

**2<sup>do</sup> Parcial de Electrónica 2**  
**02/12/2011**

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 : (28 puntos)**

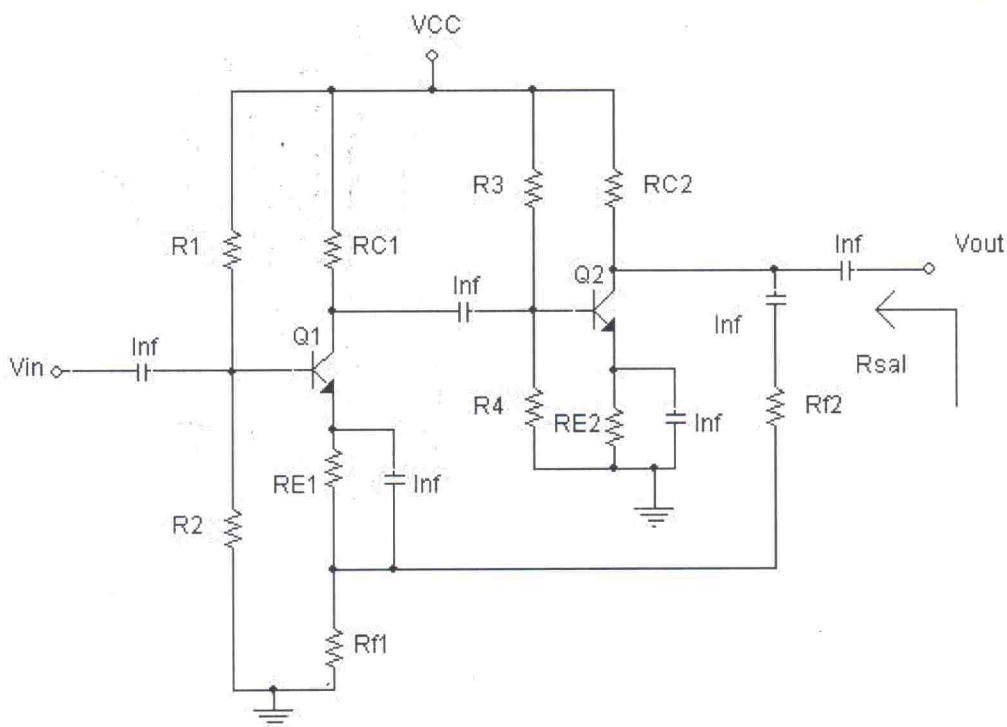
En el amplificador de la Figura:

- a) Determinar los valores de  $A$  y  $\beta$  que permiten representar al amplificador en un diagrama de bloques de sistema realimentado.
- b) Determinar la ganancia  $V_{out}/V_{in}$ .
- c) Determinar la resistencia vista  $R_{sal}$  indicada en la Figura.

**Datos:**  $R_1 = 150\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 47\text{k}\Omega$ ,  $R_{E1} = R_{E2} = R_{C2} = R_{f2} = 4,7\text{k}\Omega$ ,  $R_{C1} = 10\text{k}\Omega$ ,  $R_4 = 33\text{k}\Omega$ ,  $R_{f1} = 100\ \Omega$ ,  $V_{CC} = 25\text{ V}$ .

$Q_1, Q_2 : \beta=200$ , Voltaje de Early se podrá considerar infinito.

$V_{BE} = 0,7$



**Problema 2 : (28 puntos)**

El circuito de la figura representa la arquitectura del amplificador operacional LM4250.

- a) Determinar la corriente de polarización por todos los transistores.
- b) Calcular el rango de modo común de entrada del amplificador.
- c) Calcular la ganancia diferencial a baja frecuencia ( $A_0$ ) del amplificador si la carga es igual a  $2k\Omega$ . Dar la expresión literal y numérica de esta ganancia.
- d) Calcular el  $f_T$  del circuito.

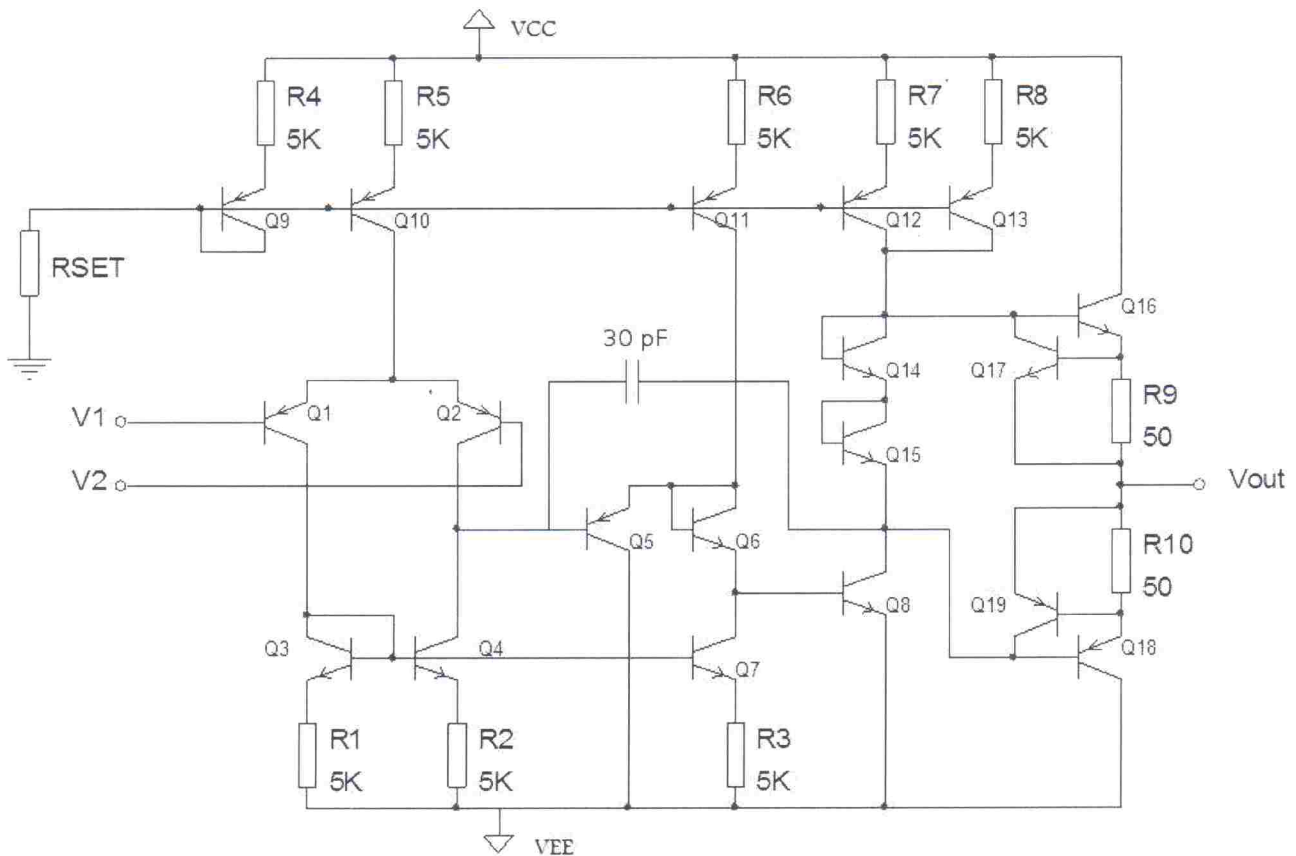
**Datos:**

Q16 y Q18: Corriente de saturación  $I_{S_{out}} = 4 \cdot I_S$ ;  $\beta = 30$ .

