

Examen de Electrónica Avanzada 1
22/12/2023

Resolver cada problema en hojas separadas y utilizando solo una carilla de la hoja.

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: (36 puntos)

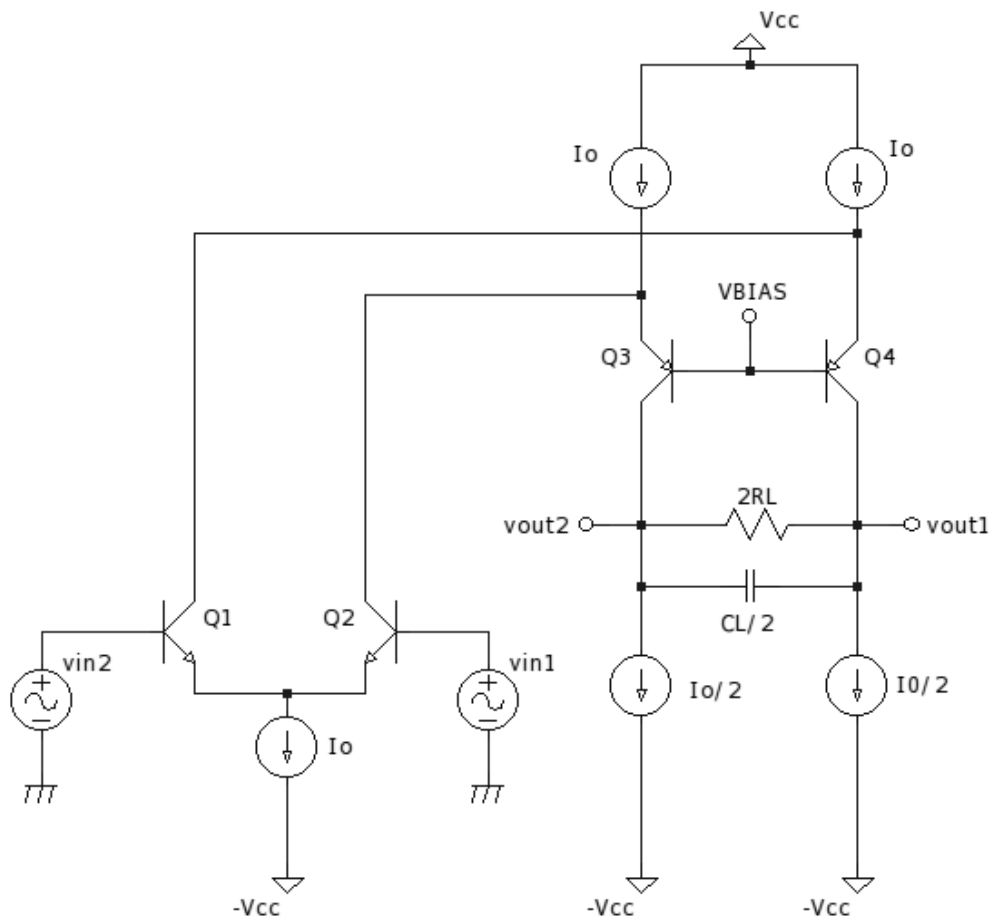
- a) En el amplificador diferencial de la figura, determine la ganancia diferencial $(v_{out2}-v_{out1})/(v_{in2}-v_{in1})$ a bajas frecuencias.
- b) Determine la frecuencia de caída de 3dB.
- c) Si las fuentes de señal en v_{in} tienen una resistencia interna R_s de 1 k Ω , ¿cambia el resultado de la parte b) ? Justifique.

Datos:

Q1, Q2, Q3, Q4: $\beta = 200$, $V_{BE} = 0.7$ V, Tensión de Early: $V_A = \infty$, $C_{\mu} = 1$ pF, $C_{je} = 5$ pF y $f_{T@1mA} = 950$ MHz.

V_{cc} , $-V_{cc}$ y V_{BIAS} son tales que todos los transistores están en zona activa.

$R_L = 27$ k Ω , $C_L = 5$ pF, $I_o = 200$ μ A.



