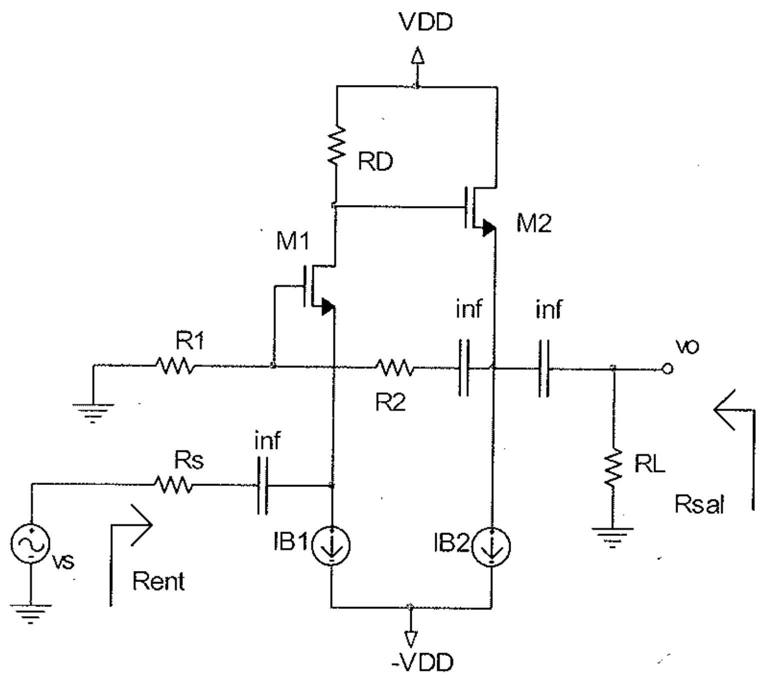
2^{do} Parcial de Electrónica 2
23/11/2009

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 : (25 puntos)

En el amplificador de la Figura, los transistores tienen parámetros V_{t0}, β, $\delta=0$ y tensión de Early que se podrá suponer infinita.

a) Determinar en función de los componentes y los parámetros de pequeña señal de M1 y M2 los valores de A y β que permiten representar al amplificador en un diagrama de bloques de sistema realimentado.
b) Determinar las resistencias vistas indicadas en la Figura: Rent y Rsal.
c) Si IB1 = 1 mA, IB2 = 10 mA, β = 50 mA/V^2, Vt0 = 1 V, RD = 8.2 kΩ, R1 = 1 kΩ, R2 = 2.2 kΩ, Rs = 100 Ω, RL = 1 kΩ, determinar la ganancia vo/vs.



Problema 2: (25 puntos)

En el circuito de la figura:

a) Determine R_2 y el mínimo I_{bias} que aseguren poder suministrar 8W de potencia a la carga y una tensión de 1.5V entre las bases de QN y QP.

b) Determine la eficiencia de la etapa de salida cuando se suministran 8W a la carga.

c) Determine la máxima potencia que deben disipar los transistores Q_N y Q_P para cualquier potencia entregada entre 0 y 8W.

d) Determine cual es la máxima temperatura ambiente (T_{AMB}) a la que puede funcionar el circuito.

e) A cada transistor Q_N y Q_P se le coloca un disipador capaz de disipar 4mW/°C por cada cm^2 de superficie. El disipador se supondrá acoplado a través de una resistencia térmica Θ_{CS}=0.5°C/W. ¿Qué superficie debe tener cada disipador para que el circuito pueda funcionar a una temperatura ambiente máxima T_{AMB}=40°C ?.

Datos:

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

$R_L=4\ \Omega$

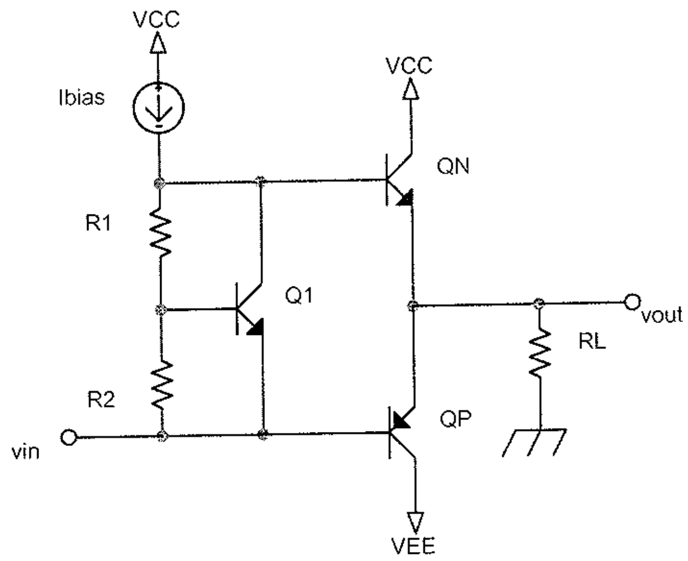
Q_1: $V_{BE}=0.6$ V si $I_C > 5$ mA

$\beta >> 1$

$R_1=180\ \Omega$

Q_N, Q_P: $V_{BE}=0.75$V, $\beta_{N,P}=50$

$T_{jMAX}=150$ °C, $\Theta_{JC}=2$ °C/W, $\Theta_{CA}=55$ °C/W



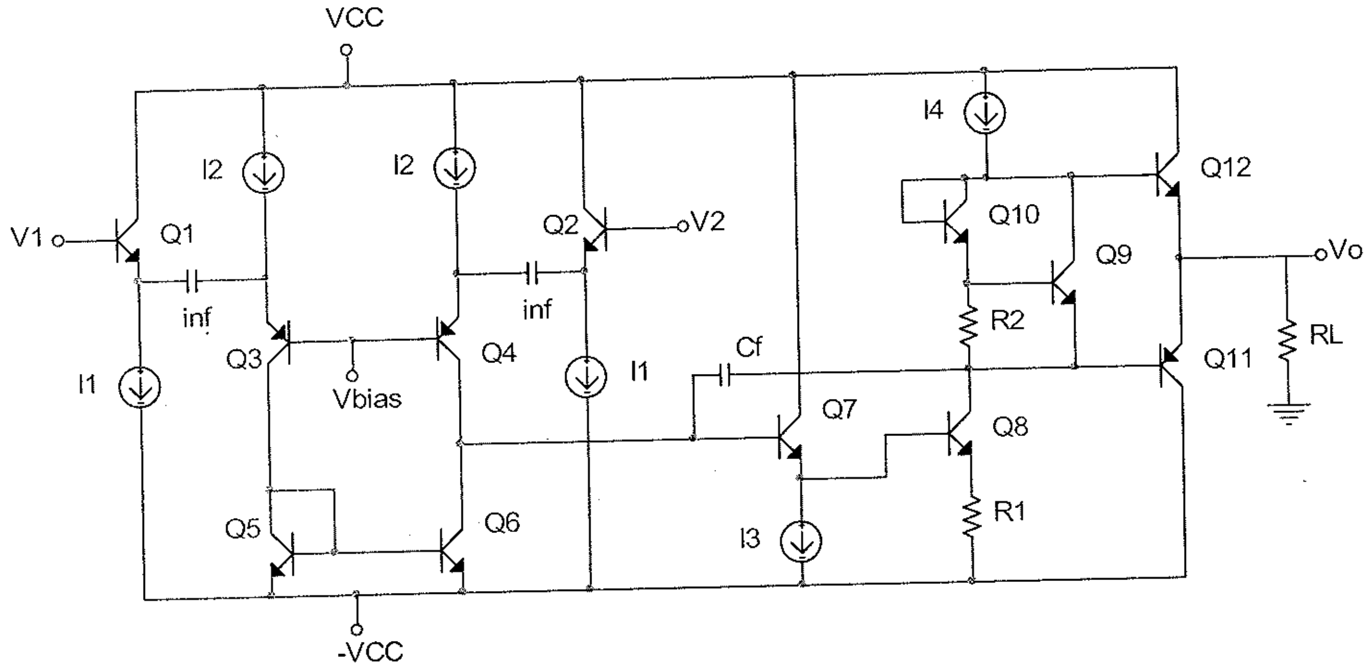
Problema 3: (30 puntos)

Para el amplificador de la figura se pide

a) Determine cuál es la entrada inversora. Justifique.
b) Calcule la ganancia en tensión a frecuencias medias (Vo/|V1-V2|).
c) Determine el f_T del amplificador.

