r_{\pi} C_1 s) + r_{\pi}} N_{in}
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$-\frac{N_{out}}{R_L \parallel \frac{1}{C_2 s}} = g_m V_{\pi} \Rightarrow N_{out} = -g_m \cdot \left(\frac{R_L}{1 + R_L C_2 s} \right) N_{\pi}$$

$$\Rightarrow N_{out} = \frac{-r_{\pi} \cdot g_m R_L \cdot N_{in}}{(R_s + r_{\pi} + R_s r_{\pi} C_1 s) (1 + R_L C_2 s)} \Rightarrow \frac{N_{out}}{N_{in}} = \frac{-r_{\pi}}{R_s + r_{\pi}} \cdot \frac{g_m R_L}{(1 + \frac{R_s r_{\pi} C_1 s}{R_s + r_{\pi}}) (1 + R_L C_2 s)}$$

$$\omega_1 = \frac{R_s + r_{\pi}}{R_s r_{\pi} C_{\pi}} = \frac{R_s + r_{\pi}}{R_s r_{\pi} (C_{\pi} - \Delta C_{\pi})} \approx \frac{1}{R_s / 4 C_{\pi}} \Rightarrow f_1 = 3,9 \text{ MHz}$$

↳ free. de corte superior

$$\omega_2 = \frac{1}{R_L C_{\mu}} \Rightarrow f_2 = 59 \text{ MHz}$$

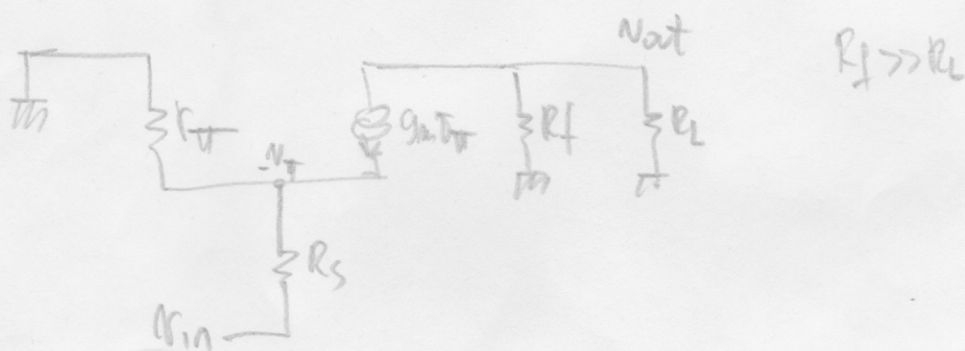
Cálculo de C_{π} :

$$\omega_{\beta} \frac{1}{f_T} = \frac{g_m}{C_{\mu} + C_{\pi}} \Rightarrow C_{\mu} + C_{\pi} = \frac{g_m}{2\pi f_T} = 31 \text{ pF} \Rightarrow C_{\pi} @ 25\text{mA} = 30 \text{ pF}$$

$$C_{\pi} = C_{je} + K I \Rightarrow 30 \text{ pF} = 1 \text{ pF} + K (25 \text{ mA}) \Rightarrow K = 1,1 \times 10^{-9} \frac{\text{F}}{\text{A}}$$

$$C_{\pi} @ 2 \text{ mA} = 1 \text{ pF} + K (2 \text{ mA}) = 3,4 \text{ pF} \Rightarrow \boxed{C_{\pi} = 3,4 \text{ pF}}$$

©



$$\frac{-v_{out}}{R_L} = g_m v_{\pi}$$

$$\frac{v_{in} + v_{\pi}}{R_s} = \frac{-v_{\pi}}{r_{\pi}} - g_m v_{\pi} \approx g_m v_{\pi} \Rightarrow v_{in} = (-1 + g_m R_s) v_{\pi}$$

