

Examen de Electrónica Avanzada 1
13/12/2024

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas.

La prueba es **sin material** e **individual**.

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 multietapa.

$M1_j$ (con $j=1..n$) está formado por cuatro transistores unitarios μ en paralelo y $M2_j$ por un transistor μ .

Suponer que las tensiones de continua de la entrada y salida de cada etapa son iguales y que la polarización es tal que todos los transistores trabajan en saturación.

a) Calcule la ganancia en banda pasante de cada etapa v_{outj}/v_{inj} .

b) Calcule la caída de -3 dB de una etapa. Tener presente que cada etapa está cargada por la siguiente.

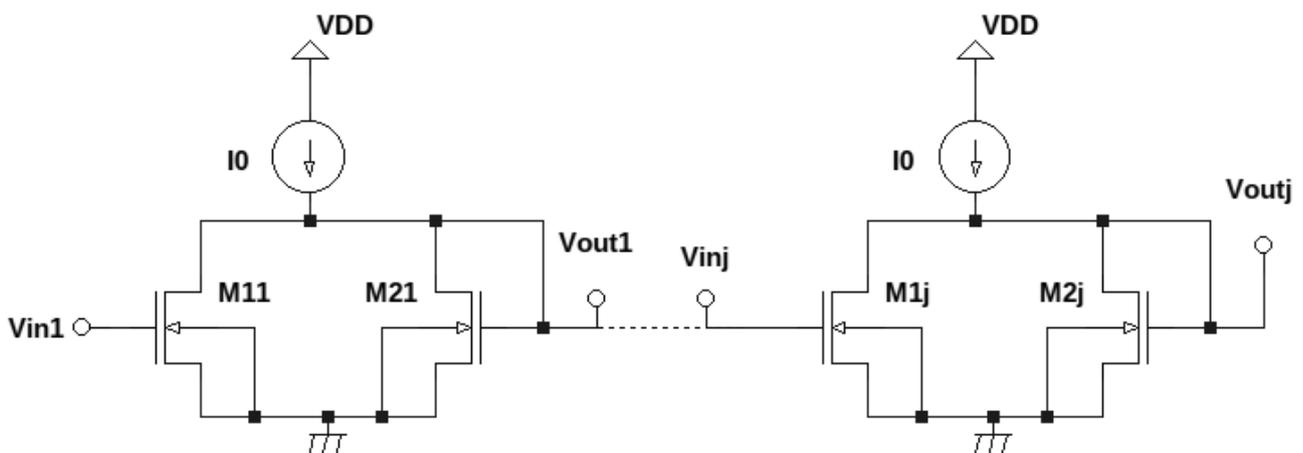
c) Calcule la ganancia entre las dos primeras etapas (V_{out2}/V_{in1}) y la caída de -3 dB de dicha transferencia.

Datos:

$I_0 = 10 \text{ mA}$.

μ : $\beta = 0,2 \text{ mA/V}^2$, $f_T @ 2\text{mA} = 1 \text{ GHz}$, $\delta = 0$.

Las capacidades de overlap C_{gs0} , C_{gd0} y las capacidades a sustrato C_{sb} , C_{db} son despreciables.



Problema 2: (37 puntos)

Dado el circuito de la figura, calcule:

- a) La resistencia de entrada diferencial.
- b) La ganancia diferencial $A_d = v_{o1}/(v_1-v_2)$.
- c) La ganancia en modo común: $A_{cm} = V_{o1}/V_{cm}$ y el CMRR.
- d) El rango de entrada en modo común ICMR y la máxima excursión.

