

Examen de Electrónica Avanzada 1
13/12/2019

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 : (37 puntos)

Para el circuito de la Figura 1:

- Determine R_1 y la máxima R_{bias} que aseguren poder suministrar la potencia requerida por la carga y una tensión de 2 V entre las bases de Q_N y Q_P . Despreciar V_{BE} de los transistores para el cálculo de las potencias.
- Determine la máxima eficiencia de la etapa de salida. ¿Para qué potencia P_L se da?
- Determine la máxima potencia que deben disipar los transistores Q_N y Q_P para cualquier potencia entregada entre 0 W y 4 W. ¿Para qué potencia P_L se da?
- Determine la temperatura ambiente máxima a la cual puede operar el circuito.
- Se coloca un disipador acoplado a ambos transistores a través de una resistencia térmica $R_{CS}=0.5^\circ C/W$ (para cada transistor). ¿Qué resistencia térmica máxima deberá tener el disipador para que el circuito pueda funcionar a una temperatura ambiente máxima de $T_{amb}=50^\circ C$? Para modelar la interacción de ambos transistores sobre un mismo disipador se propone el esquema de la figura 2.

Datos:

$$V_{CC} = -V_{EE} = 12V, R_L = 8\Omega, P_L \leq 4W, R_2 = 330\Omega$$

$$Q_1, Q_2, Q_3: V_{BE} = 1V \text{ si } I_C > 2mA, \beta \gg 1$$

$$Q_N, Q_P: |V_{BE_n}| = |V_{EB_p}| = 1V, \beta = 30, T_{jmax} = 120^\circ C, R_{jcn} = R_{jcp} = 2^\circ C/W, R_{can} = R_{cap} = 60^\circ C/W$$