Resto de los transistores: Corriente de saturación  $I_S$ ;  $\beta = 200$ .

Común a todos los transistores:  $V_{BE} = 0.7V$ ;  $V_{CESAT} = 0.3V$ ;  $V_{Early} = 100V$ .

$V_{DD} = 2.5V$ ;  $V_{SS} = -2.5V$ ;  $R_{SET} = 175 k\Omega$ .



**Problema 3: (24 puntos)**

El circuito de la Figura es un amplificador de potencia. Se lo quiere diseñar para poder manejar una carga variable a potencia constante igual 8W. La potencia entregada a la carga se asumirá constante en éste valor en todo el ejercicio.

- a) Determinar  $V_{cc}$  mínimo que asegura el correcto funcionamiento en todos los casos.

De ahora en más, se asumirá que  $V_{cc}$  es el calculado en la parte A y se despreciará el consumo de los amplificadores operacionales.

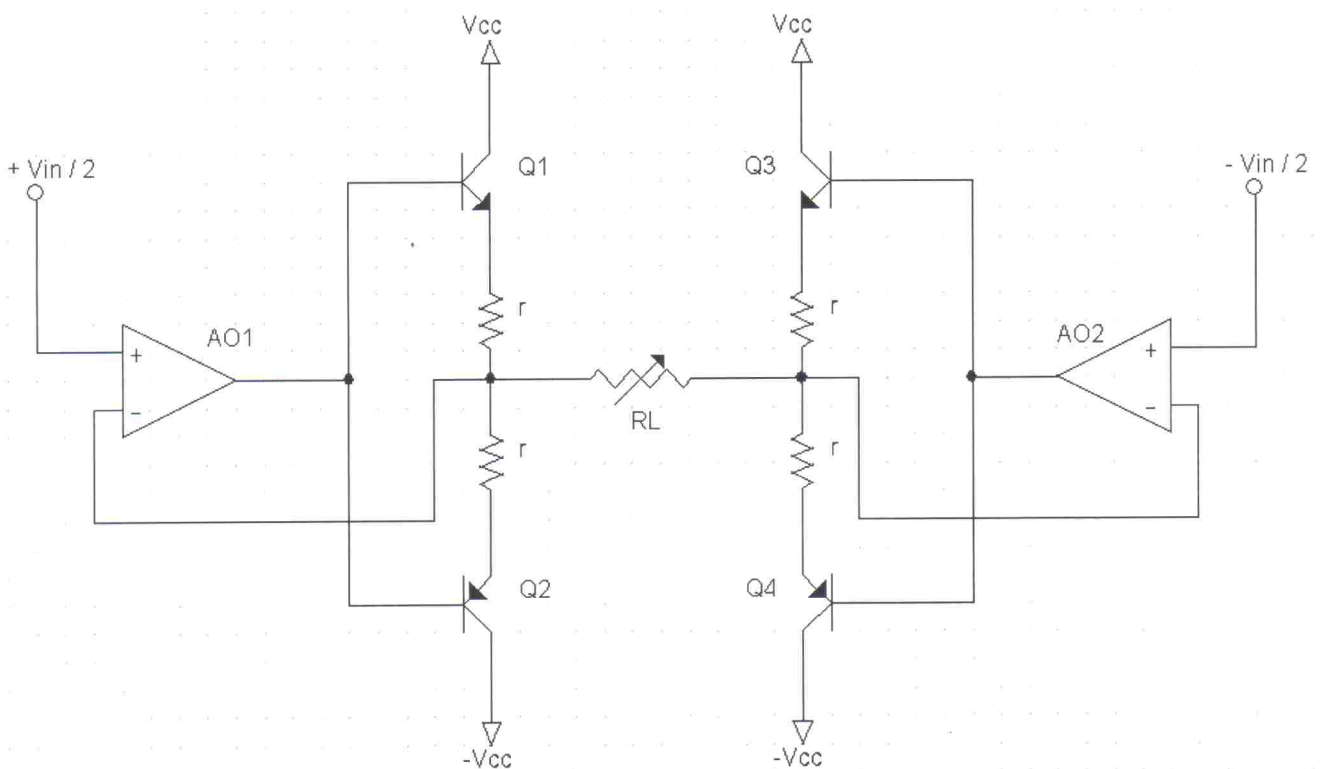
- b) Calcular la máxima y mínima eficiencia del circuito en todo el rango de  $R_L$ .
- c) Determinar cuál es la máxima potencia que deben disipar los transistores Q1, Q2, Q3 y Q4 en todo el rango de  $R_L$ . *por transistor.*
- d) Si se utiliza un disipador cuya resistencia térmica por unidad de área es  $\theta_{sa} = 350^\circ\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}$ . Calcular el tamaño de dicho disipador para que a  $T_{\text{Amb}} = 50^\circ\text{C}$  el circuito funcione correctamente si  $\theta_{cs} = 2^\circ\text{C}/\text{W}$ .

**DATOS:**

Q1..Q4:  $V_{CESAT}$  despreciable ;  $T_{j\text{max}} = 150^\circ\text{C}$ ;  $\theta_{jc} = 5^\circ\text{C}/\text{W}$