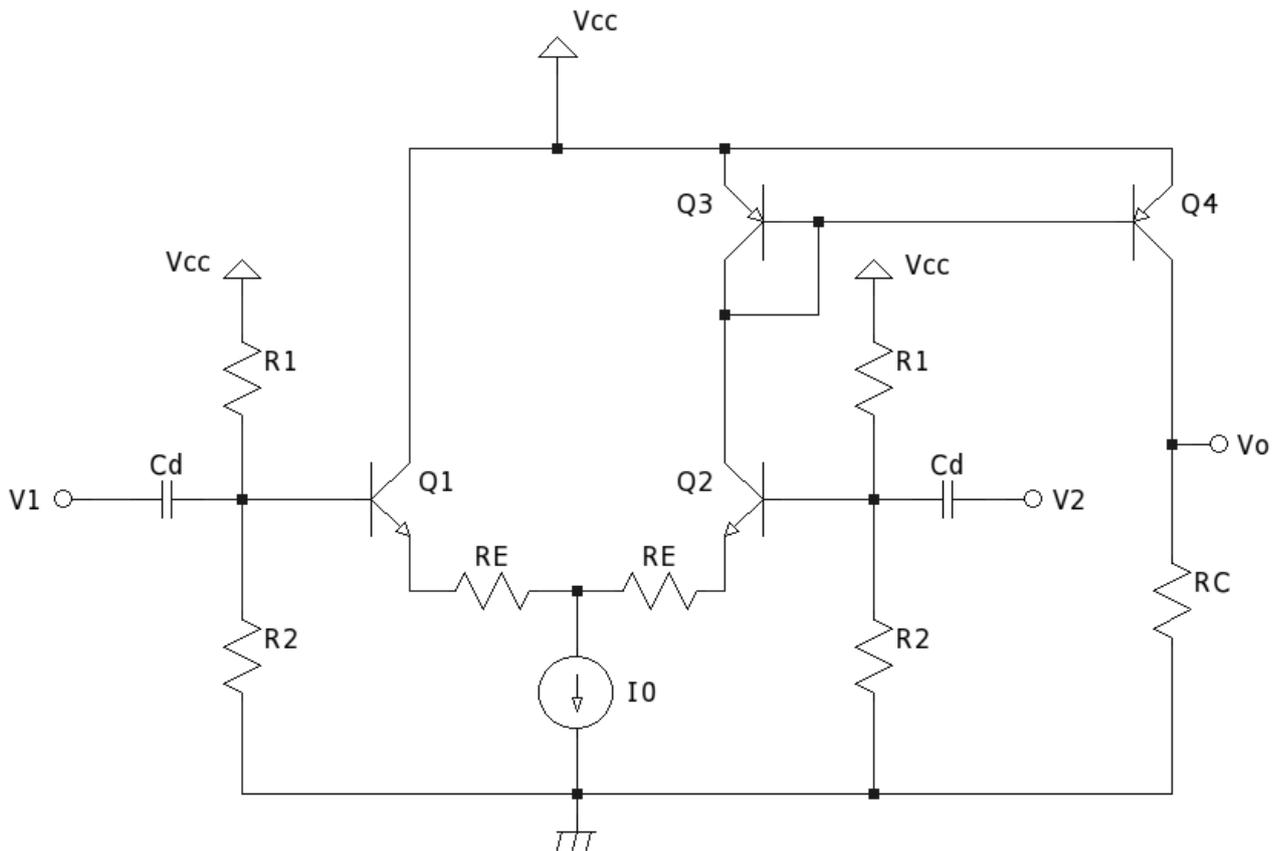
Datos:

$Q1 \equiv Q2, Q3 \equiv Q4 : V_{BEon} = V_{EBon} = 0.6 \text{ V}, V_{CEsat} = V_{ECsat} = 0.3 \text{ V}, \beta = 400, V_A = \infty.$

$V_{cc} = 10 \text{ V}, R1 = 15 \text{ k}\Omega, R2 = 10 \text{ k}\Omega, R_E = 200 \Omega, R_C = 2.5 \text{ k}\Omega.$

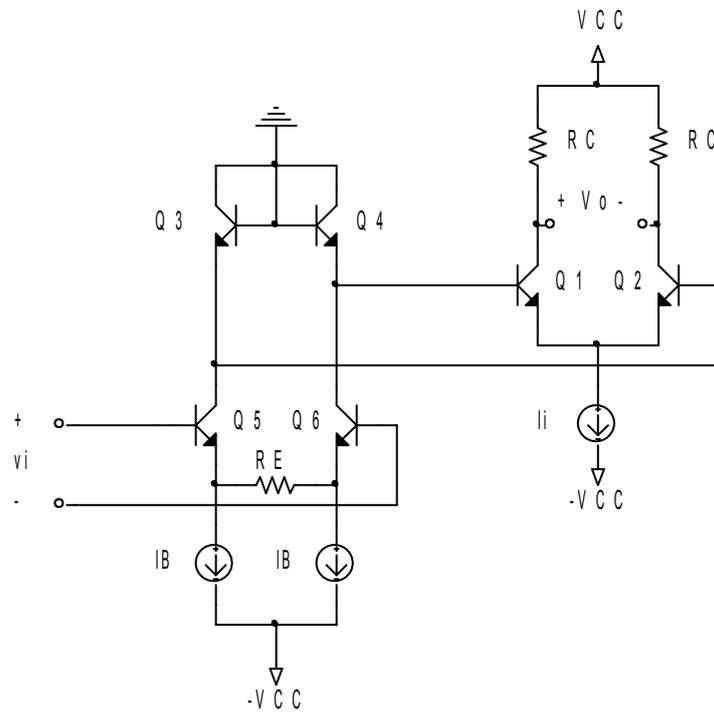
Fuente de corriente I_0 : $I_0 = 4 \text{ mA}$, tensión mínima para su correcto funcionamiento $V_{I0min} = 1 \text{ V}$ y resistencia de salida $R_o = 200 \text{ k}\Omega$.