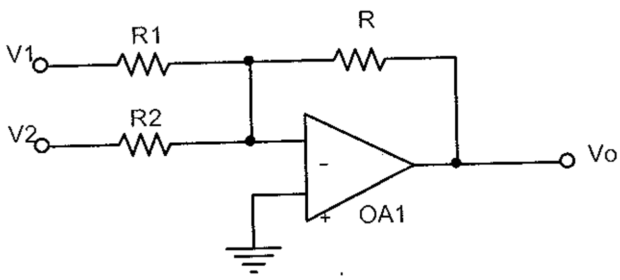
Datos:

- Todos los transistores son iguales con VBE = |VEB| = 0.6 V, β = 200 y tensión de Early infinita.
- I1 = 0.5 mA, I2 = 0.1 mA, I3 = 1 mA e I4 = 10 mA
- R1 = 100 Ω, R2 = 1 kΩ, RL = 100 Ω
- Cf = 50 pF



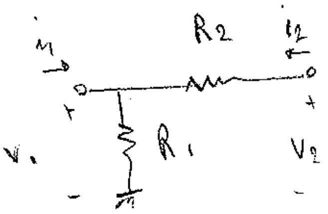
Problema 4 : (20 puntos)

Para el circuito de la figura determinar el voltaje rms de ruido equivalente a la entrada V1. Para ello se deberá considerar el ruido aportado por las resistencias, que se trabaja sobre un ancho de banda ideal de B Hz y que el amplificador operacional OA1 tiene, en ese ancho de banda, un ruido equivalente de entrada con densidad espectral de potencia constante igual a S_A V^2/Hz.



2do Parcial Electrónica 2 — 23/11/09

Problema 1.



$$v_1 = h_{11} i_1 + h_{12} v_2$$

$$i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} v_2$$

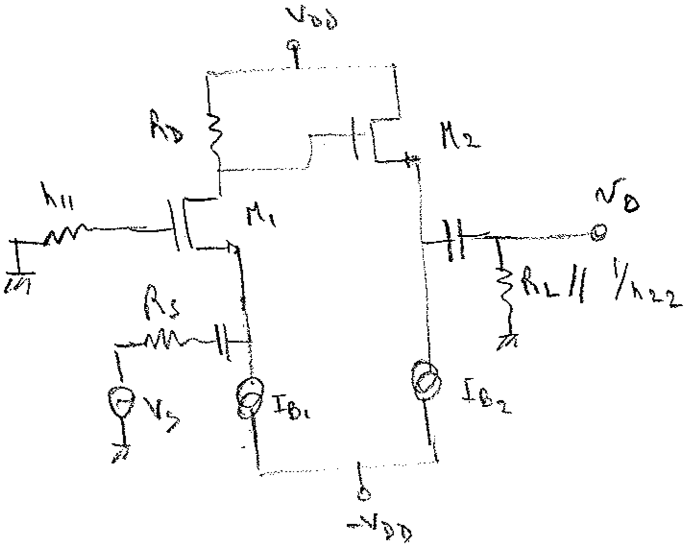
$$\beta = h_{12} = \left.\frac{v_1}{v_2}\right|_{i_1=0} = \boxed{\frac{R_1}{R_1+R_2}}$$

$$h_{11} = \left.\frac{v_1}{i_1}\right|_{v_2=0} = R_1 \| R_2$$

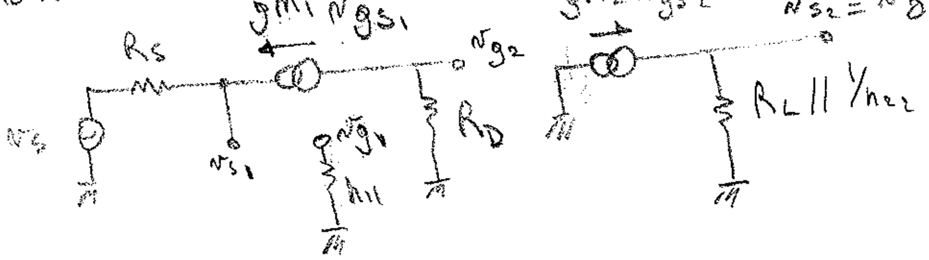
$$h_{22} = \left.\frac{i_2}{v_2}\right|_{i_1=0} = \frac{1}{R_1+R_2}$$

$$h_{21} = \left.\frac{i_2}{i_1}\right|_{v_2=0} = \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