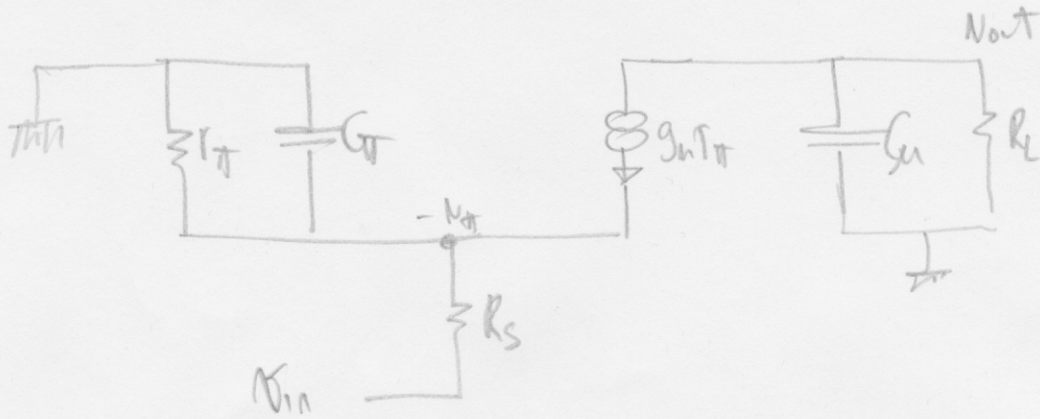
$$\Rightarrow -v_{out} = \frac{g_m R_L v_{in}}{g_m R_s}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_L}{R_s} = 12 \frac{\text{V}}{\text{V}}}$$

ganancia

+

© cont.



$$\frac{v_{in} + v_{\pi}}{R_S} + g_m v_{\pi} = \frac{-v_{\pi} (1 + r_{\pi} C_{\pi} s)}{r_{\pi}} \Rightarrow \frac{v_{in}}{R_S} = -v_{\pi} \left(\frac{1}{R_S} + g_m + \frac{1 + r_{\pi} C_{\pi} s}{r_{\pi}} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{in} = -v_{\pi} \left(1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_{\pi}} (1 + r_{\pi} C_{\pi} s) \right) = \frac{-v_{\pi}}{r_{\pi}} \left(r_{\pi} + g_m r_{\pi} R_S + R_S + R_S r_{\pi} C_{\pi} s \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-r_{\pi}}{g_m r_{\pi} R_S + R_S + r_{\pi} + R_S r_{\pi} C_{\pi} s}$$

$$g_m v_{\pi} = \frac{-v_{out} (1 + R_L C_{\mu} s)}{R_L} \Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{\pi}} = \frac{-g_m R_L}{1 + R_L C_{\mu} s}$$

$$\omega_1 = \frac{g_m r_{\pi} R_S + R_S + r_{\pi}}{R_S r_{\pi} C_{\pi}} \approx \frac{g_m r_{\pi} R_S + r_{\pi}}{R_S r_{\pi} C_{\pi}} \approx \frac{g_m R_S + 1}{R_S C_{\pi}} \approx \frac{g_m}{C_{\pi}} \Rightarrow f_1 = 3.6 \text{ GHz}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{R_L C_{\mu}} \Rightarrow \boxed{f_2 = 59 \text{ kHz}} \text{ freq. de corte superior}$$

d) El circuito de la figura 2 (2) tiene mayor ancho de banda.

Esto se debe a q' la base de Q_1 está a tierra y por tanto C_u tiene una de sus terminales a tierra. De este modo se evita el efecto miller en (2). En (1) esto no pasa y C_u "pasa" a la entrada multiplicado por un factor aprox. de 200, determinando el ancho de banda.

e) El circuito de la figura 1 (1) tiene mejor ganancia. Esto se debe a que no tiene resistencia de emisor (observar que R_S en el (2) actúa como resistencia de emisor).

NOTA: observar que la falta de R_{emisor} en (1) repercute en un menor ancho de banda,

P2

(a) Calcula I_{D3} : $I_{D3} = \frac{\beta_n}{2} (V_{DS3} - V_E)^2 = 2 \text{ mA}$

$$V_{DS3} = \frac{V_{DS2} - V_E}{1+5} = 1 \text{ V}$$

M3/M2: $I_{D3} = I_{D2} = 1 \text{ mA} (= I_{D3}/2)$

$$V_{GS2} = V_E + \sqrt{\frac{2I_{D2}}{\beta_n}} = 1,71 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{DS2,3} = 0,71 \text{ V}$$

