

2^{do} Parcial de Electrónica 2
29/11/2006



Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

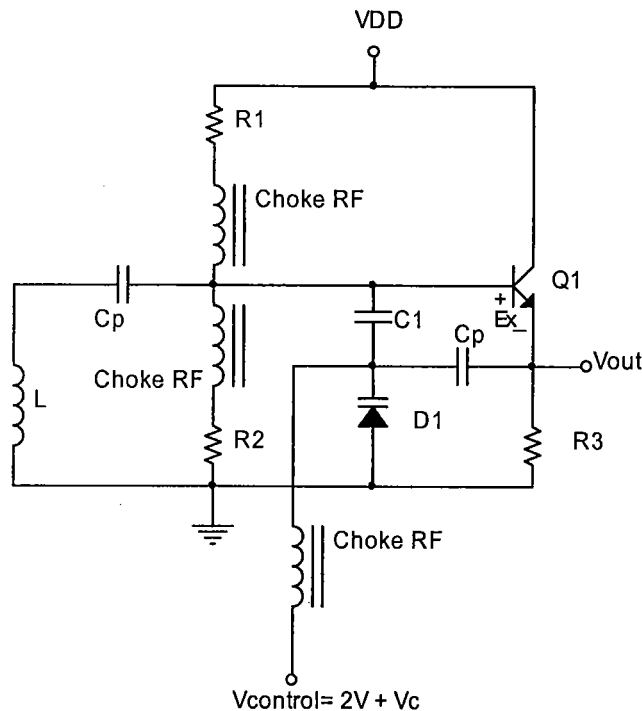
La prueba es **sin** material.

Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1 : (38 puntos)

- a) Para el oscilador de la Figura calcular frecuencia y condición de oscilación.
- b) Si la capacidad del varactor responde a la expresión $C_d = k_c / V_{control}^2$, donde $k_c = 50 \text{pF/V}^2$ y $C_1 = 4 \text{pF}$, obtenga el valor de L para que la frecuencia de oscilación sea 100MHz si $V_{control} = 2 \text{V}$ ($V_c = 0$).
- c) Si V_c varía entre 1 y -1 V calcular el rango de frecuencias de oscilación.
- d) Estando en la situación de la parte b), se desea que el oscilador opere con un $G_m / g_{mQ} = \alpha$, lo que corresponde a una amplitud de E_x igual a E_{x0} :
 - i) ¿cuánto debe valer la corriente I_{CQ} en función de α y E_{x0} ?
 - ii) ¿cuál es el valor de V_{out} de pico en función de α y E_{x0} ?

Datos: El β del transistor se podrá considerar muy grande, los condensadores C_p se podrán considerar infinitos. Se supondrá que los inductores Choke RF presentan una impedancia infinita para toda frecuencia > 0 .



Problema 2: (38 puntos)

