

**2<sup>do</sup> Parcial de Electrónica 2**  
**26/11/2012**

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 : (24 puntos)**

En el circuito de la figura:

- Determine el mínimo  $I_{bias}$  que asegure poder suministrar 5W de potencia a la carga.
- Determine la eficiencia de la etapa de salida cuando se suministran 5W a la carga.
- Determine la máxima potencia que deben disipar los transistores  $Q_N$  y  $Q_P$  para cualquier potencia entregada entre 0 y 5W.
- Determine cual es la máxima temperatura ambiente ( $T_{AMB}$ ) a la que puede funcionar el circuito.
- A cada transistor  $Q_N$  y  $Q_P$  se le coloca un disipador con  $\Theta_{SA}=250^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}$  . El disipador se supondrá acoplado a través de una resistencia térmica  $\Theta_{CS}=0.5^{\circ}\text{C}/\text{W}$  . ¿Qué superficie debe tener cada disipador para que el circuito pueda funcionar a una temperatura ambiente máxima  $T_{AMB}=40^{\circ}\text{C}$  ?.

Datos:

La corriente mínima por los diodos para que la polarización funcione correctamente es 3mA.

$$V_{CC} = -V_{EE} = 10\text{V}$$

$$Q_N, Q_P: \beta_{N,P} = 50$$

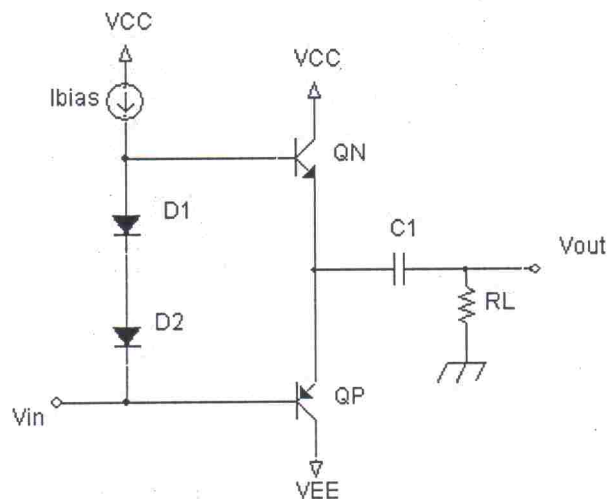
C1 se considerara un cortocircuito a la frecuencia de trabajo.

$$R_L = 8\Omega$$

$$T_{jMAX} = 100^{\circ}\text{C},$$

$$\Theta_{JC} = 2^{\circ}\text{C}/\text{W},$$

$$\Theta_{CA} = 70^{\circ}\text{C}/\text{W}$$



**Problema 2 : (28 puntos)**

- a) Para el amplificador de la figura determine cual es la entrada no inversora.
- b) Determine el valor de RSET para que la corriente continua por Q1 sea 20  $\mu$ A.
- c) Determine la corriente continua por todos los transistores. Tenga en cuenta que Q14 y Q15 tienen un área de emisor 4 veces más grande que la del resto de los transistores.
- d) Determine la ganancia del amplificador a bajas frecuencias.
- e) Determine el valor de C para que el amplificador tenga un producto ganancia por ancho de banda igual a 1 MHz.
- f) Cual es la finalidad de los transistores Q16 a Q19. Explique su funcionamiento detallando las condiciones de operación de los mismos.

Datos:

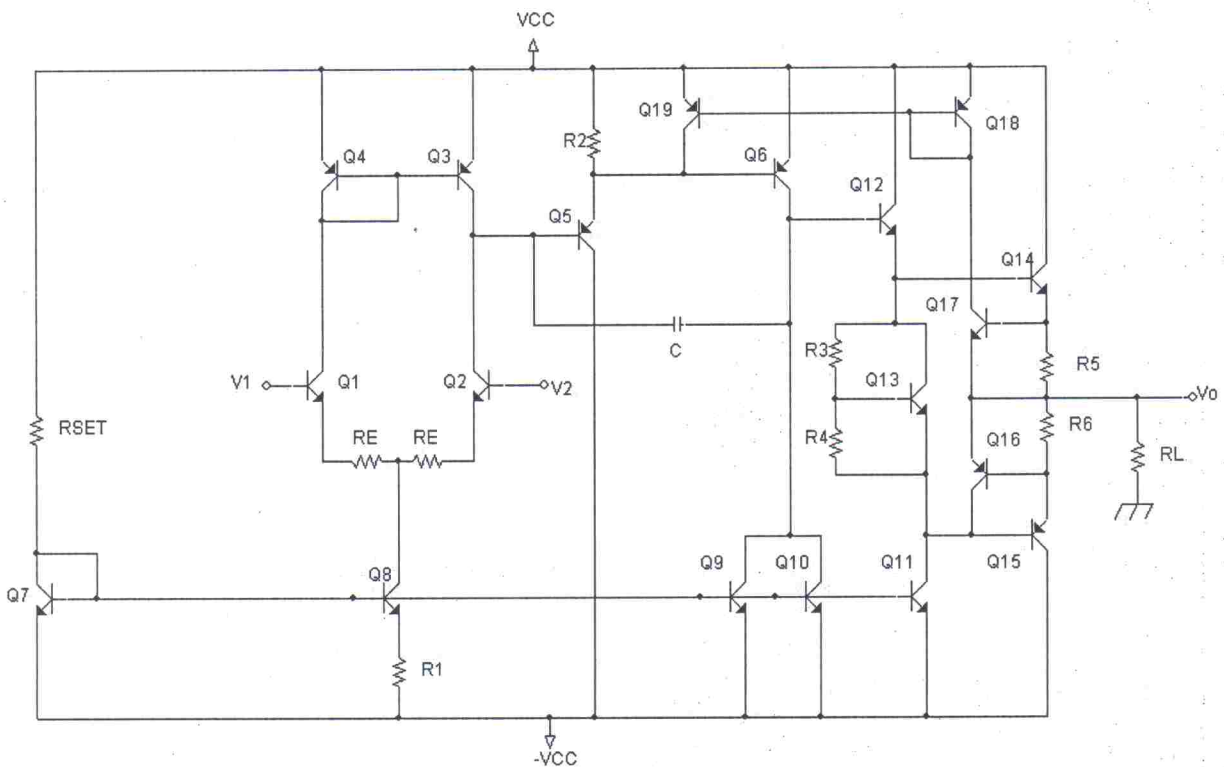
Para todos los transistores considerar

$V_{BE} = 0.7 \text{ V}, \beta = 200$

Voltaje de Early: Se podrá considerar infinito salvo Q2, Q3, Q6, Q9 y Q10 donde  $V_A = 120 \text{ V}$

$V_{CC} = 5 \text{ V}, R_1 = 680 \Omega, R_2 = 10 \text{ k}\Omega, R_3 = 10 \text{ k}\Omega, R_4 = 10 \text{ k}\Omega,$