A



Calculo A



$$\frac{v_s - v_{s1}}{R_s} + g_{m1} \underset{\substack{\| \\ -v_{s1}}}{v_{gs1}} = 0 \quad \Rightarrow \frac{v_s - v_{s1}}{R_s} - g_{m1} v_{s1} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{v_s}{R_s} = v_{s1}\left(\frac{1}{R_s} + g_{m1}\right)$$

$$\Rightarrow v_{s1} = \frac{v_s}{\cancel{R_s}} \cdot \frac{\cancel{R_s}}{R_s g_{m1} + 1} = \frac{v_s}{R_s g_{m1} + 1}$$

$$v_{g2} = -g_{m1} v_{gs1} \cdot R_D = -g_{m1} \cdot \frac{-v_s}{g_{m1}R_s+1} \cdot R_D = v_s \cdot \frac{g_{m1} R_D}{g_{m1}R_s+1}$$

$$v_{s2} = v_o = g_{m2}\, v_{gs2} \cdot R_L \,\|\, (R_1+R_2) = g_{m2}\, R_L \|(R_1+R_2) \cdot (v_{g2} - v_{s2})$$

$$v_{s2}\left(1 + g_{m2}\, R_L\|(R_1+R_2)\right) = v_{g2} \cdot g_{m2}\left(R_L \| (R_1+R_2)\right)$$

$$v_o = v_{s2} = \frac{v_{g2} \cdot g_{m2}\left(R_L\|(R_1+R_2)\right)}{1+g_{m2}\left(R_L\|(R_1+R_2)\right)}$$

$$\boxed{\frac{v_o}{v_s} = \frac{g_{m1} \cdot R_D}{g_{m1}R_s+1} \cdot \frac{g_{m2} \cdot \left(R_L\|(R_1+R_2)\right)}{1+g_{m2}\left(R_L\|(R_1+R_2)\right)} = A}$$

b) $R_{i\ \text{sin realim.}} = R_s + \frac{1}{g_{m1}}$

$R_{ent} = R_{i\ \text{sin realim.}}(1+A\beta)$

$R_{out\ \text{sin realim}} = R_L \,\|\, 1/h_{22} \,\|\, 1/g_{m2} = R_L \,\|\, (R_1+R_2) \,\|\, 1/g_{m2}$

$R_{sal} = \dfrac{R_{out\ \text{sin realim}}}{1+A\beta}$

c) $\frac{v_o}{v_s} = G = \dfrac{A}{1+A\beta}$

$g_{m1} = \sqrt{2\beta I_{D1}} = 10\ mA/V$

$g_{m2} = \sqrt{2\beta I_{D2}} = 31{,}6\ mA/V$

$R_L \| (R_1+R_2) = 761\ \Omega.$

$\Longrightarrow A \simeq 39 \Rightarrow A\beta = \frac{39}{3{,}2} = 12 >> 1$

$\Rightarrow \boxed{G \approx \frac{1}{\beta} \simeq 3}$

ELECTRÓNICA 2   2º PARCIAL   NOV/2009

P2

(a) $V_{BB} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{BE} = 1{,}5\ V$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_{BB}}{V_{BE}} - 1 = 1{,}5 \Rightarrow R_2 = \frac{180\Omega}{1{,}5} = \underline{120\Omega}$$

$I_{C1}|_{MIN} = 5\ mA \quad , \quad I_{R_2} = \frac{0{,}6V}{120\Omega} = 5\ mA$

$P_L = \frac{1}{2}\hat{I}_L^2 R_L \Rightarrow \hat{I}_L = \sqrt{\frac{2P_L}{R_L}} = 2\ A$

$I_{BN}|_{MAX} = \hat{I}_L / \beta_N = 40\ mA$

$\Rightarrow I_{bias}|_{MIN} = I_{C1}|_{MIN} + I_{R_2} + I_{BN}|_{MAX} = \underline{50\ mA}$

(b) $\eta = P_S / P_L \qquad P_{S+} = P_{S-} = \frac{1}{\pi}\hat{I}_L V_{CC} = 6{,}37\ W$

$\Rightarrow P_S = 12{,}7\ W$

$\Rightarrow \eta = 62{,}8\%$

(c) $P_{DN}|_{MAX} = P_{DP}|_{MAX} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L}$ @ $V_{OUT} = \frac{2V_{CC}}{\pi} < V_{OUT}|_{MAX} = \hat{I}_L R_L$