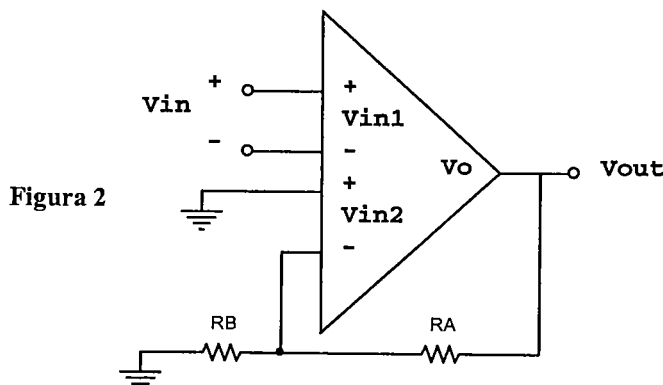
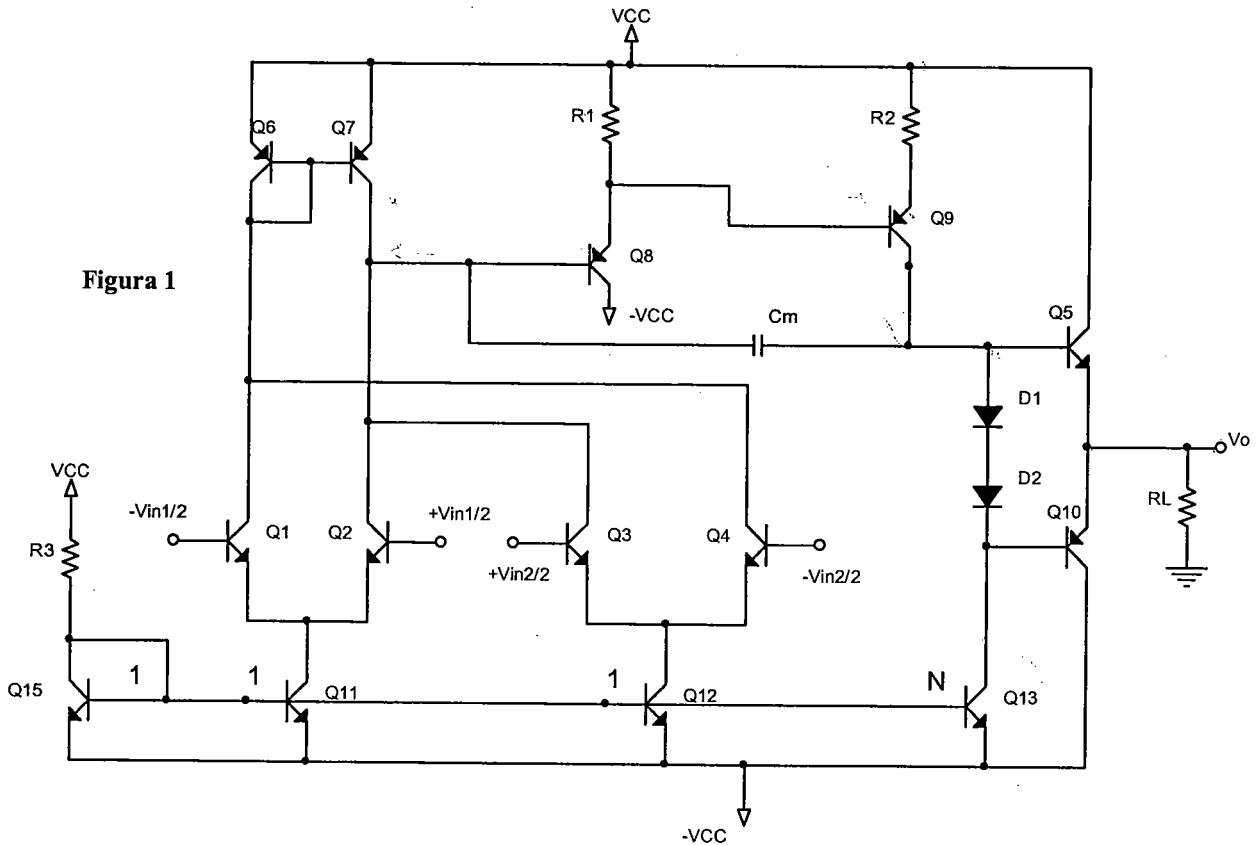
- a) En el circuito de la Figura 1, determine la corriente de polarización de todos los transistores (excepto Q5 y Q10) y el valor de N (entero) para que el amplificador tenga una excursión a la salida (+VCC-2V, -VCC+2V).
- b) Calcule la ganancia en baja frecuencia desde cada entrada suponiendo la otra entrada sin señal.
- c) Calcule el producto ganancia por ancho de banda desde cada entrada.
- d) Determine la transferencia $V_o=f(V_{in1}, V_{in2})$.
- e) En el circuito de la Figura 2, determine la transferencia V_{out}/V_{in} . ¿Cuál es el ancho de banda del amplificador realimentado?

Datos:

Todos los transistores tienen $\beta=100$, excepto Q5 y Q10 que tienen $\beta=20$.

La tensión de Early (V_A) se puede considerar infinita y la tensión $V_{CEsat}=0$ en todos los transistores.

$V_{BE}=|V_{EB}|=V_D=0.7$ V, $R_L=1k\Omega$, $R_1=500\Omega$, $R_2=100\Omega$, $R_3=120k\Omega$, $R_A=9k\Omega$, $R_B=1k\Omega$, $C_m=5pF$, $V_{CC}=10V$



Problema 3: (24 puntos)

En el circuito de la Figura 1,

- a) Calcular el ruido total rms a la salida del filtro ¿Qué valor rms tiene que tener la señal V_i sinusoidal en la banda pasante del circuito si se desea tener una relación señal a ruido a la salida del mismo de 40dB?