$R_L$ : Varía entre 4 y 16  $\Omega$

$r$  : despreciable



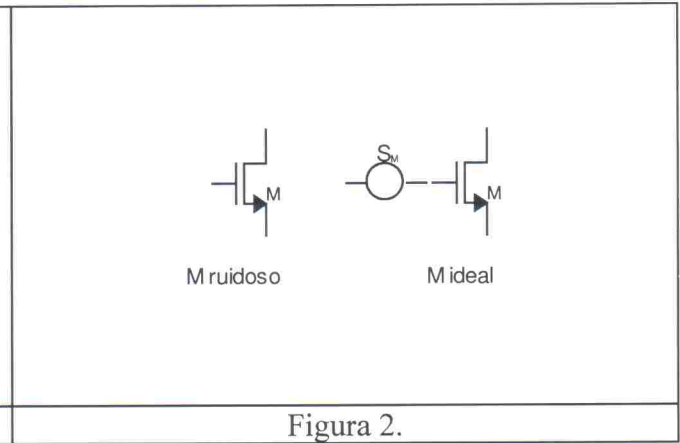
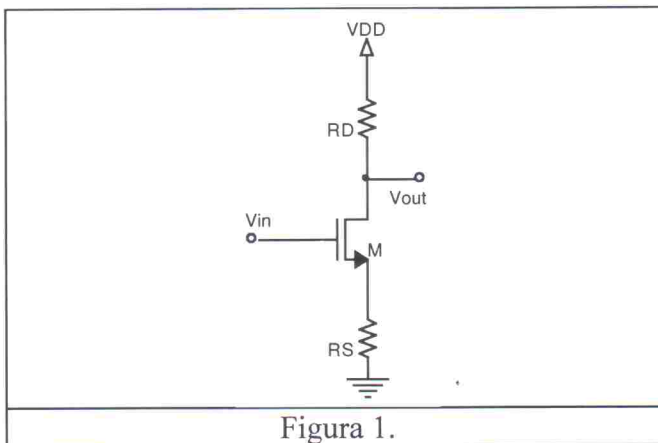
**Problema 4: (20 puntos)**

Para el circuito de la figura 1 determinar el voltaje RMS de ruido equivalente a la salida. Para ello deberá considerarse el ruido aportado por las resistencias y por el transistor M, y que se trabaja sobre un ancho de banda ideal de B Hz.

El ruido que introduce el transistor MOS, a los efectos del presente ejercicio, puede modelarse como una fuente de ruido con densidad espectral de potencia SM constante en serie con el gate (ver figura 2).

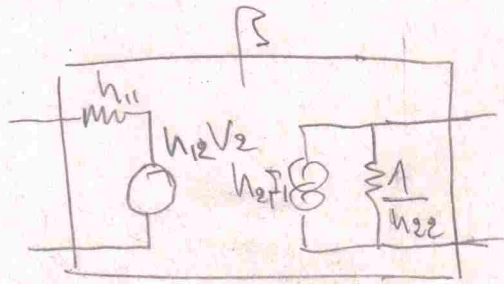
Adicionalmente, podrá tomarse en cuenta las siguientes simplificaciones sobre el transistor M:

- ∞ Voltaje de early infinito.
- ∞ Las terminales de Bulk y Source cortocircuitados.
- ∞ Capacidades internas despreciables.
- ∞  $g_m.R_s \gg 1$

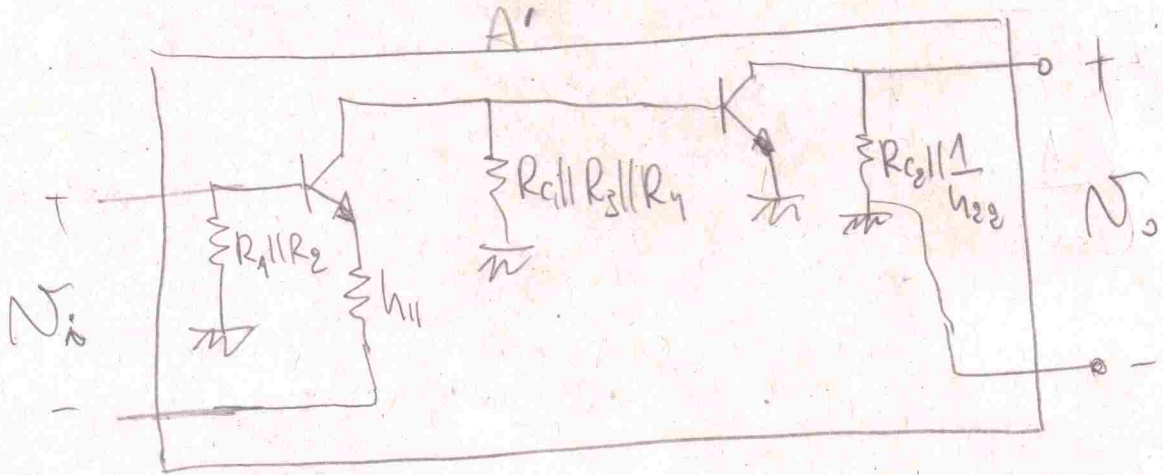


# Problema 1

$\Rightarrow$



Paso  $h_{11} \text{ y } \frac{1}{h_{22}} \rightarrow A$   
 $\uparrow \rightarrow$



$$A' = \left[ \frac{-g_{m1}(R_{c1} \parallel R_{s1} \parallel R_4 \parallel V_{t2})}{1 + g_m h_{11}} \right] \cdot \left[ -g_{m2} \left( R_{c2} \parallel \frac{1}{h_{22}} \right) \right] = 2820 \text{ V/V}$$