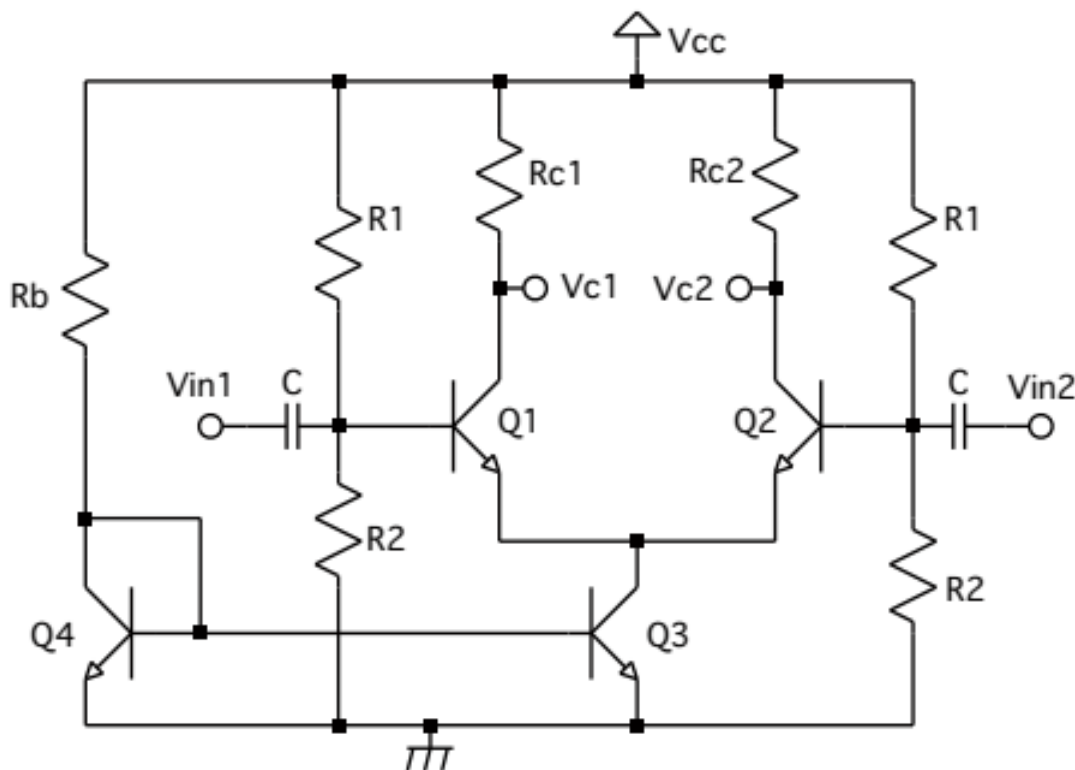
Problema 2: (36 puntos)

Se busca estudiar los efectos de la dispersión en las resistencias de colector del par diferencial en el funcionamiento del circuito de la figura. Para ello considere que R_{c1} y R_{c2} son dos resistencias de valor nominal R_c y dispersión ΔR_c (es decir que R_{c1} y R_{c2} pueden tomar cualquier valor en el rango $R_c \pm \Delta R_c/2$), y calcule:

- la ganancia diferencial $(V_{C2}-V_{C1})/(V_{in1}-V_{in2})$, la ganancia en modo común y el CMRR.
- Repita los cálculos de la parte a), considerando que $Q3$ y $Q4$ tienen tensión de Early $V_A = 80V$.
- Calcule el peor caso del voltaje de offset en la salida debido a la dispersión en R_c .
- Calcule la máxima excursión diferencial.

Datos

- $R_b = 1 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 2.2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, y $C = \infty$.
- $R_c = 1 \text{ k}\Omega$, y $\Delta R_c/R_c = 0,1$.
- Todos los transistores idénticos con $\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $V_{CESAT} = 0.3 \text{ V}$, y $V_A = \infty$ salvo cuando se indica lo contrario.
- $V_{cc} = 8 \text{ V}$



Pregunta : (28 puntos)

En el circuito de la figura, determinar:

a) Los mínimos valores de IBIAS y Vcc para poder entregar 6 Watts a una carga de 8 Ω.