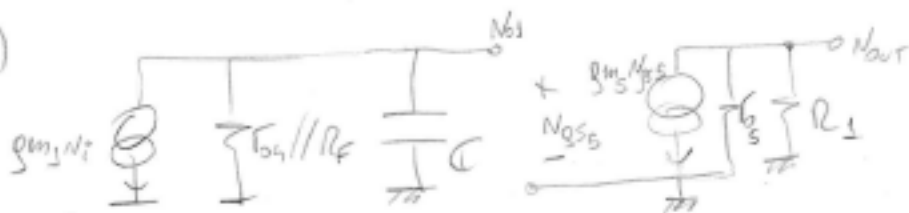
M4: $I_{D4} = I_{D2} \Rightarrow V_{GS4} = V_E + \sqrt{\frac{2I_{D4}}{\beta_n}} = 1,71 \text{ V}$

ICM:

$$V_{ICM}^{low} = V_{DS3} + V_{GS2} = 2,71 \text{ V}$$

$$V_{ICM}^{max} = V_{DD} - V_{GS4} - V_{DS2} + V_{GS2} = 12,29 \text{ V}$$

(b)



Paráms BJT:

$$g_{m1} = \sqrt{\frac{2\beta_n I_{D1}}{1+5}} = 2,83 \text{ mA/V}$$

$$r_{o1} = \frac{V_A}{I_{D1}} = 30 \text{ k}\Omega \ll R_F$$

Análisis DC

M5: $V_{GS5} = V_{GS4} \Rightarrow I_{D5} = I_{D4} = 2 \text{ mA}$

Paráms M5:

$$g_{m5} = \sqrt{\frac{2\beta_n I_{D5}}{1+5}} = 2,83 \text{ mA/V}$$

$$r_{o5} = \frac{V_A}{I_{D5}} = 30 \text{ k}\Omega$$

(b)
(sigue)

$$\left. \begin{aligned} \frac{N_{out}}{N_i} &= -g_{m1} (R_F // r_{os}) \approx -g_{m1} r_{os} \\ \frac{N_{out}}{N_{i1}} &= -g_{m2} (R_3 // r_{os}) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{N_{out}}{N_i} = g_{m1} g_{m2} r_{os} (R_3 // r_{os})$$

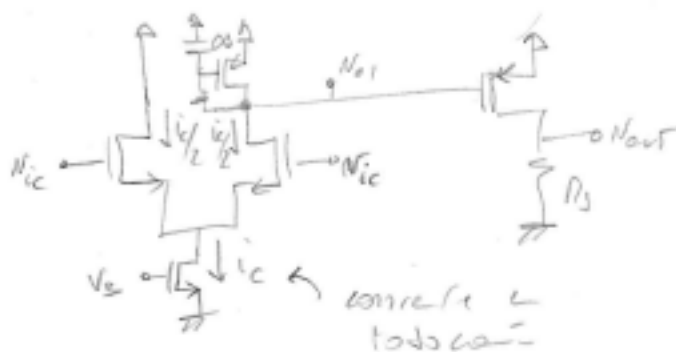
$$\boxed{\frac{N_{out}}{N_i} = 1441 \text{ V/V}} \quad (63,2 \text{ dB})$$

(c)

$$CMR = \frac{\Delta_D}{A_c}$$

$$A_c = \frac{N_{out}}{N_{ic}}$$

$$i_c = \frac{N_{ic}}{r_{os}}$$



$$\Rightarrow r_{os} = -\frac{i_c}{g_{m1}} \Rightarrow \frac{N_{out}}{N_{ic}} = A_c = g_{m2} (R_3 // r_{os}) \frac{r_{os}}{2 r_{os}}$$

$$r_{os} = \frac{V_A}{I_{D3}} = \frac{r_{os}}{2} (= 156 \mu\text{m})$$

$$\Rightarrow CMR = \frac{\Delta_D}{A_c} = \frac{g_{m1} r_{os} \cdot g_{m2} (R_3 // r_{os})}{g_{m2} (R_3 // r_{os}) \frac{r_{os}}{2 r_{os}}} \Rightarrow \boxed{CMR = g_{m1} 2 r_{os}}$$

$$CMR = 84,9 \text{ V/V}$$

$$(38,6 \text{ dB})$$

(d) $f_T = A_D \cdot f_{-3dB}$

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{r_{os} C}$$

$$\Rightarrow f_T = \frac{1}{2\pi} \frac{g_{m1} r_{os} g_{m2} (R_3 // r_{os})}{r_{os} C}$$

$$\Rightarrow \boxed{f_T = \frac{1}{2\pi} \frac{g_{m1}}{C} \cdot g_{m2} (R_3 // r_{os})}$$

$$\boxed{f_T = 2,49 \text{ MHz}}$$