Los condensadores C_d se podrán considerar infinitos.

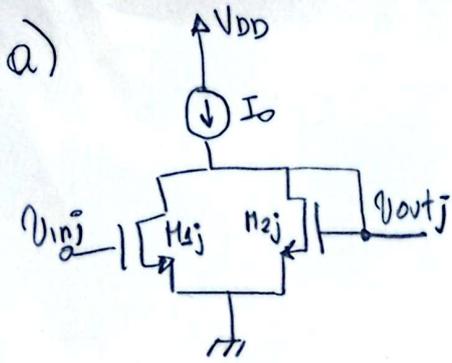


Pregunta : (26 puntos)

1. Determinar V_o en función de v_i e I_i .
 2. ¿En que rango aproximado de valores de v_i el circuito se comportará linealmente respecto a v_i ?
- Todos los transistores son idénticos.



PROBLEMA 1



DC Como tienen mismo V_{GS} en DC

$$y \begin{cases} W_{1j} = 4W_{2j} \\ L_{1j} = L_{2j} \end{cases}$$

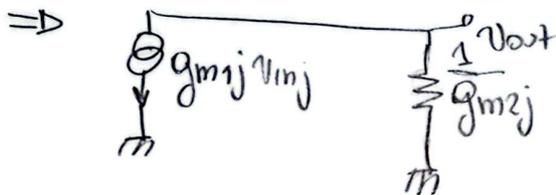
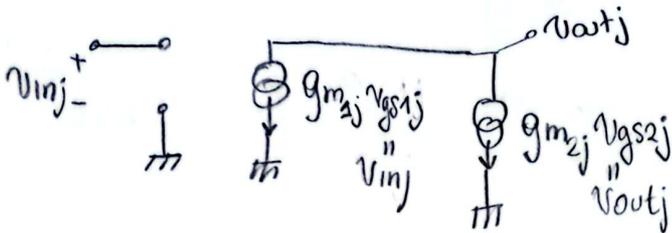
$$\Rightarrow I_{1j} = 4I_{2j} \Rightarrow I_{1j} = \frac{4}{5} I_0 \quad I_{2j} = \frac{1}{5} I_0$$

$I_{1j} + I_{2j} = I_0$

$$g_{m1j} = \sqrt{\frac{2\beta_1}{1+s} \left(\frac{4I_0}{5}\right)} = \sqrt{\frac{8\beta_1 I_0}{5}} = \sqrt{\frac{8(4\beta)}{5}} I_0 = 3.16 \text{ mS}$$

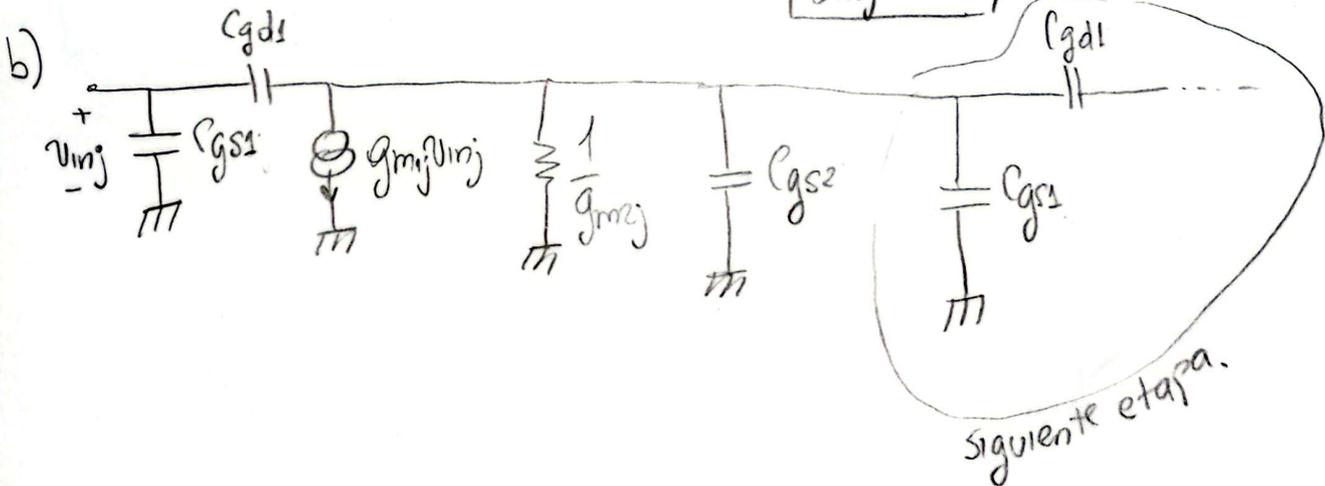
$$g_{m2j} = \sqrt{\frac{2\beta_2 I_0}{5}} = \sqrt{\frac{2\beta}{5}} I_0 = 0.9 \text{ mS}$$