$$\beta = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_{e2}} = 0,021$$

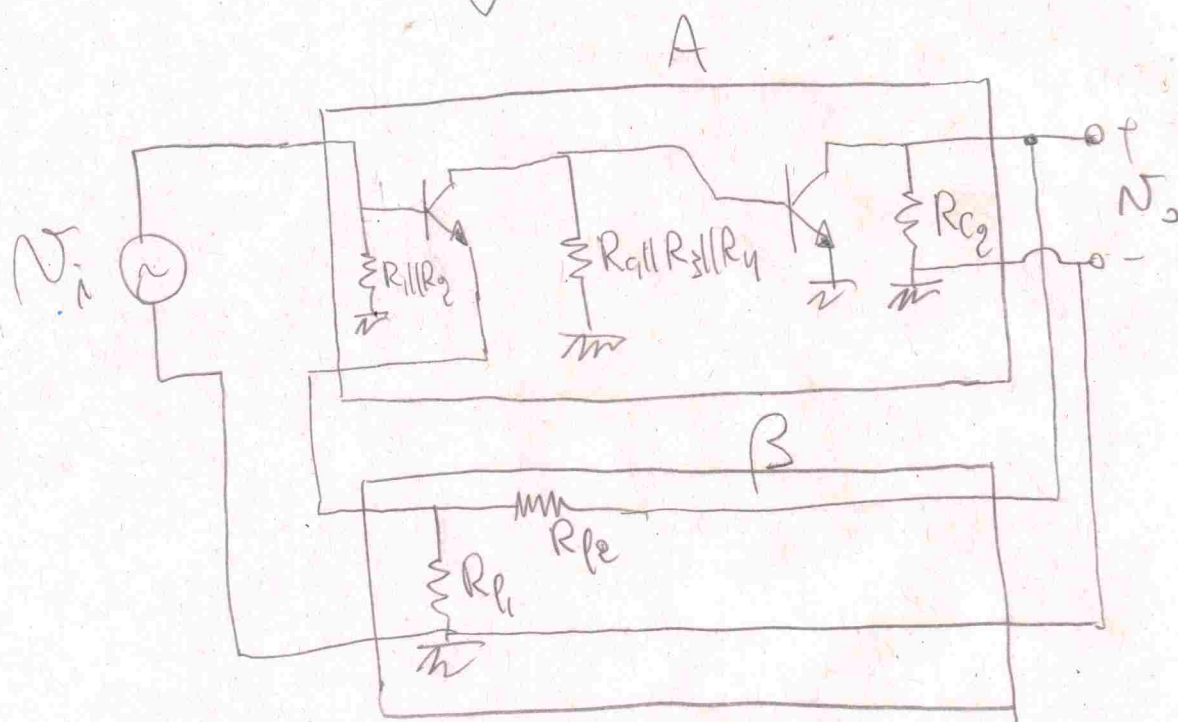
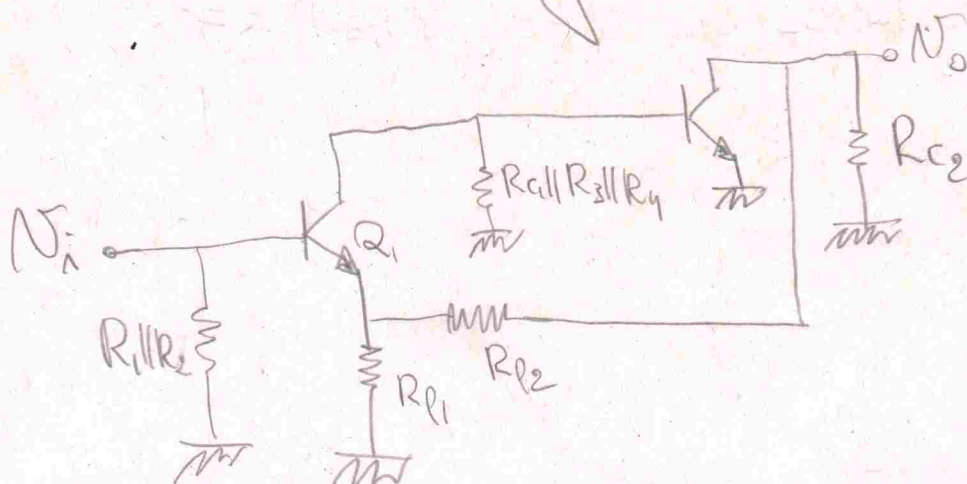
$$b) \frac{N_o}{N_i} = \frac{A'}{1 + A'\beta} \uparrow \frac{1}{\beta} = 48 \Rightarrow \boxed{A_{CL} = 48 \text{ V/V}}$$

$A'\beta \gg 1$

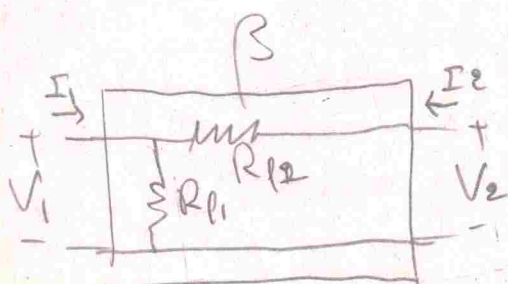
# Problema 1

2)

En señal el circuito queda:



Represento  $\beta$  con los parámetros  $h$ :



$$h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2 = \phi} = R_{e1} \parallel R_{p2} \quad \Big\| \quad h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1 = \phi} = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_{p2}}$$

$$h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{V_2 = \phi} = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_{p2}} \quad \Big\| \quad h_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{I_1 = \phi} = \frac{1}{R_{e1} + R_{p2}}$$

# Problema 1

$$c) R_o = R_{ce} \parallel \frac{1}{h_{oe}} \Rightarrow R_{oci} = \frac{R_o}{1 + A'\beta}$$

$$R_o = 2,4 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{oci} = 40 \Omega$$

Pablo Castro



(e)

Espejos p:  $Q_9, Q_{10}, Q_{11}, Q_{12}, Q_{13}$ 

$$I_B = I_{C9} = \frac{V_{DD} - V_{EB9}}{R_{SE9} + R_4} = \boxed{10 \mu A = I_B}$$

$$I_{C10} = I_{C11} = I_{C12} = I_{C13} = \underline{I_B}$$

Por diferencial:  $I_{C3} = I_{C2} = I_{C5} = I_{C4} = \underline{I_B/2}$

Espejo  $Q_3 - Q_7 \Rightarrow \underline{I_{C7} = I_B/2}$

$\Rightarrow \underline{I_{C6} = I_B/2} \Rightarrow \underline{I_{C8} = I_B/2}$   
 $I_{AB} \ll I_B/2$

$Q_{17}, Q_{18}$ : protecciones contra corto circuitos

$\Rightarrow$  ESTÁN OFF  $\Rightarrow \underline{I_{C17} = I_{C18} = 0}$

Etapas de salida clase AB:

$$\underline{I_{AB} = 2 I_B} (= I_{C12} + I_{C13})$$

$$I_{C14} = I_{C15} = I_{AB} - I_{B16} \rightarrow I_{CB} = I_{AB} + (I_{B13} - I_{B16})$$

$$I_{CB} = I_{C15} + I_{B18}$$

ASÍ M  $I_{B13} - I_{B16} \ll I_{AB}$

$$\rightarrow \underline{I_{CB} = I_{AB}}$$



(Q) (sigue)

$$V_{BE16} + V_{BE18} = V_{BE14} + V_{BE15} \quad / \quad I_{C16} = I_{18} = I_Q$$

$$\Rightarrow V_T L \left( \frac{I_Q}{I_{S16}} \right) + V_T L \left( \frac{I_Q}{I_{S18}} \right) = V_T L \left( \frac{I_{C14}}{I_{S14}} \right) + V_T L \left( \frac{I_{C15}}{I_{S15}} \right)$$

$$\Rightarrow 2V_T L \left( \frac{I_Q}{I_{S16}} \right) = 2V_T L \left( \frac{I_{C14}}{I_{S14}} \right)$$

$$\Rightarrow I_Q = \frac{I_{S16}}{I_{S14}} \cdot I_{C14} = 4 I_{C14}$$

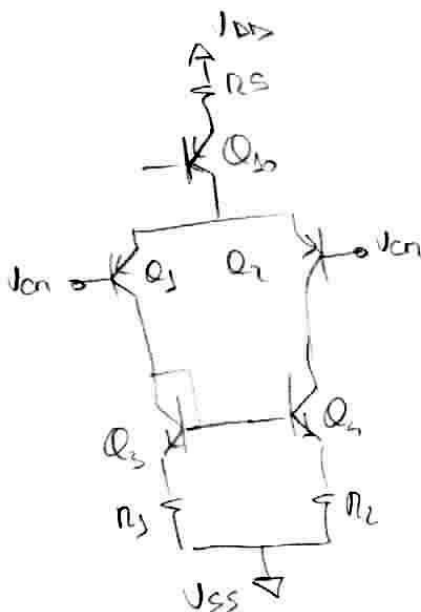
$$\Rightarrow I_{C14} = I_{AB} - \frac{I_Q}{\beta_{16}} = I_{C14} \left( 1 + \frac{4}{\beta_{16}} \right) = I_{AB}$$