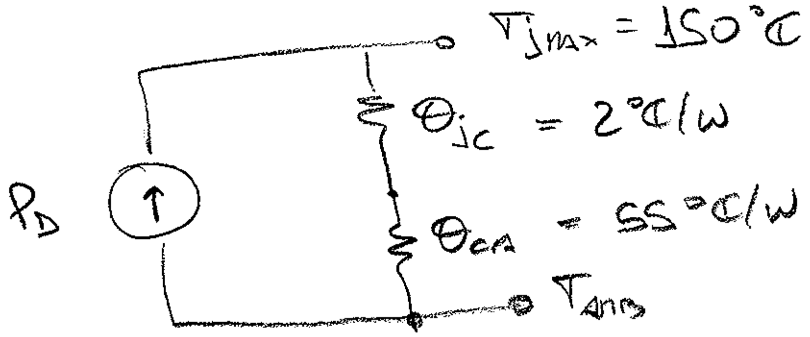
$(6{,}4V < 8V)$

$\Rightarrow P_{DN}|_{MAX} = P_{DP}|_{MAX} = \underline{2{,}54\ W}$

ELECTRÓNICA 2 2do PARCIAL NOV/2009

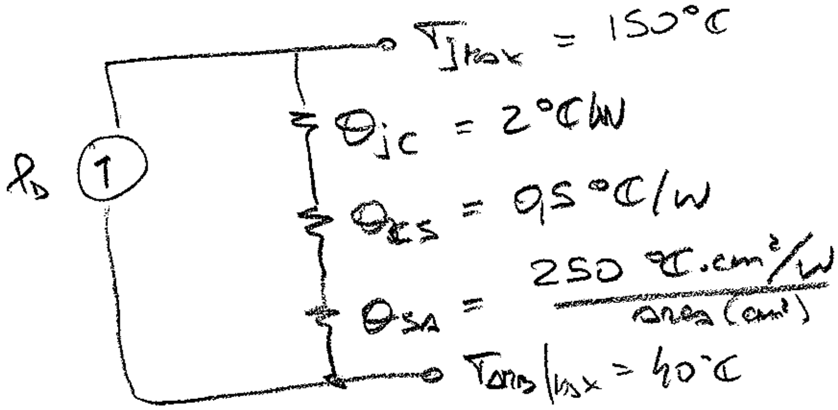
(2)

(d)



$$\Rightarrow T_{amb}\big|_{max} = T_{jmax} - (\theta_{jc} + \theta_{cA})P_D = \underline{5{,}2\ °C}$$

(e)



$$T_{jmax} - T_{amb}\big|_{max} = \left(\theta_{jc} + \theta_{cs} + \frac{\theta_{sA}}{area}\right)P_D$$

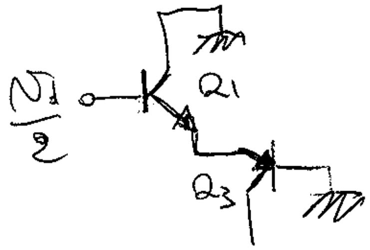
$$\Rightarrow area = \frac{\theta_{sA}}{\frac{T_j - T_A}{P_D} - \theta_{jc} - \theta_{cs}} \Rightarrow \boxed{area = 6{,}13\ cm^2}$$

Problema 3

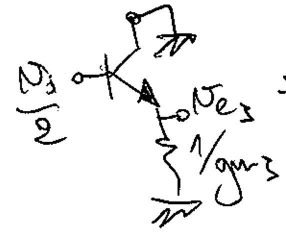
a) $V_2 \uparrow \Rightarrow v_{e4} \uparrow \Rightarrow v_{c4} \uparrow \Rightarrow v_{e7} \uparrow \Rightarrow v_{c8} \downarrow \Rightarrow v_o \downarrow$