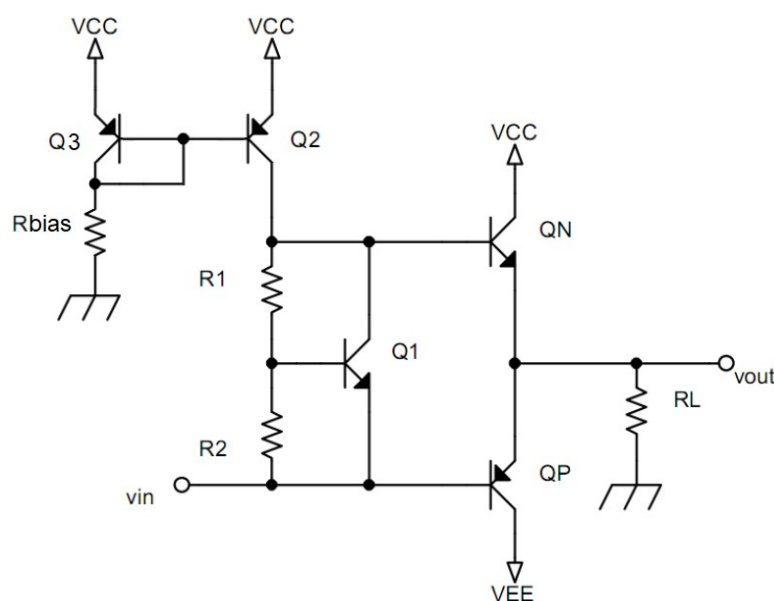


Figura 1

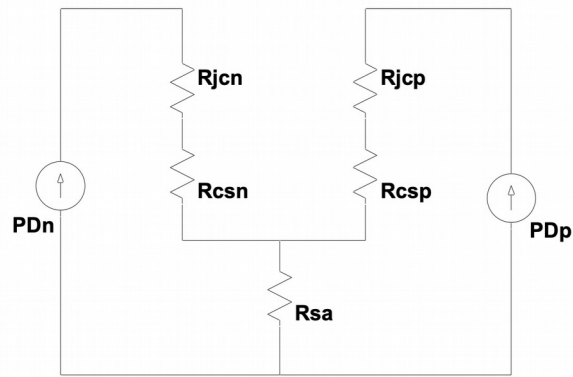
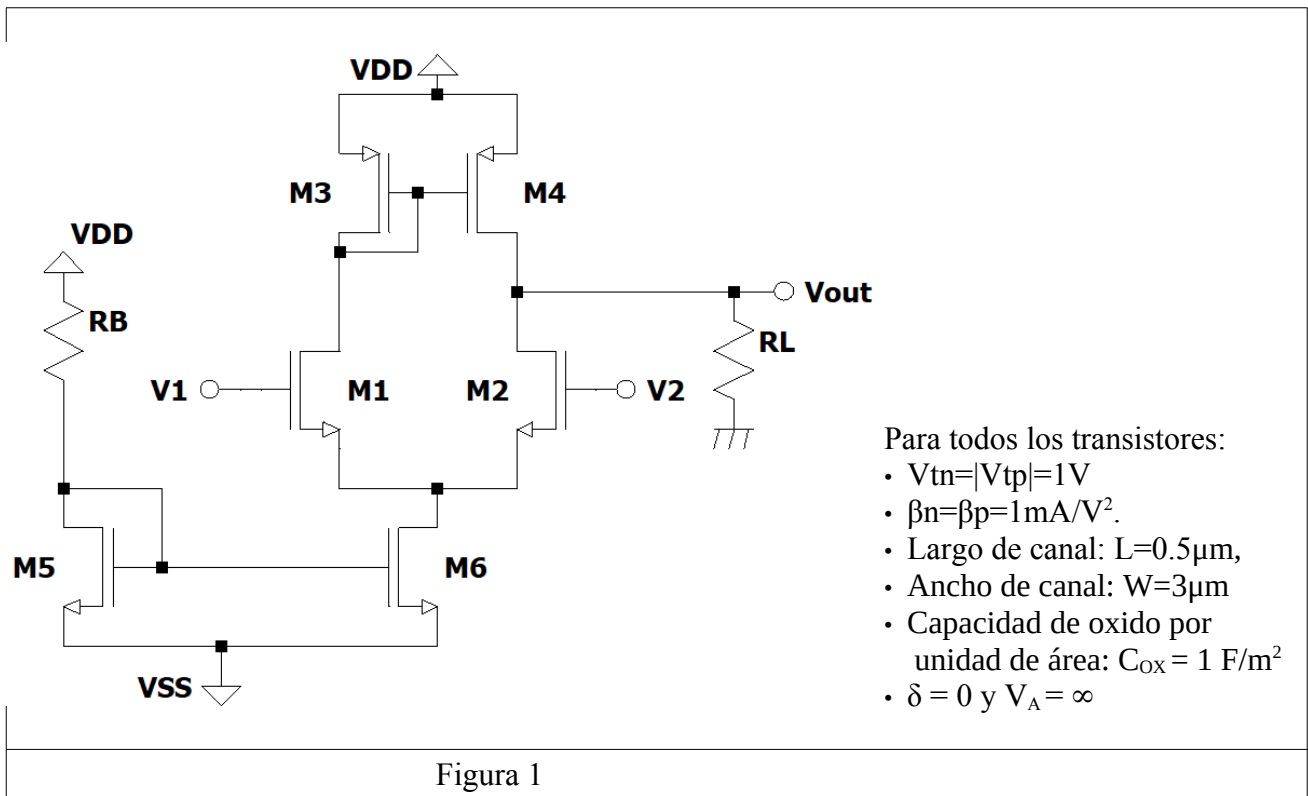


Figura 2

Problema 2 (37 ptos):

Considere el circuito de la Figura 1, donde $R_B = 5.6k\Omega$, $R_L = 100k\Omega$ y $V_{DD} = -V_{SS} = 10V$.

- Determine la corriente de polarización por todos los transistores si $V_1=V_2=0V$.
- Calcule la ganancia $V_{out}/(V_1-V_2)$ en banda pasante.
- ¿Cuál es el valor en modo común mínimo y máximo a la entrada que permite el funcionamiento de cada transistor sin entrar en zona lineal?
- Suponiendo que las capacidades de overlap y las capacidades a sustrato son despreciables, y que las fuentes de tensión V_1 y V_2 tienen una resistencia de salida $R_S=20k\Omega$, calcule la frecuencia de caída 3dB.