$R_5 = R_6 = 100 \Omega, R_E = 5 \text{ k}\Omega, R_L = 10 \text{ k}\Omega.$

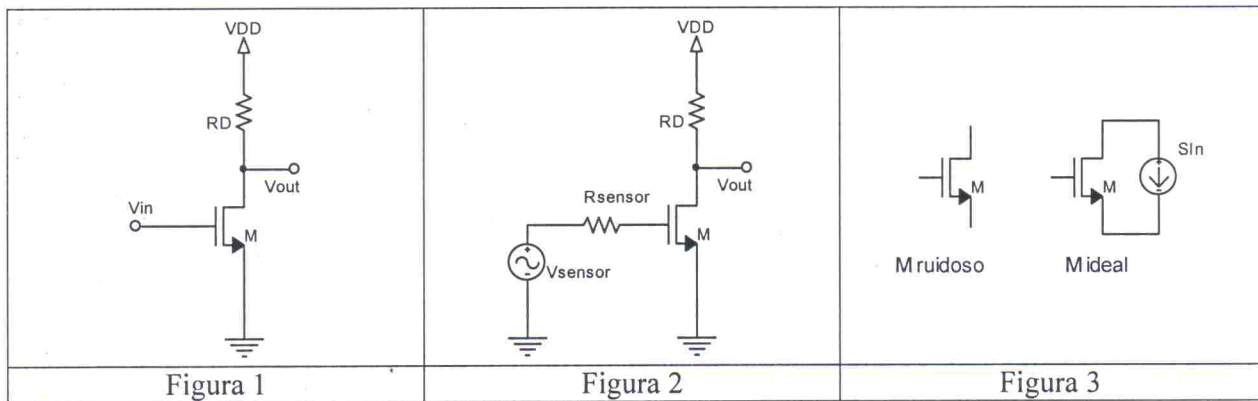


**Problema 3 : (22 puntos)**

- a) Para el amplificador de la figura 1 determinar la densidad espectral de potencia del ruido equivalente a la entrada. Para ello deberá considerarse el ruido aportado por  $R_D$  y por el transistor  $M$ .
- b) El amplificador de la figura 1 se conecta a un sensor según se muestra en la figura 2. ¿Cuál sería el mínimo valor de  $R_{\text{sensor}}$  si se quiere que el voltaje de ruido del amplificador sea al menos 10 veces más chico que el de  $R_{\text{sensor}}$ ?

El ruido que introduce el transistor MOS, a los efectos del presente ejercicio, puede modelarse como una fuente de ruido en corriente con densidad espectral de potencia  $S_{In}$  constante según se muestra en la figura 3. 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.
- La polarización de  $M$  no se muestra y es tal que se encuentra en saturación con transconductancia  $g_m$

**Problema 4 : (26 puntos)**

Se tiene una etapa de potencia (PA) con ganancia unitaria en tensión y resistencia de entrada  $R_{iPA}$  y resistencia de salida  $R_{oPA}$ , que introduce una distorsión apreciable en la señal, la cuál se puede modelar como una componente aditiva “ $v_{\text{dist}}$ ” a la entrada de la etapa, como se muestra en la Fig. 1. A los efectos de paliar este problema se introduce una etapa preamplificadora como se muestra en la Figura 2, donde  $R_1 \ll R_{iPA}$ .

- Determinar  $A$  y  $\beta$  del circuito realimentado de la Fig. 2. ¿Qué condición se debe cumplir para que el bloque  $\beta$  pueda considerarse aproximadamente unidireccional? En el resto del problema se supondrá que se cumple dicha condición.
- ¿Cuál será el valor debido a  $v_{\text{dist}}$  a la salida si se usa la configuración de la Fig. 2?
- ¿Qué condición se debe cumplir para que la transferencia del circuito de la Fig. 2 ( $v_o/v_i$ ) sea aproximadamente igual al de la Fig. 1?
- ¿Cuál es la resistencia de salida  $R_{oCl}$  de la configuración de la Fig. 2?
- ¿Cuál es la resistencia de entrada  $R_{iCl}$  de la configuración de la Fig. 2?