$\Rightarrow V_2$ es la entrada inversora

b) Primera etapa (asumo CMRR alto) $(v_d = V_1 - V_2)$



$\Rightarrow$



$$\Rightarrow v_{e3} = \frac{\beta \frac{1}{g_{m3}} \frac{v_d}{2}}{r_{\pi_1} + (\beta+1)\frac{1}{g_{m3}}}$$

$$= \frac{\frac{\beta V_T}{I_2} \frac{v_d}{2}}{\frac{\beta V_T}{I_1} + \frac{\beta V_T}{I_2}} = \frac{I_1 (v_d/2)}{I_1 + I_2} \Rightarrow i_{c3} = g_{m3} v_e = g_{m3}\left(\frac{I_1}{I_1+I_2}\right)\left(\frac{v_d}{2}\right)$$

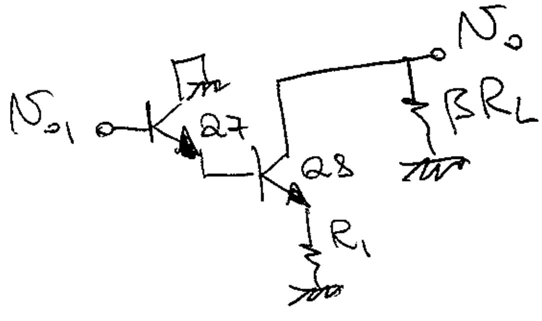
Analogamente $i_{c4} = -\left(g_{m3} \frac{I_1}{I_1+I_2} \frac{v_d}{2}\right)$

$$\Rightarrow i_{b7} = i_{c4} - i_{c3} = -g_{m3}\left(\frac{I_1}{I_1+I_2}\right) v_d$$

$$R_{vista\,base7} = r_{\pi_7} + (\beta+1)\left[r_{\pi_8} + (\beta+1)R_1\right]$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{v_{o1}}{v_d} = -\left(r_{\pi_7} + (\beta+1)\left[r_{\pi_8} + (\beta+1)R_1\right]\right) g_{m3} \frac{I_1}{I_1+I_2}}$$

Segunda etapa



$$\frac{v_{b8}}{v_{o1}} = \frac{\beta\left(r_{\pi 8} + (\beta+1)R_1\right)}{r_{\pi 7} + (\beta+1)\left(r_{\pi 8} + (\beta+1)R_1\right)}$$

$$\frac{v_o}{v_{b8}} = \frac{-\beta(\beta R_L)}{r_{\pi 8} + (\beta+1)R_1}$$

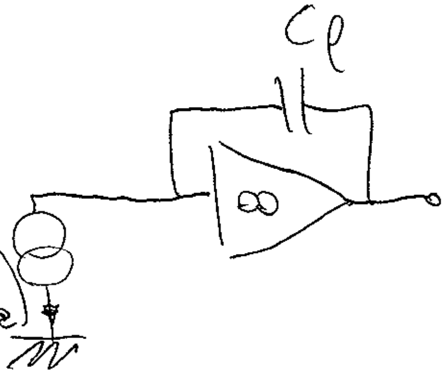
$$\frac{v_o}{v_{o1}} = \frac{v_{b8}}{v_{o1}}\frac{v_o}{v_{b8}} = \left(\frac{\beta\left(r_{\pi 8} + (\beta+1)R_1\right)}{r_{\pi 7} + (\beta+1)\left[r_{\pi 8} + (\beta+1)R_1\right]}\right)\left(\frac{-\beta^2 R_L}{r_{\pi 8} + (\beta+1)R_1}\right)$$

$$\frac{v_o}{v_d} = \frac{v_{o1}}{v_d}\frac{v_o}{v_{o1}} = \left(-\cancel{\left(r_{\pi 7} + (\beta+1)\left[r_{\pi 8} + (\beta+1)R_1\right]\right)} g_{m3}\frac{I_1}{I_1+I_2}\right)\frac{\beta\,\cancel{\left(r_{\pi 8} + (\beta+1)R_1\right)}}{\cancel{\left(r_{\pi 7} + (\beta+1)\left[r_{\pi 8} + (\beta+1)R_1\right]\right)}}\left(\frac{-\beta^2 R_L}{\cancel{r_{\pi 8} + (\beta+1)R_1}}\right)$$

$$\boxed{\frac{v_o}{v_d} = g_{m3}\beta^3 R_L \frac{I_1}{(I_1+I_2)}}$$

c)