En lo que sigue se despreciará la corriente de reposo en los transistores de salida

b) Determinar el máximo rendimiento de la etapa de salida Q1, Q2.

c) Determinar la máxima potencia que tiene que disipar Q1 y para que amplitud de salida ocurre.

d) Este circuito se utilizará en un ambiente a $T_A = 65^\circ\text{C}$. Demuestre que Q1 y Q2 no soportarán estas condiciones ambientales.

e) Para solucionar el problema mencionado en la parte d) se acoplarán térmicamente Q1 y Q2 a un disipador. Las características del mismo son: $R_{\theta SA} = 5^\circ\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$ y $R_{\theta CS} = 1^\circ\text{C}/\text{W}$.

Que largo debe tener el disipador?

f) ¿Es recomendable montar a Q3 y Q4 en el mismo disipador que a Q1 y Q2 ? Justifique la respuesta.

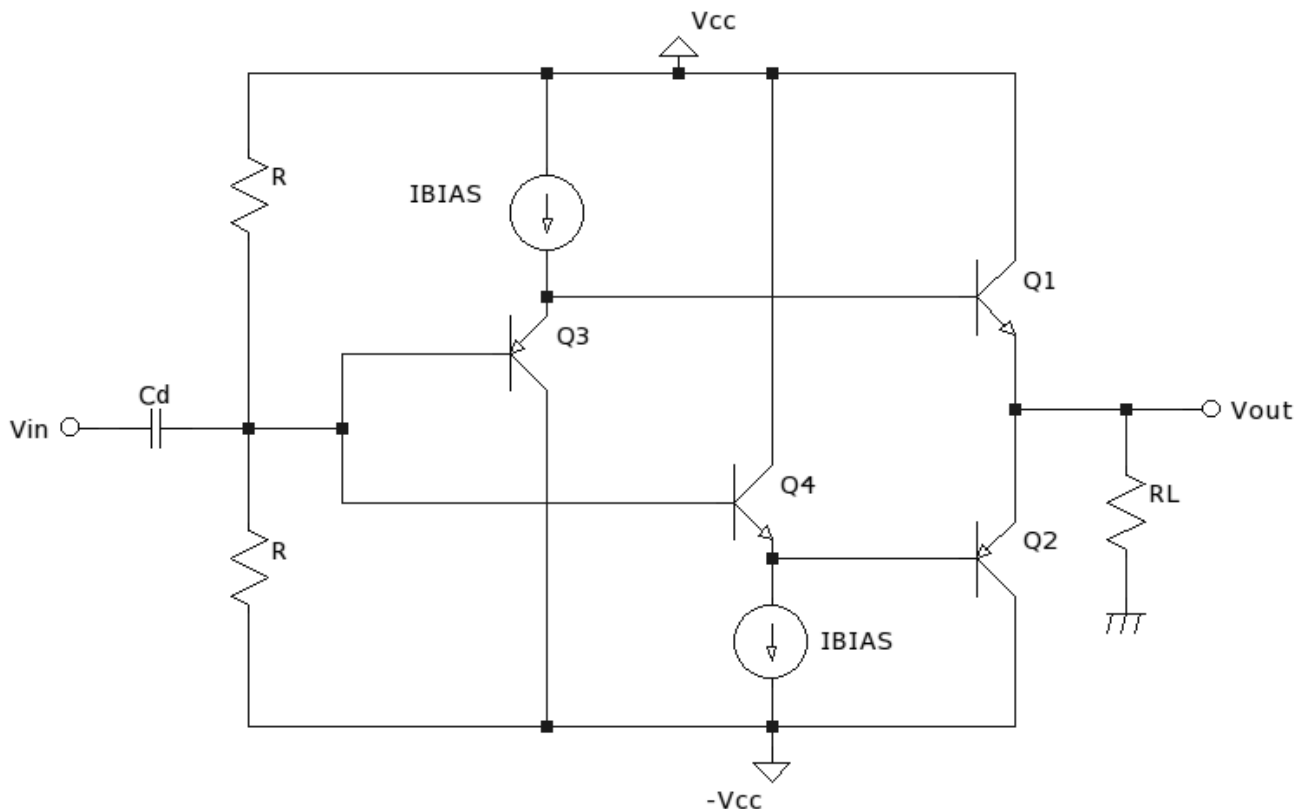
En todo el problema: Q1 idéntico a Q4 y Q3 idéntico a Q2, las fuentes de corriente IBIAS tienen una tensión de saturación de 0.3 V, los transistores tienen $V_{BE} = |V_{EB}| = 0.8\text{ V}$, $V_{CESAT} = 0.5\text{ V}$ y $\beta = 50$, C_d se podrá considerar infinito.