BANDA PASANTE



$$\frac{V_{outj}}{V_{inj}} = -\frac{g_{m1j}}{g_{m2j}} = -\frac{\sqrt{\frac{8 \times 4 \times \beta I_0}{5}}}{\sqrt{\frac{2 \times \beta I_0}{5}}} = -\frac{\sqrt{32}}{\sqrt{2}} = -4$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_{outj}}{V_{inj}} = -4}$$



Como las capacidades de overlap son despreciables y los transistores están en saturación:

$$C_{gs1} = \frac{2}{3}(W_1 C_{ox})$$

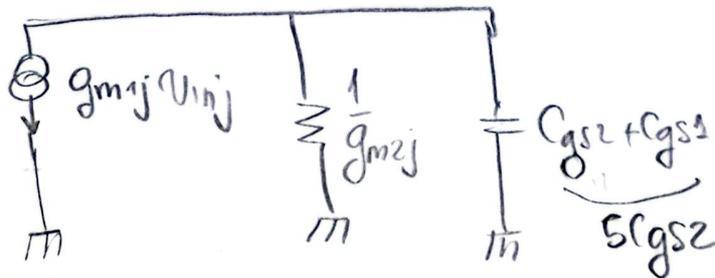
$$C_{gd1} = \phi$$

Además $\begin{cases} W_1 = 4W_2 \\ L_1 = L_2 \end{cases} \Rightarrow C_{gs1} = 4C_{gs2}$

$$f_r = \frac{g_{m2j}}{2\pi(C_{gs2} + C_{gd2})} = \frac{g_{m2j}}{2\pi C_{gs2}} \Rightarrow C_{gs} = \frac{g_{m2j}}{2\pi f_r} = 142 \text{ fF}$$

el dato se da a 2mA que es la corriente de I_{D2j}

El polo lo define la salida de la etapa:



$$f_p = \frac{g_{m2j}}{2\pi(5C_{gs2})} = 200 \text{ MHz}$$

c) Si tengo dos etapas de ganancia en banda pasante -4 la ganancia total en banda pasante será el producto: $A_0 = 16$

Ambas etapas introducen un polo en f_p , por lo tanto la transferencia es:

$$A(j\omega) = \frac{A_0}{\left(1 + j\frac{\omega}{2\pi f_p}\right)^2}$$

En la frecuencia de -3dB $f_{-3\text{dB}}$ se cumple:

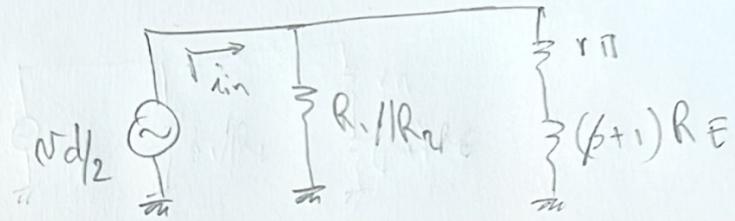
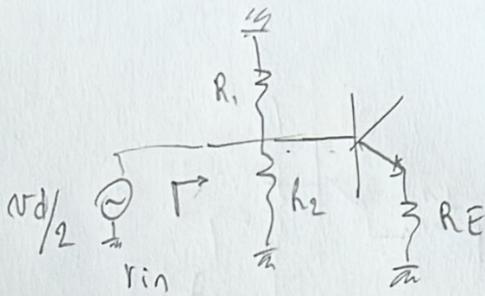
$$\frac{A_0}{\left|1 + j\frac{f_{-3\text{dB}}}{f_p}\right|^2} = \frac{A_0}{\sqrt{2}} \iff 1 + \left(\frac{f_{-3\text{dB}}}{f_p}\right)^2 = \sqrt{2}$$

$$\iff f_{-3\text{dB}} = f_p \sqrt{\sqrt{2} - 1} \implies \boxed{f_{-3\text{dB}} = 129 \text{ MHz}}$$

Problema 2.