$v_d\left(g_{m3}\frac{I_1}{I_1+I_2}\right)$

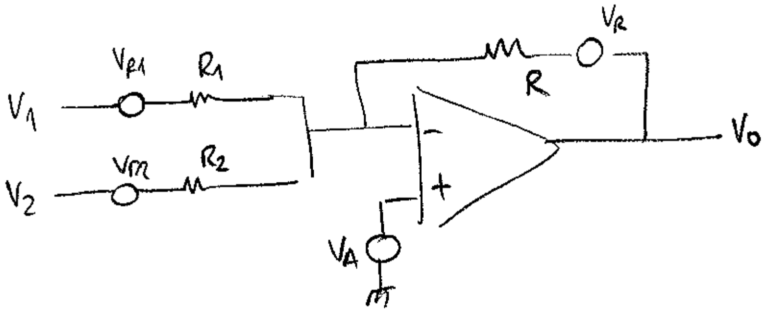


$\Rightarrow$

$$\boxed{f_T = \frac{g_{m3}}{2\pi C_p}\frac{I_1}{I_1+I_2}}$$

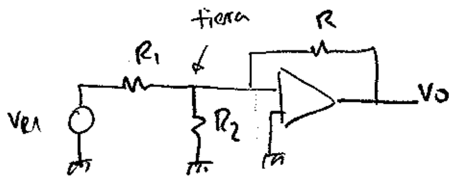
Problema 4

Identifico fuentes de ruido: R y OA



Aplico superposición para calcular el aporte a la salida de cada fuente:

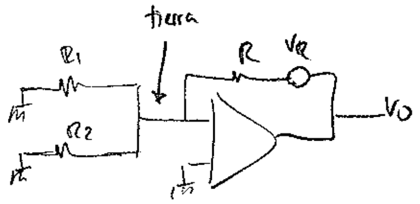
R_1)



por R_2 no circula corriente $\Rightarrow$ $V_o = \frac{-R}{R_1} V_{R1}$

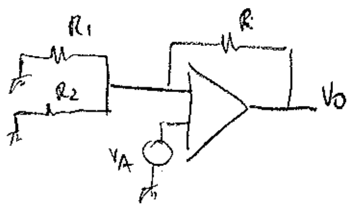
R_2) Idem R_1 $\Rightarrow$ $V_o = \frac{-R}{R_2} V_{R2}$

V_R)



no circula corriente por R_1 ni R_2 $\Rightarrow$ $V_o = V_R$

A)



$$V_o = \left(1 + \frac{R}{R_1 // R_2}\right) V_A$$

Los aportes se suman cuadráticamente: $V_o^2 = \left(\frac{R}{R_1}\right)^2 V_{R1}^2 + \left(\frac{R}{R_2}\right)^2 V_{R2}^2 + V_R^2 + \left(1 + \frac{R}{R_1 // R_2}\right)^2 V_A^2$

Para referirlo a la entrada debo dividir entre su respectiva ganancia.

$G_1 = \frac{V_o}{V_1}\Big|_{V_2=0} \Rightarrow G_1 = \frac{-R}{R_1}$

Problema 4 (cont)

V_{n1} = ruido equivalente a la entrada V_1 : $V_{n1}^2 = \frac{V_O^2}{G_1^2}$ =>

$$\Rightarrow V_{n1}^2 = \frac{\left(\frac{R}{R_1}\right)^2 V_{R1}^2 + \left(\frac{R}{R_2}\right)^2 V_{R2}^2 + V_R^2 + \left(1+\frac{R}{R_1\|R_2}\right)^2 V_A^2}{\left(R/R_1\right)^2} =$$

$$= V_{R1}^2 + \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 V_{R2}^2 + \left(\frac{R_1}{R}\right)^2 V_R^2 + \left(\frac{R_1}{R}\right)^2 \left(1+\frac{R}{R_1\|R_2}\right)^2 V_A^2 \quad \Bigg\} \Rightarrow$$

$V_{Ri}^2 = 4kTR_i B$, $V_A^2 = S_A . B$

$$\Rightarrow V_{n1}^2 = 4kTB\left[R_1 + R_2 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 + R\left(\frac{R_1}{R}\right)^2\right] + \left(\frac{R_1}{R\|R_1\|R_2}\right)^2 V_A^2$$

$$\boxed{V_{n1} = \sqrt{4kTR_1 . B\left[1+\frac{R_1}{R_2}+\frac{R_1}{R}\right] + S_A . B . \left(\frac{R_1}{R_1\|R_2\|R}\right)^2}}$$