$$\Rightarrow I_{C14} = I_{AB} = \frac{15}{17} I_{AB} = 17,65 \mu A$$

$$I_{18} = I_{16} \Rightarrow \text{ok } I_{C18} = I_{AB} \checkmark$$

$$\Rightarrow I_Q = \frac{60}{17} I_{AB} = 70,6 \mu A$$

(b)



$$\bullet \underline{V_{ICM, max}}: V_{DD} - V_{RS} - (V_{en} + V_{BS1}) > V_{BCSAT}$$

$$\Rightarrow V_{en} < V_{DD} - V_{RS} - V_{BS1} - V_{BCSAT}$$

$$\Rightarrow \underline{V_{ICM, max} = 1,45 V}$$

$$\bullet \underline{V_{ICM, min}}: V_{en} + V_{BS3} - (V_{SS} + V_{BS} + V_{BS3}) > V_{BCSAT}$$

$$\Rightarrow V_{en} > V_{SS} + V_{BS} + V_{BS3} - V_{BS3} + V_{BCSAT}$$

$$\Rightarrow \underline{V_{ICM, min} = -2,35 V}$$

(c) Rin diferencial:



$$g_{m_{1,2}} = \frac{I_{B3}}{2V} = 193 \mu A/V$$

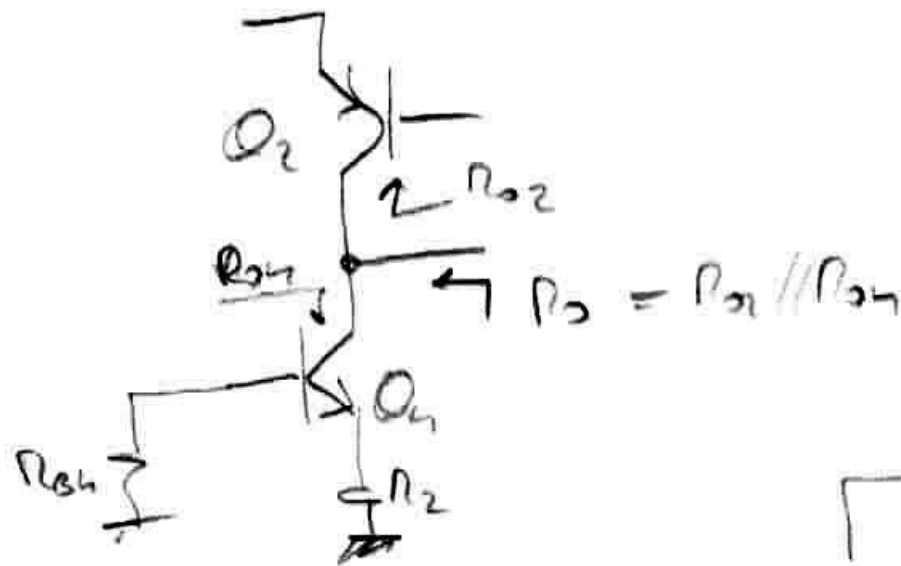
$$r_{\pi_{1,2}} = \frac{\beta}{g_{m_{1,2}}} = 1,04 \text{ M}\Omega$$

Rin  $\rightarrow$   $g_{m_1}$  trivales:

$$R_{in} = 2r_{\pi_{1,2}} = 2,1 \text{ M}\Omega$$

$$G_{m_1} = g_{m_{1,2}} = 193 \mu A/V$$

Ros:



$$R_{o2} = r_{o2} = \frac{V_A}{I_{C2}} = 20 \text{ M}\Omega$$

$$R_{o4} = r_{o4} \left( 1 + \frac{\beta}{r_{\pi_4} + R_{L3}} (R_2 \parallel (r_{\pi_4} + R_{L4})) \right)$$

$$R_{o4} \approx r_{o4} (1 + g_{m_{41}} R_2)$$

$$R_{os} = \left( \frac{1}{g_{m_3} + R_{L1}} \right) \parallel \frac{R_{o3}}{2} \parallel \frac{(r_{\pi_2} + (\beta+1)R_3)}{2} \approx 33,26 \ll r_{\pi_4}$$

$$R_2 \ll r_{\pi_4}$$

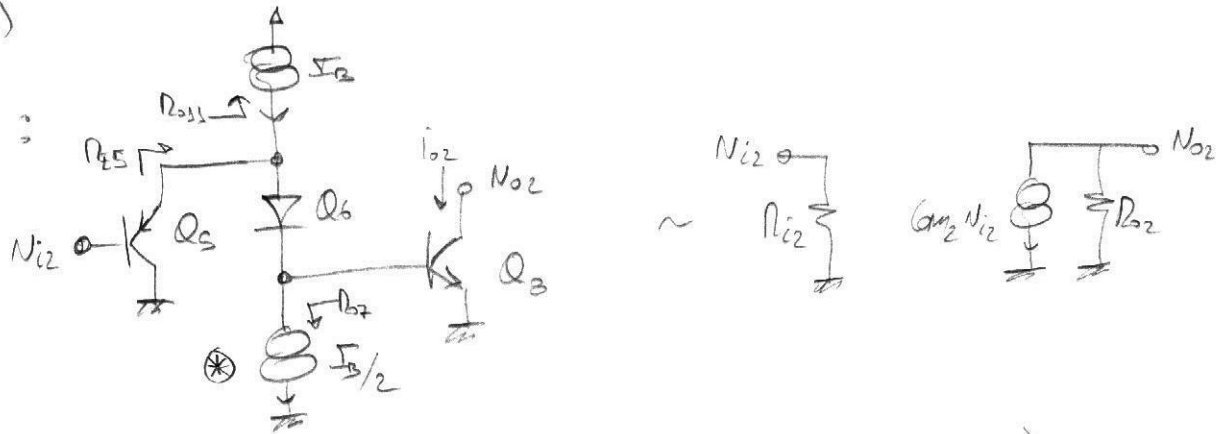
$$\Rightarrow R_{o4} = 39,3 \text{ M}\Omega$$

$$\Rightarrow \boxed{R_{os} = 13,25 \text{ M}\Omega}$$

# 2da PARCIAL 2011 - ELECTRONICA 2

(c) (sigue 2)