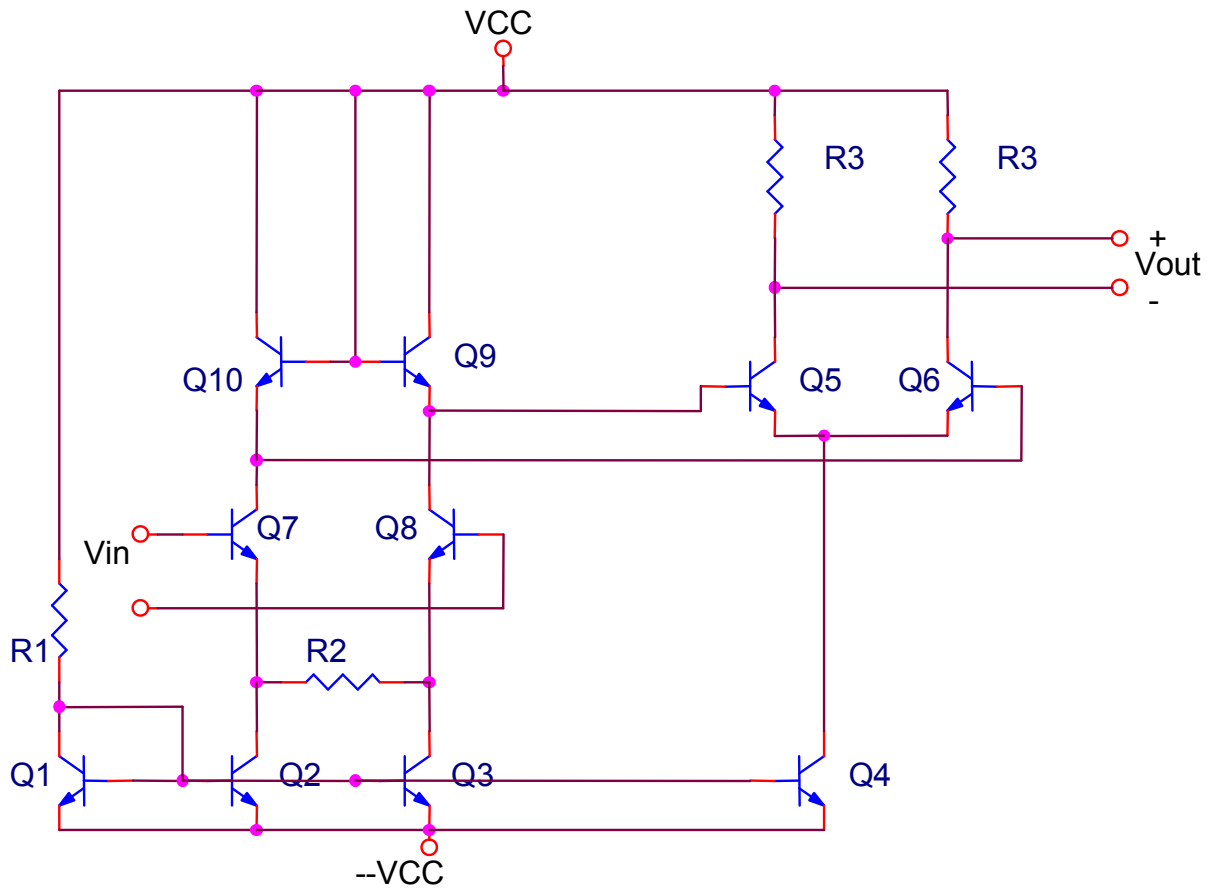
- Para todos los transistores:
- $V_{tn}=|V_{tp}|=1V$
 - $\beta_n=\beta_p=1mA/V^2$.
 - Largo de canal: $L=0.5\mu m$,
 - Ancho de canal: $W=3\mu m$
 - Capacidad de oxido por unidad de área: $C_{OX} = 1 F/m^2$
 - $\delta = 0$ y $V_A = \infty$