Para Q1 y Q2:

Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
--	----------------	-------------	------------------

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.92	$^\circ\text{C}/\text{W}$

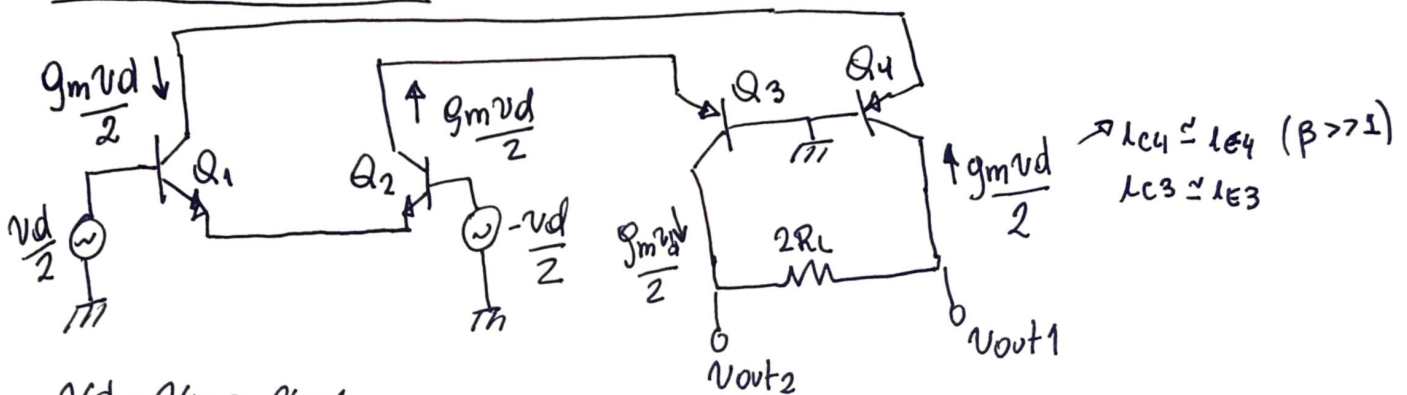


② $I_{c1} = I_{c2} = I_{c3} = I_{c4} = \frac{I_0}{2} = 100 \mu A$

$g_{m1} = g_{m2} = g_{m3} = g_{m4} = \frac{I_0}{2V_T} = g_m = 3,85 \text{ mS}$

$r_{\pi 1} = r_{\pi 2} = r_{\pi 3} = r_{\pi 4} = \frac{\beta}{g_m} = r_{\pi} = 52 \text{ k}\Omega$

BAJAS FRECUENCIAS



$v_d = v_{in2} - v_{in1}$

$v_{out2} - v_{out1} = 2R_L \frac{g_m v_d}{2} = R_L g_m v_d \Rightarrow \frac{v_{out2} - v_{out1}}{v_{in2} - v_{in1}} = R_L g_m = 10^4 \text{ V/V}$

⑤ ALTAS FRECUENCIAS

$C_{\mu 1} = C_{\mu 2} = C_{\mu 3} = C_{\mu 4} = C_{\mu} = 1 \text{ pF}$

$C_{\pi 1} = C_{\pi 2} = C_{\pi 3} = C_{\pi 4} = C_{\pi} @ I_{c} = 100 \mu\text{A}$

$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_{\mu} + C_{\pi})} \Rightarrow C_{\pi} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_{\mu}$