2da etapa:



$$\left\{ \begin{aligned} r_{05} &= \frac{V_A}{I_{D5}} = 10 \text{ k}\Omega \\ r_{07} = r_{04} = r_{02} &= 20 \text{ k}\Omega \\ r_{\pi 5} = r_{\pi_{1,2}} &= 1,04 \text{ k}\Omega \\ g_{m5} = g_{m_{1,2}} &= 193 \mu\text{A/V} \end{aligned} \right.$$

$$\bullet r_{055} = r_{05} \left( 1 + \frac{\beta}{r_{\pi 1} + r_{05}} (R_6 \parallel (r_{\pi 1} + R_{01})) \right)$$

$$R_{055} = \left( \frac{1}{g_{m7} + R_4} \parallel R_{055} \parallel \left( \frac{r_{\pi 5} + (\beta + 1) R_6}{\beta} \right) \right) \approx 7,66 \text{ k}\Omega \ll r_{\pi 55} \quad (5226)$$

$$\Rightarrow r_{055} = r_{05} (1 + g_{m5} R_6) \approx 29,3 \text{ k}\Omega$$

$$\bullet r_{07} = r_{07} \left( 1 + \frac{\beta}{r_{\pi 7} + R_{07}} [R_3 \parallel (r_{\pi 7} + R_{07})] \right) \Rightarrow r_{07} = r_{07} (1 + g_{m7} R_3) \approx 39,4 \text{ k}\Omega$$

$$R_{07} = R_{E4} = 10,2 \text{ k}\Omega \ll r_{\pi 7} = 1,04 \text{ k}\Omega$$

$$\underline{r_{i2}}: \quad r_{i2} = r_{\pi 5} + (\beta + 1) R_{05} \quad / \quad R_{05} = r_{055} \parallel \left( \frac{1}{g_{m6}} + \frac{R_{07} \parallel r_{\pi 3}}{r_{07}} \right)$$

$$g_{m6} = g_{m_{1,2}} = 193 \mu\text{A/V} \Rightarrow \frac{1}{g_{m6}} = 5,24 \text{ k}\Omega \quad \Rightarrow R_{05} \approx r_{\pi 3} = 259 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi 3} = \frac{\beta}{g_{m3}} = 259 \text{ k}\Omega$$

$$g_{m3} = \frac{I_{D3}}{V_T} = \frac{25 \mu\text{A}}{V_T} = 772 \mu\text{A/V}$$

$$\Rightarrow r_{i2} = r_{\pi 5} + (\beta + 1) r_{\pi 3} \Rightarrow \boxed{r_{i2} = 52,8 \text{ k}\Omega}$$

$$\underline{G_{m2}}: \quad N_{05} = \frac{g_{m5} R_{05}}{1 + g_{m5} R_{05}} \cdot N_{i2} \approx N_{i2} \quad (g_{m5} R_{05} \gg 1)$$

$$N_{03} = \frac{R_{07} \parallel r_{\pi 3}}{\frac{1}{g_{m6}} + R_{07} \parallel r_{\pi 3}} \cdot N_{05} \approx N_{05} \quad (R_{07} \parallel r_{\pi 3} \gg \frac{1}{g_{m6}})$$

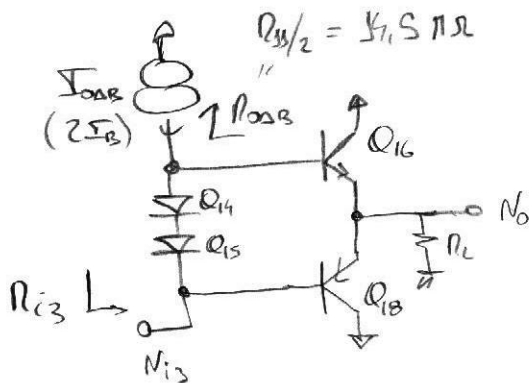
$$G_{m2} = \frac{i_{02}}{N_{i2}} \Big|_{N_{02} = 0} = g_{m3} \frac{N_{03}}{N_{05}} \cdot \frac{N_{05}}{N_{i2}} \Rightarrow \boxed{G_{m2} = g_{m3} = 772 \mu\text{A/V}}$$

$$\underline{R_{02}} = r_{03} \Rightarrow \boxed{R_{02} = 5 \text{ k}\Omega}$$

⊗ señal en Q7 se desprecia, UN ANEXO al final

(c) (sigue 3)

Etapas de salida :



Tomo el caso  $Q_{18}$  ON,  $Q_{16}$  OFF

$$R_{i3} = (r_{n18} + R_{D18}) \parallel \left( \frac{2}{g_{m14}} + R_{DAB} \right)$$

$\swarrow$   $\searrow$   
 60kΩ    2.1kΩ    1k.5mΩ  
 Resacas  
 $r_{n18}$  despreciable

$$\Rightarrow |R_{i3}| \approx \beta_{18} R_L = 60k\Omega$$

• Calculo  $A_3 = \frac{N_0}{N_{i3}}$  considerando  $R_L$

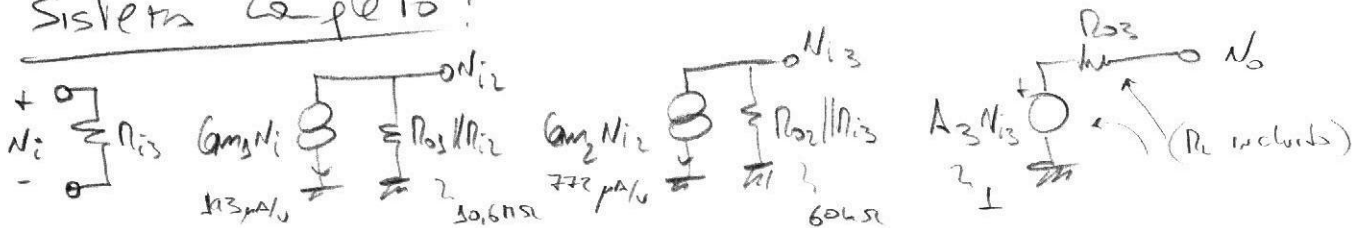
$$\Rightarrow A_3 = \frac{g_{m18} R_L}{1 + g_{m18} R_L} \approx 1 \text{ V/V} \Leftrightarrow g_{m18} R_L \gg 1$$

$$\Rightarrow \frac{I_{D18} R_L}{V_T} \gg 1 \Rightarrow I_{D18} \gg 53 \mu\text{A}$$

$$\Rightarrow A_3 \approx 1 \text{ V/V } N_{op} > 0,26 \text{ mV}$$

• Como ya calcule  $A_3$  considerando  $R_L$ , no es necesario calcular  $R_{o3}$

⇒ Sistema completo :



$$A_{DIF} = \underbrace{G_{m3} (R_{o3} \parallel R_{i2})}_{2044 \text{ V/V}} \underbrace{G_{m2} (R_{o2} \parallel R_{i3})}_{46,3 \text{ V/V}} A_3 \Rightarrow A_{DIF} \approx 94,6 \text{ kV/V} \approx 99,5 \text{ dB}$$