Figura 1

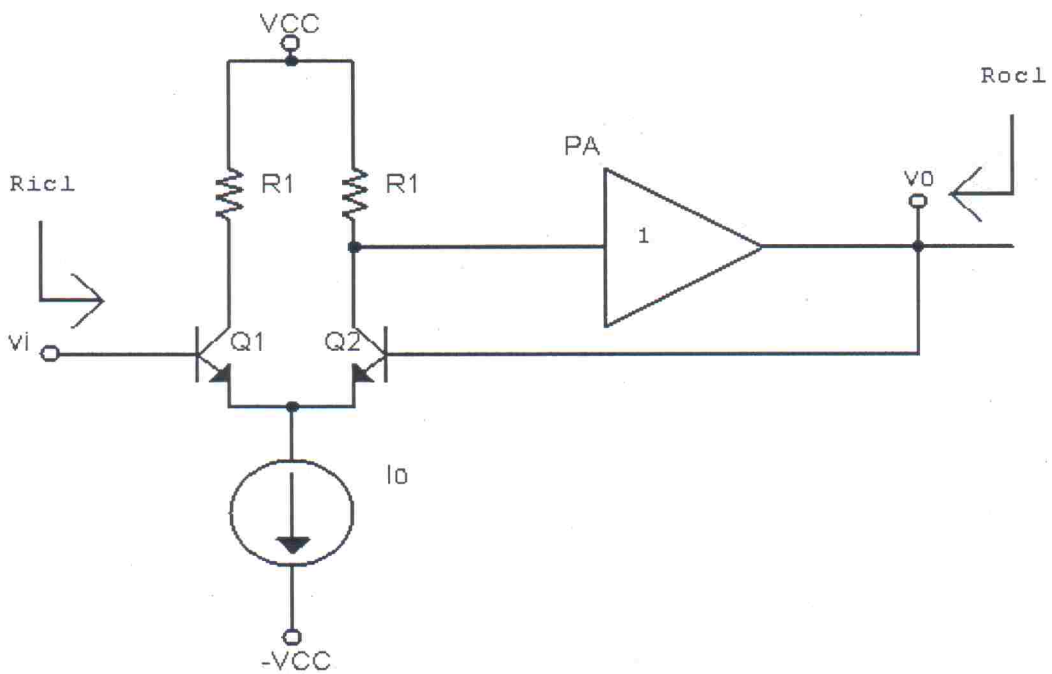
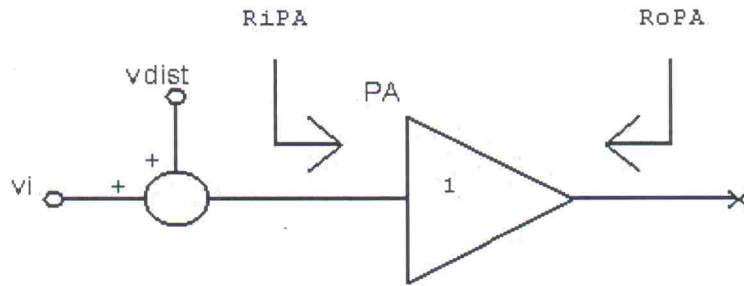


Figura 2

# Problema 1

a)

$$P = 5W = \frac{\hat{I}_L^2 R_L}{2} \Rightarrow \hat{I}_L = \sqrt{\frac{2 \cdot 5W}{8\Omega}} = 1,12 A$$

$$\Rightarrow I_{B_{N}} / \max = \frac{\hat{I}_L}{\beta_N} = 22 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_{B_{AS}} \min = I_{D \min} + I_{B_{N} \max} = 3 \text{ mA} + 22 \text{ mA} = \underline{\underline{25 \text{ mA}}}$$

b)

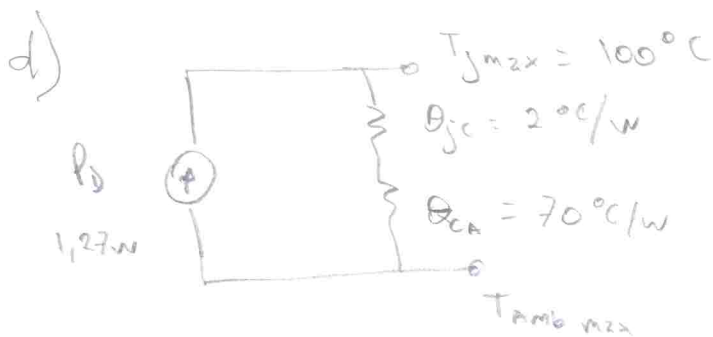
$$\eta = \frac{P}{P_S}$$

$$P_{S^+} = P_{S^-} = \frac{1}{\pi} \cdot \hat{I}_L \cdot V_{CC} = 3,57 \text{ W} \Rightarrow P_S = 7,13 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{5W}{7,13W} = 70 \%$$

c)

$$P_{D_{N}} \max = P_{D_P} \max = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = 1,27 \text{ W}$$



$$T_{\text{amb max}} = T_{j \max} - (\theta_{jc} + \theta_{ca}) P_D = 8,56^\circ \text{C}$$

## Problema 2:

a)

$$\text{Suponemos } V_1 \uparrow \quad V_2 \downarrow \Rightarrow V_{C_{Q5}} \uparrow \Rightarrow V_{C_{Q5}} = V_{B_{Q6}} \uparrow \Rightarrow V_{C_{Q6}} = V_{B_{Q4}} \downarrow$$

$$\Rightarrow V_{E_{Q1,2}} \downarrow \Rightarrow V_0 \downarrow$$

$\Rightarrow V_1$  inversor,  $V_2$  no inversor.