$C_{je} = 5 \text{ pF}$

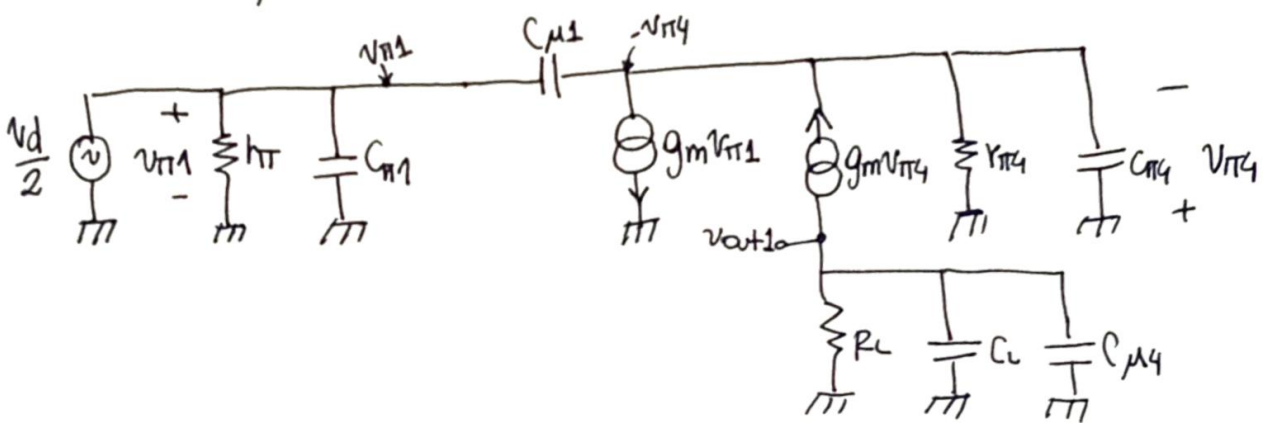
$C_{\pi} @ I_{c} = 1 \text{ mA} = \frac{g_m @ I_{c} = 1 \text{ mA}}{2\pi f_T @ I_{c} = 1 \text{ mA}} - C_{\mu} = C_{je} + k(1 \text{ mA}) \Rightarrow K = \frac{C_{\pi} @ I_{c} = 1 \text{ mA} - C_{je}}{1 \text{ mA}} = 0,144 \frac{\text{pF}}{\text{mA}}$

$g_m @ I_{c} = 1 \text{ mA} = \frac{1 \text{ mA}}{26 \text{ mV}}$

$5,44 \text{ pF}$

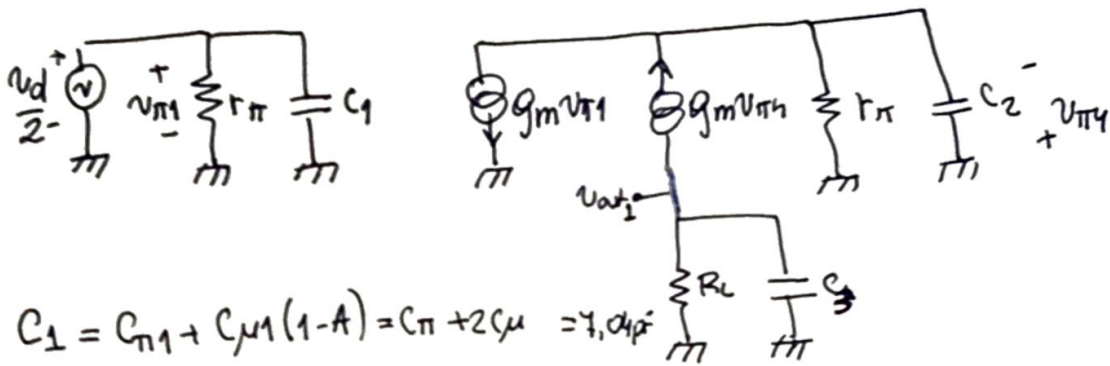
$f_T @ I_{c} = 1 \text{ mA} = 950 \text{ MHz}$

$C_{\pi} @ I_{c} = 100 \mu\text{A} = C_{je} + k(100 \mu\text{A}) = 5,04 \text{ pF}$