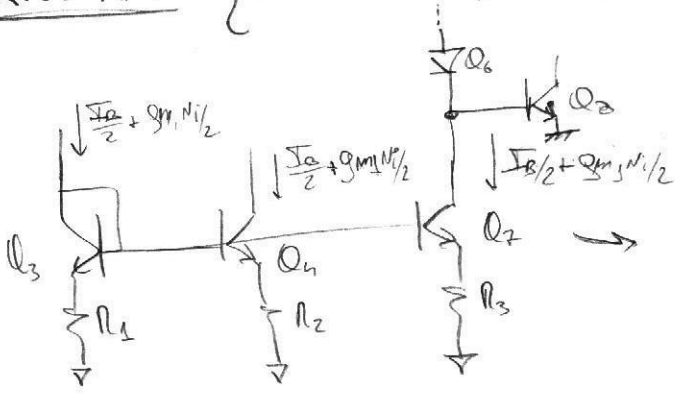
(d)

A pesar de la baja en las ganancias de la 2<sup>da</sup> etapa debido al efecto de  $R_{i3}$  ( $R_{o2}$  y  $R_L$ ), el efecto Miller domina y se puede asumir un polo dominante y la expresión usual para  $f_T$

$$f_T = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{G_{m3}}{C_c} = \frac{113 \mu\text{A/V}}{2\pi \cdot 30 \text{ pF}}$$

$$\Rightarrow f_T \approx 1 \text{ MHz}$$

ANEXO: ¿PORQUE DESPRECIAMOS LA SEÑAL EN Q7?

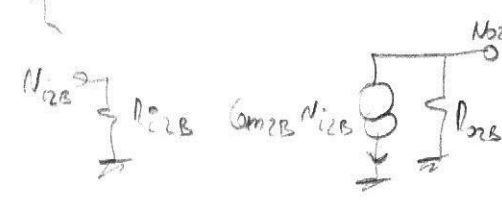
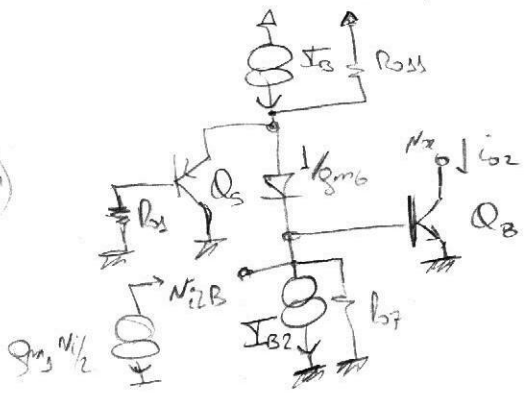


La 2da etapa tiene otra entrada superpuesta:

→ "Camino B" de ganancia:

$$R_{i2B}: R_{i2B} = R_{B7} \parallel r_{\pi B} \parallel \left( \frac{1}{g_{m6}} + R_{B5} \parallel \frac{r_{\pi5} + R_{B1}}{\beta} \right)$$

- $R_{B7} = 39,4 \text{ k}\Omega$
- $r_{\pi B} = 260 \text{ h}\Omega$
- $\frac{1}{g_{m6}} = 5,2 \text{ h}$
- $R_{B5} = 29,3 \text{ k}\Omega$
- $\frac{r_{\pi5} + R_{B1}}{\beta} = 70 \text{ h}$



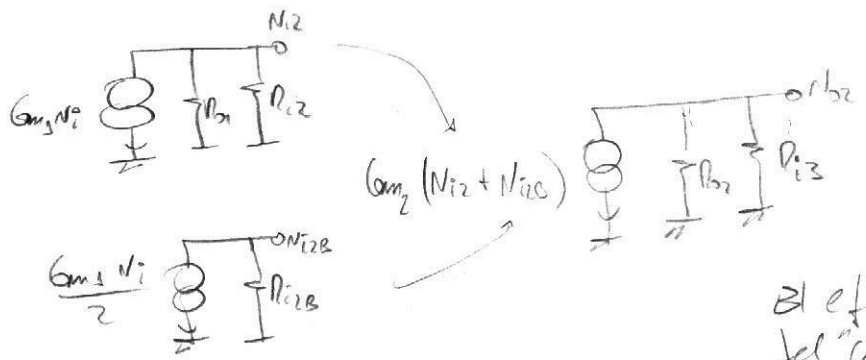
→  $R_{i2B} \approx 58,2 \text{ k}\Omega$

$G_{m2B}$ : trivial  $G_{m2B} = g_{m6} = G_{m2}$

$R_{o2B}$ :  $R_{o2B} = R_{o2} = r_{o6}$

Esta deducción no se exigirá en el parcial. Se adjunta a la solución a fines ilustrativos

(Sistemas completos)



El efecto a la ganancia del "Camino B" es despreciable

$$N_{o2} = G_{m1} G_{m2} N_i R_{o2} \parallel R_{i3} \left[ R_{o1} \parallel R_{i2} + \frac{R_{i2B}}{2} \right] \approx G_{m1} (R_{o1} \parallel R_{i2}) \cdot G_{m2} R_{o2} \parallel R_{i3}$$

$10,6 \text{ k}\Omega \gg 29,3 \text{ k}\Omega$

$$2) P = 8W = \frac{\hat{V}_o^2}{2R_L}$$

$$R_L \in (4\Omega - 16\Omega)$$

El  $\hat{V}_o$  mayor se da para  $R_L$  máxima =  $16\Omega$ .

$$8W = \frac{\hat{V}_o^2}{2 \cdot 16\Omega} \Rightarrow \hat{V}_o^2 = 256 \Rightarrow \hat{V}_o = 16V$$

En la configuración de la figura  $\hat{V}_o \text{ max} = 2V_{CC}$

$$\Rightarrow V_{CC} \geq 8$$

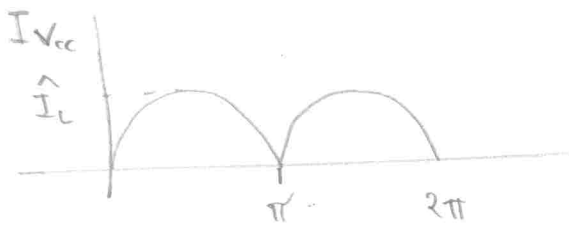
$$b) \eta = \frac{P_L}{P_S}$$

$$P_L = 8W = \frac{\hat{V}_o^2}{2R_L} \Rightarrow \hat{V}_o = \sqrt{2 \cdot 8 \cdot R_L}$$

Durante semiciclo positivo se toma una corriente  $I_L$  del  $V_{CC}$  conectado a  $Q_1$  y  $-V_{CC}$  conectado a  $Q_4$