b)

$$V_{BE7} - V_{BE8} = 2 I_{C_{Q1}} \cdot R_1$$

$$\ln \frac{I_{set}}{2 I_{C_{Q1}}} = \frac{2 I_{C_{Q1}} \cdot R_1}{V_T}$$

$$I_{set} = 2 I_{C_{Q1}} \cdot e^{\frac{2 I_{C_{Q1}} \cdot R_1}{V_T}} = 40 \mu A \cdot e^{\frac{40 \mu A \cdot 680 \Omega}{26 mV}} = 114 \mu A$$

$$I_{set} = \frac{2 V_{CC} - V_{BE}}{R_{set}} \Rightarrow R_{set} = 81,6 k$$

c)  $I_{C_{Q1}} = I_{C_{Q2}} = I_{C_{Q3}} = I_{C_{Q4}} = 20 \mu A$ .

$$I_{C_{Q5}} = \frac{V_{BE6}}{R_2} = \frac{0,7}{10k} = 70 \mu A$$

$$I_{C_{Q9}} = I_{C_{Q10}} = I_{set} = 114 \mu A$$

$$I_{C_{Q6}} = I_{C_{Q9}} + I_{C_{Q10}} = 228 \mu A$$

Nota  $V_{BE}$ .

$$V_{BE14} + V_{BE15} = V_{BE3} \left( 1 + \frac{R_3}{R_4} \right)$$

$$2 V_T \ln \frac{I_{C_{14,15}}}{I_{S_{14,15}}} = V_T \ln \frac{I_{C_{13}}}{I_{S_{13}}} \left( 1 + \frac{R_3}{R_4} \right)$$

$$\frac{I_{C14,15}}{I_{C13}} = - \frac{I_{S14,15}}{I_{S13}} = 4$$

$$I_{C14,15} = 4 I_{C13} = 176 \mu A$$

$$I_{R3,R4} = \frac{0,7}{10k} = 70 \mu A$$

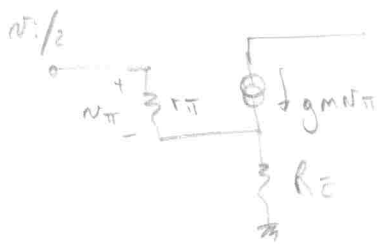
$$114 \mu A = I_{C11} = I_{C12} = I_{R3,R4} + I_{C13} \Rightarrow I_{C13} = 44 \mu A$$

↑  
despreciamos corrientes

de base  $Q_{14}, Q_{15}$

$$I_{B14,15} = \frac{I_{C14,15}}{\beta} = \frac{4 I_{C13}}{\beta} = \frac{I_{C13}}{50} \ll I_{C13} \quad \checkmark$$

$$d) \quad g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_{C11,2}}{V_T} = \frac{20 \mu A}{26 mV} = 0,77 mS^{-1}$$



$$v_{\pi} = v_i/2 \left( \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + (\beta+1)R_E} \right) = \frac{v_i}{2} \cdot \left( \frac{1}{1 + g_m R_E} \right) = \frac{v_i}{2 \cdot (1 + g_m R_E)}$$

1<sup>er</sup> Etape



$$G_{m1} = 2 \cdot g_m \cdot \frac{1}{2(1 + g_m R_E)} = \frac{g_m}{1 + g_m R_E} = 0,16 mS^{-1}$$

$$r_{o1} = r_{o3} \parallel r_{o2} (1 + g_m R_E) = 5 M\Omega$$

d) 2te Ebene:



$$R_{i2} = r_{\pi 5} + (\beta + 1) (R_2 \parallel r_{\pi 6}) = 74 \text{ k}\Omega + 1,39 \text{ k}\Omega = 1,46 \text{ M}\Omega$$

$$r_{\pi 5} = \frac{\beta}{g_{m5}} = \frac{200}{70 \mu\text{A}/26 \text{ mV}} = 74 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi 6} = \frac{\beta}{g_{m6}} = \frac{200}{\frac{228 \mu\text{A}}{26 \text{ mV}}} = 22,8 \text{ k}\Omega$$