Figura 1

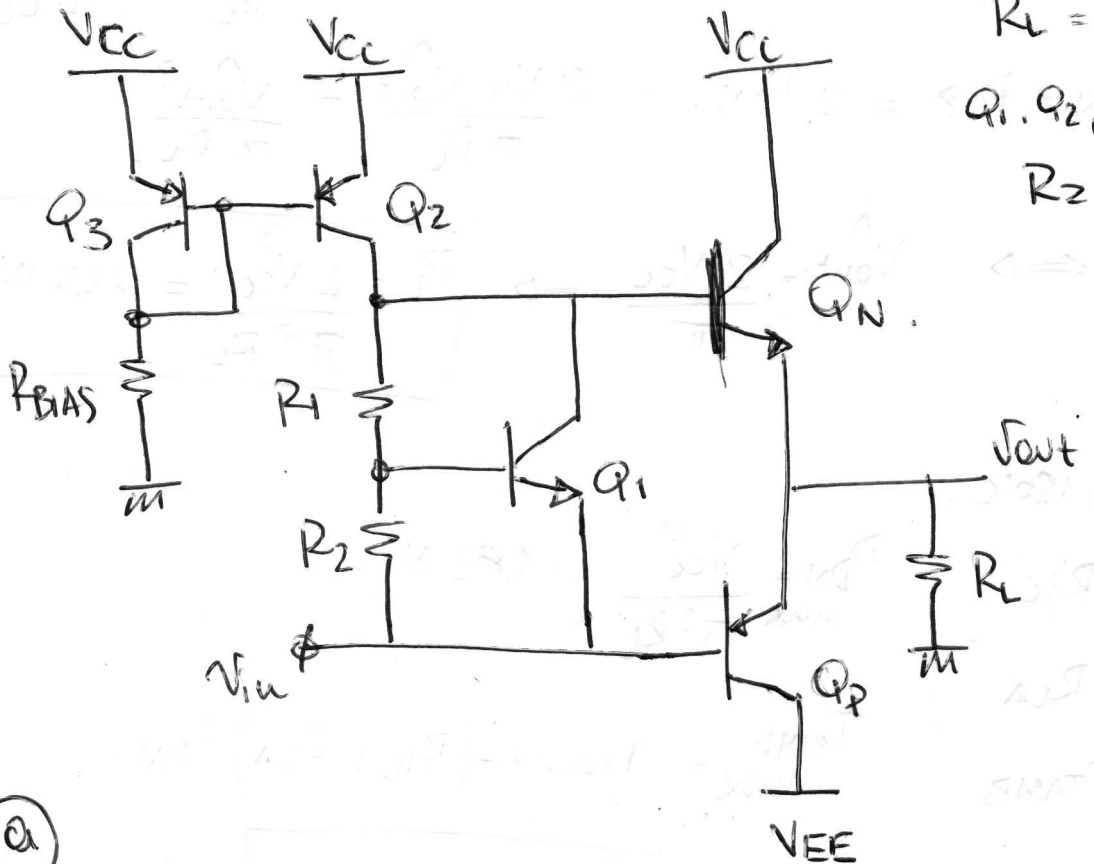
Pregunta: (26 puntos)

En el circuito de la figura:

- a) ¿Que función cumplen los transistores Q9 y Q10? Fundamentar analíticamente.
- b) Determinar la relación entre V_{out} y V_{in} .



Problema



$$V_{CC} = -V_{EE} = 12\text{ V}$$

$$R_L = 8\ \Omega \quad P_L \leq 4\text{ W}$$

$$Q_1, Q_2, Q_3: V_{BE} = 1\text{ V} @ I_C > 2\text{ mA}$$

$$R_2 = 330\ \Omega$$

$$Q_N, Q_P$$

$$V_{BE} = 1\text{ V}$$

$$\beta = 30$$

$$T_{J\text{max}} = 120^\circ\text{C}$$

$$R_{\theta\text{jc}} = 2^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\theta\text{ca}} = 60^\circ\text{C/W}$$

(a)

$$I_{Q2} \geq \underbrace{\frac{V_{BE}}{R_2}}_{3\text{ mA}} + \underbrace{I_{Q1\text{min}}}_{2\text{ mA}} + \underbrace{I_{BQ_N\text{max}}}_{\text{"}}$$

$$I_{BQ_N\text{max}} = \frac{\sqrt{\frac{2 P_{L\text{max}}}{R_L}}}{\beta} = 33\text{ mA}$$

$$\rightarrow \boxed{I_{Q2\text{min}} = 38\text{ mA}}$$

$$R_{BIAS\text{max}} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{Q2\text{min}}} = 290\ \Omega$$

$$\boxed{R_{BIAS\text{max}} = 290\ \Omega}$$

$$V_{BB} = (1 + R_1/R_2) V_{BE} = 2\text{ V}$$

$$\rightarrow R_1 = R_2 = 330\ \Omega \rightarrow \boxed{R_1 = 330\ \Omega}$$

(b)