2) Rindit.

Considero unz mited.



$$r_{in} = \frac{U_d}{i_{in}} = 2 \cdot R_1 \parallel R_2 \parallel (r_{\pi} + (\beta + 1)R_E) = 11,2 \text{ k}\Omega$$

$$g_m = \frac{I_{C1,2}}{U_T} = \frac{2 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 77 \text{ mS}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = 5,2 \text{ k}\Omega$$

b)

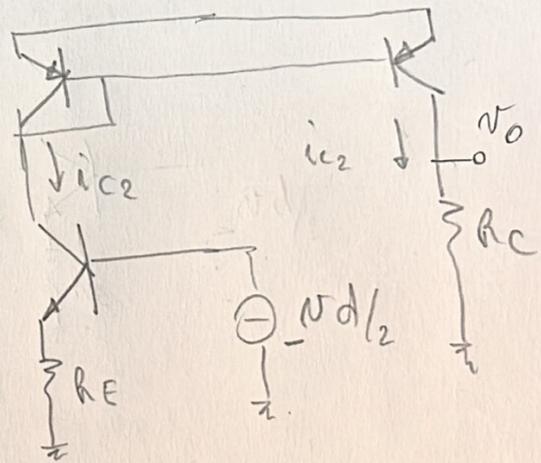
Q_3, Q_4 Espejo $i_{c2} = i_{c4}$

$$U_d = U_1 - U_2$$

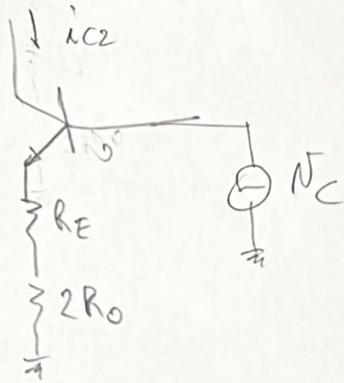
$$i_{c2} = \frac{-U_d/2 \cdot g_m}{1 + g_m R_E}$$

$$U_o = i_{c2} \cdot R_c = \frac{-U_d \cdot g_m \cdot R_c}{2(1 + g_m R_E)}$$

$$\Rightarrow A_d = \frac{U_o}{U_d} = \frac{-g_m R_c}{2(1 + g_m R_E)} = -5,87$$



c). Para el modo común una mitad del circuito es:



$$i_{c2} = N_c \cdot \frac{g_m}{1 + g_m(R_E + 2R_o)}$$

$$N_o = -i_{c2} R_c = \frac{-g_m R_c N_c}{1 + g_m(R_E + 2R_o)}$$

$$A_{cm} = \frac{N_o}{N_c} = \frac{-g_m R_c}{1 + g_m(R_E + 2R_o)} = -0,0062$$

$$CMRR = 20 \log_{10} \left(\frac{A_d}{A_{cm}} \right) = 59,5 \text{ dB}$$

d) ICMR pos: $\underbrace{V_{CC} - V_{BE}}_{V_{C2}} - \underbrace{\left(V_{CE_{DC}} + \frac{N_{CM_{AC}}}{A_c} V_{BE} \right)}_{4V \quad V_{E2}} > V_{CE_{SAT}}$

$$\Rightarrow N_{CM_{AC}} < V_{CC} - V_{BE} + V_{BE} - V_{CE_{SAT}} - V_{CE_{DC}} = 5,7 \text{ V}$$

$$ICMR \text{ Neg} = \left(V_{CE_{DC}} + \frac{N_{CM_{AC}}}{A_c} V_{BE} \right) - V_{BE} - R_E \cdot I_{C_{1,2}} > V_{I_{0 \text{ Min}}}$$

$$\Rightarrow N_{CM_{AC}} > V_{I_{0 \text{ Min}}} + R_E I_{C_{1,2}} + V_{BE} - V_{CE_{DC}} = -2 \text{ V}$$

Excursión

SAT. Q4

$$V_{CC} - (V_{CEQ} + R_C I_{C1,2}) > V_{CE\text{SAT}4}$$

$$V_{CEQ} < V_{CC} - V_{CE\text{SAT}4} - R_C I_{C1,2} = 4,7 \text{ V}$$

CORTE Q4

$$R_C I_{C1,2} - V_{CEQ} > 0 \Rightarrow V_{CEQ} < R_C I_{C1,2} = 5 \text{ V}$$