Durante el semiciclo negativo se toma una corriente  $I_L$

del  $V_{CC}$  conectado a  $Q_3$  y  $-V_{CC}$  conectado a  $Q_2$



$$P_{V_{CC}} = P_{-V_{CC}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{CC} \cdot \hat{I}_L \sin \theta d\theta =$$

$$= \frac{1}{\pi} V_{CC} \cdot \hat{I}_L \cdot \left( -\cos \theta \Big|_0^{\pi} \right) = \frac{1}{\pi} \cdot V_{CC} \cdot \frac{\hat{V}_o}{R_L} \cdot 2 =$$

$$= \frac{2}{\pi} \cdot V_{CC} \cdot \hat{I}_L$$

$$P_s = P_{V_{CC}} + P_{V_{CE}} = \frac{4}{\pi \cdot R_L} \cdot V_{CC} \cdot \hat{V}_o$$

$$\eta = \frac{P_L \cdot \pi \cdot R_L}{4 \cdot V_{CC} \cdot \sqrt{2 \cdot 8 \cdot R_L}} = \frac{P_L \cdot \pi \cdot R_L}{4 \cdot V_{CC} \cdot 4 \cdot \sqrt{R_L}} = \frac{P_L \cdot \pi \cdot \sqrt{R_L}}{4 \cdot V_{CC} \cdot 4}$$

$$\eta_{\min} \text{ cuando } R_{L \min} = \frac{8 \cdot \pi \cdot 2}{4 \cdot 8 \cdot 4} = \frac{\pi}{8}$$

$$\eta_{\max} \text{ cuando } R_{L \max} = \frac{8 \cdot \pi \cdot 4}{8 \cdot 4 \cdot 4} = \frac{\pi}{4}$$

c)

$$P_D = P_s - P_L = \frac{4}{\pi \cdot R_L} \cdot V_{CC} \cdot \sqrt{2 \cdot 8 \cdot R_L} - 8$$

$$P_{D \text{ total}} = \frac{4 \cdot V_{CC} \cdot 4}{\pi \cdot \sqrt{R_L}} - 8 \quad \text{por caso } R_{L \min}$$

$$P_{D \text{ total}} \Big|_{R_L=4\Omega} = \frac{4 \cdot V_{CC} \cdot 4}{\pi \cdot 2} - 8 = \frac{4 \cdot 8 \cdot 4}{\pi \cdot 2} - 8 = \frac{64}{\pi} - 8 = 12,38 \text{ W}$$

$$P_{D_{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4}} = \frac{P_{D \text{ total}}}{4} \approx 3,1 \text{ W}$$

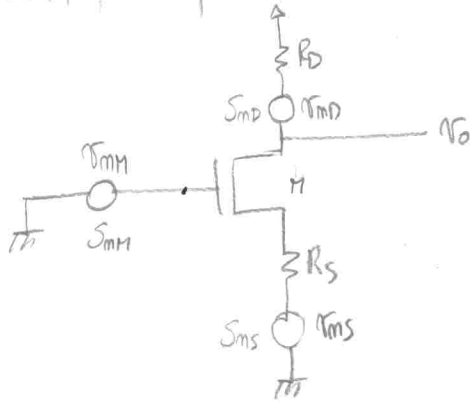
d)

$$\frac{T_{j \max} - T_A}{\theta_{jA}} = P_D \Rightarrow \theta_{jA} = \frac{T_{j \max} - T_A}{P_D} = \frac{150^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}}{3,1 \text{ W}} = 32,2^\circ\text{C/W}$$

$$\theta_{jA} = \theta_{jC} + \theta_{CS} + \theta_{SA} = 32,2^\circ\text{C/W} \Rightarrow \theta_{SA} = 32,2^\circ\text{C/W} - 5^\circ\text{C/W} - 2^\circ\text{C/W} = 25,2^\circ\text{C/W}$$

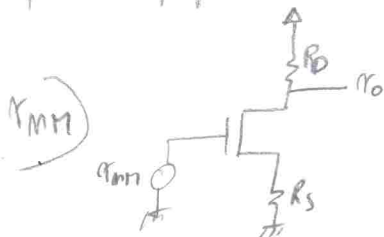
$$\theta_{SA} = \theta_{SA \text{ por } A_{rez}} / A_{rez} \Rightarrow A_{rez} = \frac{\theta_{SA \text{ por } A_{rez}}}{25,2^\circ\text{C/W}} \approx 14 \text{ cm}^2$$

Identifico fuentes de ruidos:  $M$ ,  $R_D$  y  $R_S$

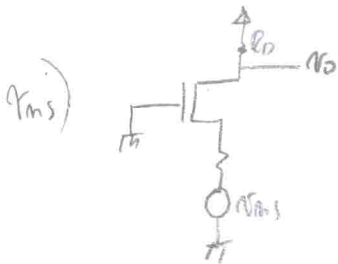


$$\left. \begin{aligned} S_{MD} &= 4kTR_D \rightarrow \text{densidad espectral de ruido de } R_D \\ S_{Ms} &= 4kTR_S \rightarrow \text{" " " " de } R_S \\ S_{MM} &= S_M \rightarrow \text{" " " " de } M \end{aligned} \right\}$$

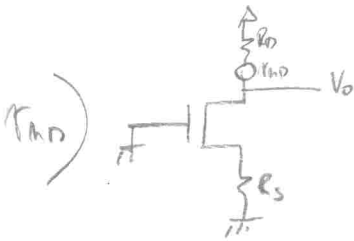
Aplico superposición, trabajo con el modelo de pequeña señal y hoja free:



por letra  $\beta R_S \gg 1 \Rightarrow \left| \frac{v_o}{v_{MM}} \right| = \frac{R_D}{R_S}$



por letra  $\beta R_S \gg 1$  <sup>base común</sup>  $\Rightarrow \left| \frac{v_o}{v_{Ms}} \right| = \frac{R_D}{R_S}$



$\alpha_d = \alpha_e = 0 \Rightarrow \left| \frac{v_o}{v_{MD}} \right| = 1$

$$\left( R_{out}^{RMS} \right)^2 = \int_B S_{out}(f) df = \int_B \left[ S_{MM} \left( \frac{R_D}{R_S} \right)^2 + S_{Ms} \left( \frac{R_D}{R_S} \right)^2 + S_{MD} \right] df =$$

$$= B \cdot \left[ S_{MM} \left( \frac{R_D}{R_S} \right)^2 + 4kTR_S \left( \frac{R_D}{R_S} \right)^2 + 4kTR_D \right] \Rightarrow \boxed{R_{out}^{RMS} = \sqrt{B \left[ S_{MM} \left( \frac{R_D}{R_S} \right)^2 + 4kTR_S \left( \frac{R_D}{R_S} \right)^2 + 4kTR_D \right]}}$$

J-