$$\eta = \frac{P_L}{P_S} = \frac{\pi \hat{V}_{out}}{4 V_{CC}}$$

$$\boxed{\eta_{\text{max}} = 52,4\%}$$

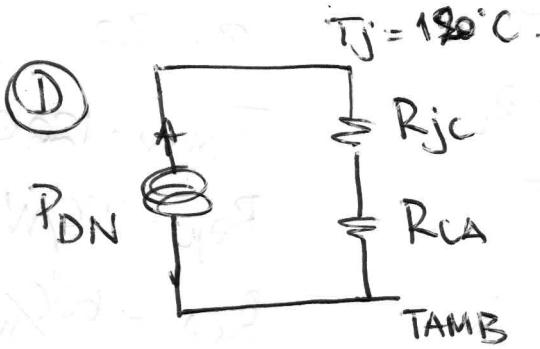
máxima eficiencia se logra @ $P_{L\text{max}} = 4\text{ W}$
 maximizando la amplitud.

$$\downarrow \hat{V}_{out} = 8\text{ V}$$

© $P_{DN} = \frac{1}{T} \int_0^T (V_{CC} - v_{out}(t)) i(t) dt = \frac{V_{CC} \hat{v}_{out}}{\pi R_L} - \frac{\hat{v}_{out}^2}{4 R_L}$

$P_{Dis} = P_{DN} + P_{DP} = 2 P_{DN} = 2 \frac{V_{CC} \hat{v}_{out}}{\pi R_L} - \frac{\hat{v}_{out}^2}{2 R_L}$

$\frac{\partial P_{Dis}}{\partial \hat{v}_{out}} = 0 \iff \hat{v}_{out} = \frac{2 V_{CC}}{\pi} \rightarrow \boxed{P_L = \frac{2 V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = 3,65 \text{ W}}$

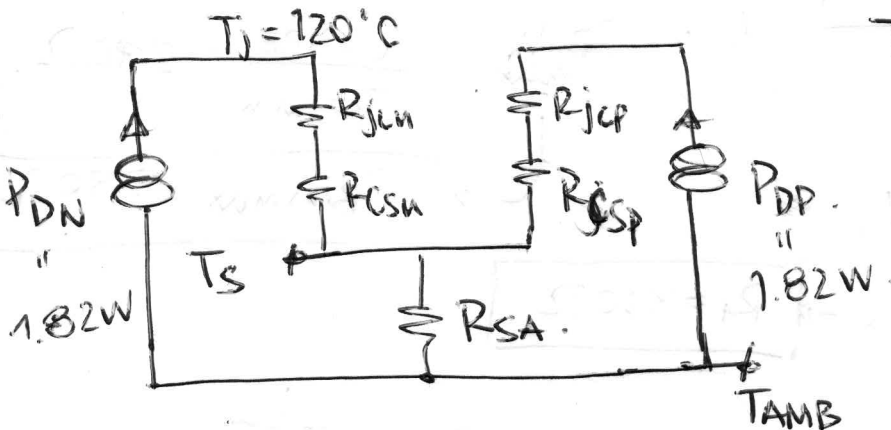


$P_{DN_{max}} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = 1,82 \text{ W}$

$T_{amb_{max}} = T_{j_{max}} - (R_{JC} + R_{CA}) P_{DN}$

$\rightarrow \boxed{T_{amb_{max}} = 7,16^\circ\text{C}}$

⑤ Utilizando modelo sugerido.



$T_S = T_{j_{max}} - P_{DN} (R_{JCN} + R_{CSN})$

$\rightarrow T_S = 115^\circ\text{C}$

$R_{SA} = \frac{T_S - T_{AMB}}{P_{DN} + P_{DP}} = 18^\circ\text{C/W}$

$\rightarrow \boxed{R_{SA_{max}} = 18^\circ\text{C/W}}$

[Handwritten signature]
G. E. P. R.