$$r_{o2} = r_{o_{a6}} \parallel r_{o_{a9}} \parallel r_{o_{a10}} = 526 \text{ k}\Omega \parallel 526 \text{ k}\Omega = 263 \text{ k}\Omega$$

$$g_{m2} = g_{m6} = 8,77 \text{ m}\Omega^{-1}$$

3te Ebene



$$R_{i3} = r_{\pi 12} + (\beta + 1) \left( \left( r_{\pi 14} + (\beta + 1) R_L \right) \parallel r_{o11} \right) = 139 \text{ k}\Omega$$

$\begin{matrix} | & & | & & | \\ 45,6 \text{ k}\Omega & & 29,5 \text{ k}\Omega & & 2 \text{ M}\Omega \\ & & & & \parallel \\ & & & & 1 \text{ M}\Omega \end{matrix}$

$$G = \underbrace{g_{m1} \cdot r_{o1} \parallel R_{i2}}_{182} \cdot \underbrace{g_{m2} \cdot r_{o2} \parallel R_{i3}}_{2306} = 417 \times 10^3$$



$$e) f_T = \frac{g_m}{2\pi C} = 1 \text{ MHz} \Rightarrow C = \frac{0,16 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}}{2 \cdot \pi \cdot 1 \times 10^6} = 25,5 \text{ pF}$$

f) Implementan la protección contra corto circuito.

Actúan encendiendo  $Q_{16}$  o  $Q_{17}$ , quitando la corriente de base de  $Q_{15}$  cuando enciende  $Q_{16}$ , o de  $Q_{14}$  cuando enciende  $Q_{17}$  y quita la corriente de base de  $Q_6$  mediante  $Q_{19}$ .

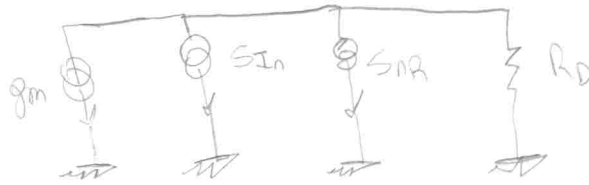
Pare que enciendan  $Q_{16}$  o  $Q_{17}$  la caída en  $R_5$  o  $R_6$  debe ser igual  $V_{BE} \Rightarrow I_{CC} \cdot R_{5,6} = 0,7$

$$\Rightarrow I_{CC} = \frac{0,7}{100\Omega} = 7 \text{ mA.}$$

# Problema 3

(a)

$V_{in}$



$$\left. \begin{aligned} S_{no} &= S_{In} + S_{NR} \\ S_{ni} H(s)^2 &= S_{no} \\ H(s)^2 &= g_m^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} S_{ni} &= \frac{S_{In} + S_{NR}}{g_m^2} \\ S_{NR} &= \frac{4KT}{R} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S_{ni} = \frac{S_{In} + 4KT/R}{g_m^2}$$

(b)

$$V_{nim} \leq \frac{V_{nr_{sensor}}}{10} \Rightarrow V_{nim}^2 \leq \frac{V_{nr_{sensor}}^2}{100} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \int_0^\infty S_{nim}(f) df \leq \frac{1}{100} \int_0^\infty S_{nr_{sensor}}(f) df \Rightarrow$$

$$\Leftrightarrow S_{nim} \leq \frac{S_{nr_{sensor}}}{100}$$

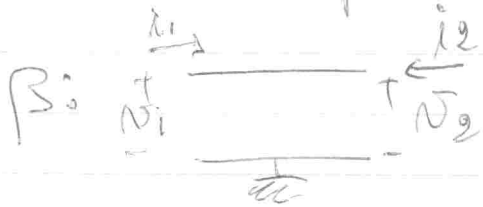
$$\frac{S_{In} + 4KT/R}{g_m^2} \leq \frac{4KT R_{sensor}}{100}$$

$$R_{sensor \min} = \frac{100 (S_{In} + 4KT/R)}{4KT g_m^2}$$

P.P.