Aplico Miller a $C_{\mu 1}$ con $A_{BF} = \frac{-v_{\pi 4}}{v_{\pi 1}} |_{BF}$

$\frac{-v_{\pi 4}}{v_{\pi 1}} |_{BF} = \frac{-g_{m4} A_{v4}}{g_{m1} A_{v1}} |_{BF} = -\frac{I_{c4} / \beta}{I_{c1} / \beta} |_{BF} \approx -\frac{I_{c4}}{I_{c1}} |_{BF} = -1$



$$C_1 = C_{\pi 1} + C_{\mu 1}(1-A) = C_{\pi} + 2C_{\mu} = 7.04 \text{ pF}$$

$$C_2 = C_{\pi 4} + C_{\mu 4} \frac{A-1}{A} = C_{\pi} + 2C_{\mu} = 7.04 \text{ pF}$$

$$C_3 = C_L + C_{\mu 4} = 6 \text{ pF}$$

$$* v_{out1} = -g_m v_{\pi 4} (R_L \parallel \frac{1}{C_3 s}) = -\frac{g_m v_{\pi 4} R_L}{1 + C_3 R_L s}$$

$$* v_{\pi 4} = (r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_2 s}) g_m (v_{\pi 1} - v_{\pi 4}) \Rightarrow v_{\pi 4} (1 + g_m (r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_2 s})) = g_m v_{\pi 1} (r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_2 s})$$

$$v_{\pi 4} = \frac{g_m v_{\pi 1}}{\frac{1}{r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_2 s}} + g_m} = \frac{g_m v_{\pi 1}}{\frac{1}{r_{\pi}} + C_2 s + g_m} \stackrel{\frac{1}{r_{\pi}} = \frac{g_m}{\beta} \ll g_m}{\approx} \frac{g_m v_{\pi 1}}{C_2 s + g_m} = \frac{v_{\pi 1}}{\frac{C_2}{g_m} s + 1}$$

$$* v_{\pi 1} = \frac{v_d}{2}$$

$$v_{out1} = -\frac{g_m R_L}{1 + C_3 R_L s} \times \frac{1}{\frac{C_2}{g_m} s + 1} \times \frac{v_d}{2}$$

$$v_{out2} = -\frac{g_m R_L}{1 + C_3 R_L s} \times \frac{1}{\frac{C_2}{g_m} s + 1} \times \left(-\frac{v_d}{2}\right)$$

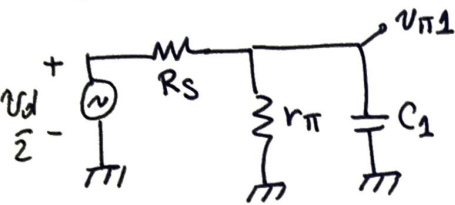
$$\left. \begin{aligned} v_{out1} &= v_{out2} - v_{out1} \\ \frac{v_{out}}{v_d} &= \frac{v_{out2} - v_{out1}}{v_{in2} - v_{in1}} = \frac{g_m R_L}{1 + C_3 R_L s} \times \frac{1}{\frac{C_2}{g_m} s + 1} \end{aligned} \right\}$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_3 R_L} = 982 \text{ kHz} \quad f_{p2} = \frac{g_m}{2\pi C_2} = 87 \text{ MHz}$$

\swarrow f_{-3dB}

© Si las fuentes de señal tienen una resistencia interna R_s entonces $v_{\pi 1} \neq \frac{v_d}{2}$

y que:

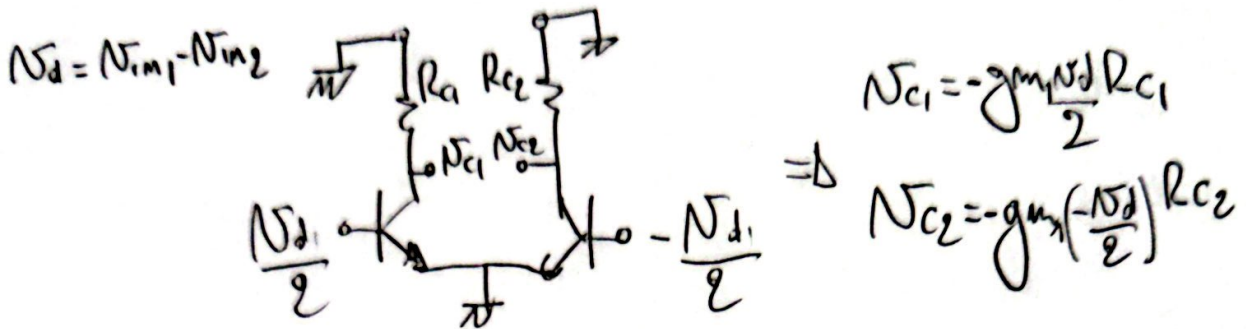


$$v_{\pi 1} = \frac{(r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_1 s})}{R_s + (r_{\pi} \parallel \frac{1}{C_1 s})} \frac{v_d}{2} = \frac{1}{\frac{R_s}{r_{\pi}} + R_s C_1 s + 1} \frac{v_d}{2}$$

Esto agrega un polo $f_{p3} = \frac{r_{\pi} + R_s}{2\pi C_1 r_{\pi} R_s} = 23 \text{ MHz}$

El polo dominante sigue siendo f_{p1} ya que $f_{p3} \gg f_{p1}$

a) Como $V_{A3} = \infty \Rightarrow \boxed{CMRR = \infty} \Rightarrow$
 $A_{cm} = \emptyset$



$$\Rightarrow I_{C2} - I_{C1} = g_{m1} R_{C2} \frac{I_{Nd}}{2} - \left(-g_{m2} R_{C1} \frac{I_{Nd}}{2} \right) = g_{m1} R_C I_{Nd}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{Nd}} = g_{m1} R_C}$$

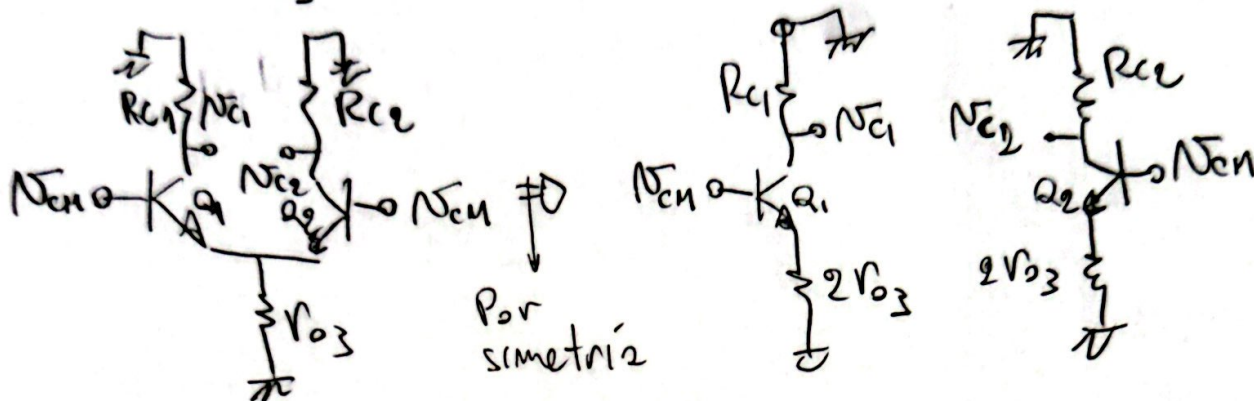
$I_{Q4} = \frac{V_{CC} - V_{BE4}}{R_b} = 7,3 \text{ mA} \Rightarrow I_{Q3} \overset{\text{Espeso}}{\uparrow} = 7,3 \text{ mA}$

$$\Rightarrow I_{Q1} = I_{Q2} = \frac{I_{Q3}}{2} = 3,65 \text{ mA} \Rightarrow g_{m1} = 0,14 \text{ A/V}$$

$$\boxed{\frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{Nd}} = 140 \text{ V/V}}$$

b) La polarización y ganancia diferencial no cambian.