Problema 2

2) $I_{RB} = I_{MS} \Rightarrow \frac{V_{DD} - (V_{SS} + V_{GS5})}{R_B} = \frac{\beta}{2} (V_{GS5} - V_T)^2$

$\frac{V_{DD} - V_{SS}}{R_B} - \frac{V_{GS5}}{R_B} = \frac{\beta}{2} [V_{GS5}^2 - 2V_T V_{GS5} + V_T^2]$

$V_{GS5}^2 - 2V_T V_{GS5} + \frac{2V_{GS5}}{\beta R_B} - \frac{4V_{DD}}{\beta R_B} = \phi$

$V_{GS5}^2 + 2\left(\frac{1}{\beta R_B} - V_T\right)V_{GS5} - \frac{4V_{DD}}{\beta R_B} + V_T^2 = \phi$

$V_{GS5}^2 - 1,64V_{GS5} - 7,14 = \phi \Rightarrow V_{GS5} = \begin{cases} 3,43V \\ -1,79V \end{cases} \Rightarrow \boxed{V_{GS5} = 3,43V}$

$\Rightarrow I_{D5} = \frac{\beta}{2} (V_{GS5} - V_T)^2 = 3,4 \text{ mA}$

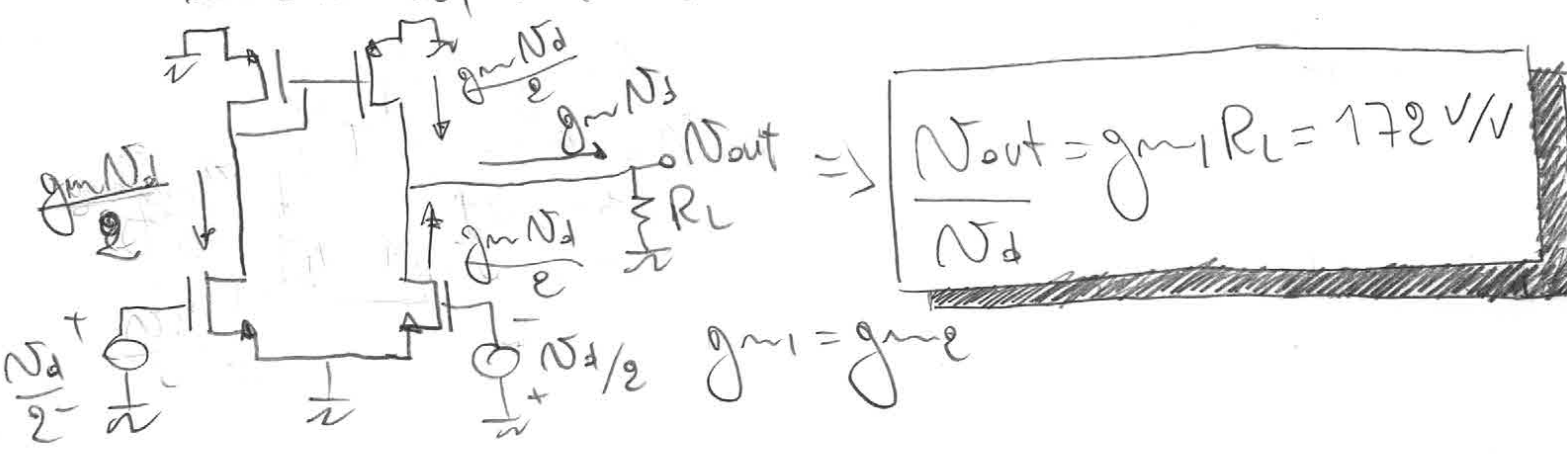
$I_{D6} = I_{D5} \Rightarrow \boxed{I_{D5} = I_{D6} = 3 \text{ mA}}$
Esper.

$\boxed{I_{D1} = I_{D2} = I_3 = I_{D4} = \frac{I_{D5}}{2} = 1,5 \text{ mA}}$

b) Descompongo N_1 y N_2 como $N_{CM} = \frac{N_1 + N_2}{2}$ y $N_d = \frac{N_1 - N_2}{2}$

$\Rightarrow N_{out}$ no depende de N_{CM} porque $V_{A6} = \infty \Rightarrow CMRR = \infty$