# Problema 4

a) Calcular los parámetros h de A y B

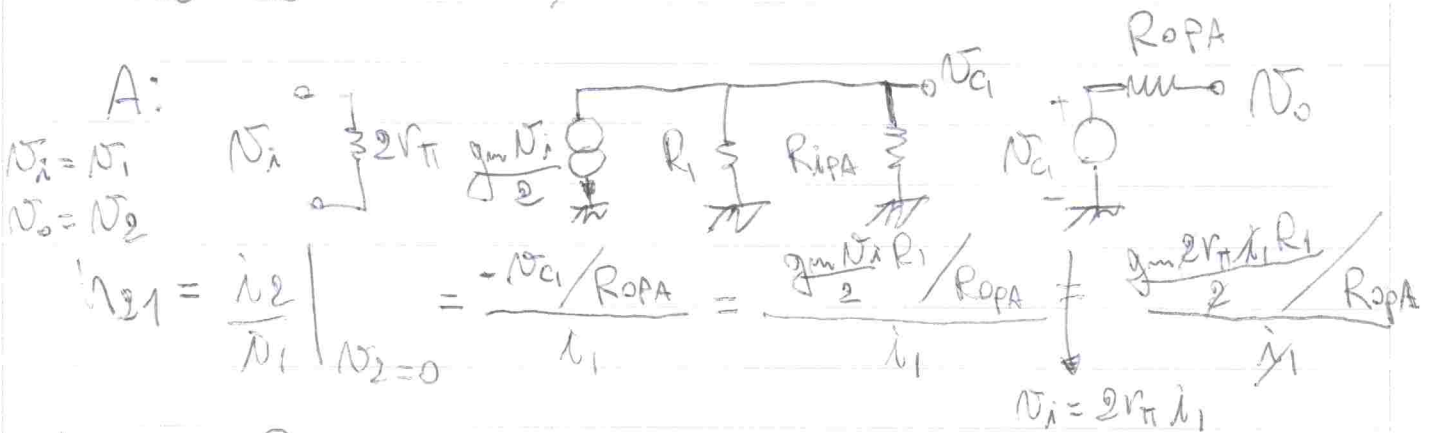


$$R_{11} = h_{11} = \left. \frac{V_1}{i_1} \right|_{V_2=0} = \phi \quad \left\| \quad h_{21} = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{V_2=0} = -1 \quad \left\| \quad h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{i_1=0} = 1$$

$$\left. \frac{1}{R_{22}} = h_{22} = \left. \frac{i_2}{V_2} \right|_{i_1=0} = \infty \right\} \Rightarrow \beta \text{ no carga a A.}$$

$$R_{22} = \infty$$

$$\left. \begin{matrix} R_{11} = \phi \\ R_{22} = \infty \end{matrix} \right\}$$



$$h_{21} = \frac{\beta R_i}{R_{OPA}}$$

Es unidireccional.

$$h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{i_1=0} \neq \phi$$

$$\Rightarrow |h_{21}|_A = \frac{\beta R_i}{R_{OPA}} \gg |h_{21}|_B = 1 \Rightarrow \boxed{\frac{\beta R_i}{R_{OPA}} \gg 1}$$

$$b) A\beta = \frac{g_m R_1}{2}$$

Para  $N_{dist}$   $A=1 \Rightarrow$

$$N_{0dist}^{cl} = \frac{1}{1 + \frac{g_m R_1}{2}} N_{dist}$$

$$c) \frac{N_o}{N_i} = 1$$

Para  $N_i$ :  $A = \frac{g_m R_1}{2} \Rightarrow N_o^{cl} = \frac{g_m R_1}{2 + g_m R_1} N_i$

$$\Rightarrow \text{si } \frac{g_m R_1}{2} \gg 1 \Rightarrow N_o^{cl} \approx N_i \Rightarrow \left| \frac{g_m R_1}{2} \gg 1 \right|$$

d)  $R_o^{ol} = R_{opa} \Rightarrow$

$$R_o^{cl} = \frac{R_{opa}}{1 + \frac{g_m R_1}{2}}$$

e)  $R_i^{ol} = 2V_{\pi} \Rightarrow$

$$R_i^{cl} = 2V_{\pi} \left( 1 + \frac{g_m R_1}{2} \right)$$

Pablo Castro