$$V_{03} = \frac{V_A}{I_{C3}} = \frac{80V}{7,3mA} = 11k\Omega$$



$$\Rightarrow \left. \begin{aligned} N_{C1} &\approx -\frac{R_{C1} N_{CM}}{2V_{03}} \\ N_{C2} &= -\frac{R_{C2} N_{CM}}{2V_{03}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_{C2} - N_{C1} = \frac{(R_{C1} - R_{C2}) N_{CM}}{2V_{03}}$$

$$A_{CM} = \frac{N_{C2} - N_{C1}}{N_{CM}} = \frac{R_{C1} - R_{C2}}{2V_{03}} \xrightarrow{\text{Peor caso}} \frac{(R_C + \frac{\Delta R_C}{2}) - (R_C - \frac{\Delta R_C}{2})}{2V_{03}}$$

$$A_{CM} = \frac{\Delta R_C}{2V_{03}}$$

$$CMRR = \frac{\Delta_d}{A_{CM}} = \frac{g_{m1} R_C}{\frac{\Delta R_C}{2V_{03}}} = \frac{g_{m1} R_C V_{03} \cdot 2}{\Delta R_C}$$

$$\Rightarrow CMRR = 2g_{m1} V_{03} \frac{R_C}{\Delta R_C}$$

$$\Rightarrow CMRR = 90 \text{ dB}$$

$$c) \quad I_{Q1} \downarrow I_{Q2} = 3,65 \text{ mA}$$

$$Q_1 \equiv Q_2$$

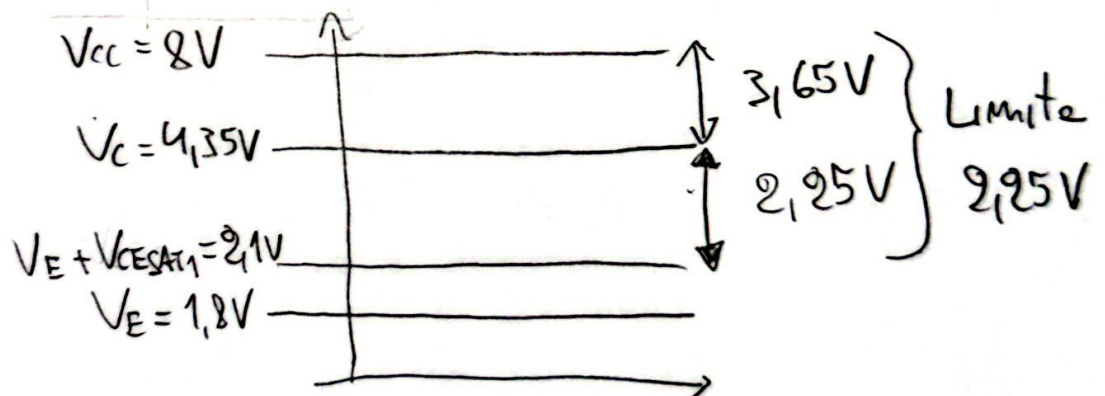
$$V_{O1}^{\text{OFF}} = V_{C1}^{\text{MAX}} - V_{C2}^{\text{MIN}} = \left[V_{CC} - (R_C - \frac{\Delta R_C}{2}) I_{Q1} \right] - \left[V_{CC} - (R_C + \frac{\Delta R_C}{2}) I_{Q2} \right]$$

$$V_o^{\text{OFF}} = \frac{\Delta R_C I_{Q1}}{2} + \frac{\Delta R_C I_{Q2}}{2} = \Delta R_C I_{Q1} \Rightarrow \boxed{V_o^{\text{OFF}} = \Delta R_C I_{Q1}}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_o^{\text{OFF}} = 365 \text{ mV}}$$

$$d) \quad V_{B1} = V_{B2} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 2,5 \text{ V} \Rightarrow V_{E1} = V_{E2} = 1,8 \text{ V}$$

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - R_C I_{Q1} = 4,35$$



Diferencial

$$\neq 0 \quad \boxed{OSW = \pm 4,5 \text{ V}}$$