\Rightarrow Solo depende de N_d



$$c) \underline{V_{DS6} > V_{DSSAT6}} \Rightarrow (V_{CM} - V_{GS1}) - V_{SS} > V_{DSSAT6}$$

$$\Rightarrow \textcircled{1} \boxed{V_{CM} > V_{DSSAT6} + V_{GS1} + V_{SS}} \Rightarrow$$

$$\underline{V_{DS1} > V_{DSSAT1}} \Rightarrow (V_{DD} - V_{GS3}) - (V_{CM} - V_{GS1}) > V_{DSSAT1}$$

$$\Rightarrow \textcircled{2} \boxed{V_{CM} < V_{DD} - V_{GS3} + V_{GS1} - V_{DSSAT1}} \Rightarrow$$

$$\underline{V_{DS2} > V_{DSSAT2}} \Rightarrow 0 - (V_{CM} - V_{GS2}) > V_{DSSAT2}$$

$$\Rightarrow \textcircled{3} \boxed{V_{CM} < V_{GS2} - V_{DSSAT2}}$$

$$I_{D1} = \frac{\beta}{2} (V_{GS1} - V_T)^2 \Rightarrow V_{GS1} = \sqrt{\frac{2 I_{D1}}{\beta}} + V_T \Rightarrow$$

$$\boxed{V_{GS1} = V_{GS2} = V_{GS3} = V_{GS4} = 2,85V}$$

$$V_{DSSAT6} = V_{GS6} - V_T = V_{GS5} - V_T = 2,6V$$

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} \textcircled{1} V_{CM} > -4,85V \\ \textcircled{2} V_{CM} < 2,28V \\ \textcircled{3} V_{CM} < 1V \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{-4,85V < V_{CM} < 1V}$$

$$d) f_{\text{doublet}} = \frac{1}{2\pi \frac{1}{g_{m3}} (C_3 + C_4)}$$

$$f_{P_1} = \frac{1}{2\pi R_3 C_1}$$

$$f_{\text{doublet}} \gg \overset{\text{Hip}}{f_{P_1}}$$

$$\Rightarrow \frac{g_{m3}}{2\pi(C_3 + C_4)} \gg \frac{1}{2\pi R_3 C_1} \xrightarrow{C_3 + C_4 = 2C_1} \frac{g_{m3}}{4\pi C_1} \gg \frac{1}{2\pi R_3 C_1}$$

$$\frac{g_{m3}}{2} \gg \frac{1}{R_3} \Rightarrow R_3 \gg \frac{2}{g_{m3}}$$

$$g_{m3} = \beta(V_{SG_3} - V_T) = 1.9 \text{ mA/V} \Rightarrow \frac{2}{g_{m3}} = 1.08 \text{ k}\Omega$$

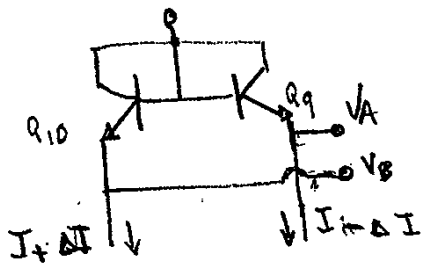
$$\Rightarrow 20 \text{ k}\Omega = R_3 \gg \frac{2}{g_{m3}} = 1.08 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow f_{-3dB} \approx f_{P_1} \approx 2 \text{ MHz}$$

$$C_{ox} = C_{ox} \cdot WL \cdot \frac{2}{3} = 1 \text{ pF}$$

$$f_{P_1} = 2 \text{ MHz}$$

- a) Completen la función de predistorsionar la señal proveniente de Q_2 y Q_8 antes de aplicar al par diferencial formado por Q_5 y Q_6



$$\Delta I = \frac{v_{in}}{R_2}$$

$$I_{E9} = I_{C9} = I_S e^{\frac{V_{BE9}}{V_T}} = I - \Delta I \Rightarrow V_{BE9} = V_T \ln \left(\frac{I - \Delta I}{I_S} \right)$$

$$\text{Idem} - V_{BE10} = V_T \ln \left(\frac{I + \Delta I}{I_S} \right)$$

$$V_A - V_B = (V_{CC} - V_{BE9}) - (V_{CC} - V_{BE10}) = V_{BE10} - V_{BE9}$$

$$V_A - V_B = V_T \ln \left(\frac{I + \Delta I}{I - \Delta I} \right) = \boxed{2V_T \tanh^{-1} \left(\frac{v_{in}}{I R_2} \right)}$$

b)

$$V_{out} = R_3 I \tanh^{-1} \frac{V_A - V_B}{2V_T} = \boxed{\frac{R_3}{R_2} v_{in}}$$