Al circuito anterior se le agrega en la Figura 2 un preamplificador de ganancia 10, ancho de banda que se supondrá infinito y densidad espectral equivalente de ruido a la entrada de $7 \times 10^{-17} \text{ V}^2/\text{Hz}$.

- b) Calcular el ruido total rms a la salida del filtro, teniendo en cuenta el ruido del amplificador y de las resistencias. ¿Qué valor rms tiene que tener la señal V_i sinusoidal en la banda pasante del circuito si se desea tener una relación señal a ruido a la salida del mismo de 40dB?

Dato: $kT @ 290^\circ\text{K} = 4 \times 10^{-21} \text{ W.s}$

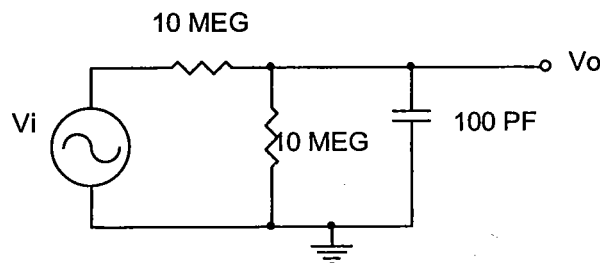


Figura 1

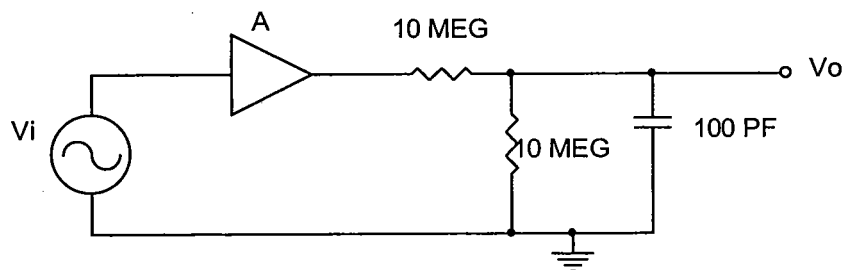
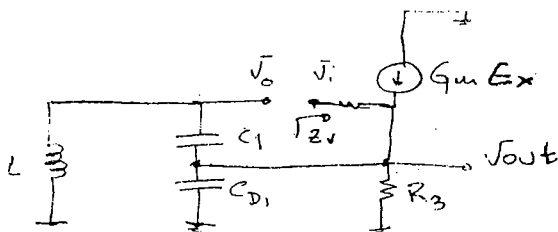


Figura 2

Problema 1

Polarización: $V_{BB} = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

Estudio en circuito abierto:



Z_v : la considero como los efectos del cálculo.

$E_x = V_i - V_{out}$

$V_o = V_{out} \cdot \frac{Z_L}{Z_L + Z_{C1}} = V_{out} \cdot \frac{sL}{sL + 1/sC_1} = \frac{s^2 LC_1}{s^2 LC_1 + 1}$

$g_m E_x = (R_3 \parallel Z_{C_{D1}} \parallel (Z_{C_1} + Z_L))^{-1} V_{out}$
 $= \left(\frac{1}{R_3} + sC_{D1} + \frac{sC_1}{LC_1 s^2 + 1} \right) \cdot V_{out}$ (1)

$g_m V_i = \left[g_m + \left(\frac{1}{R_3} + sC_{D1} + \frac{sC_1}{LC_1 s^2 + 1} \right) \right] \cdot \frac{s^2 LC_1 + 1}{s^2 LC_1} \cdot V_o$

$\left(\frac{V_o}{V_i} \right)^{-1} = \left[g_m + \frac{1}{R_3} + s \left(\frac{C_{D1} C_1 L s^2 + C_{D1} + C_1}{LC_1 s^2 + 1} \right) \right] \cdot \frac{s^2 LC_1 + 1}{s^2 LC_1 g_m}$

$\text{Im}(V_o/V_i) = 0 \Leftrightarrow -C_{D1} C_1 L \omega^2 + C_{D1} + C_1 = 0$

$\omega_{res} = \sqrt{\frac{C_{D1} + C_1}{C_{D1} C_1 L}}$

Cond. de oscilación:

$$\operatorname{Re}(U_o/U_i) = 1:$$

$$\frac{C_1}{C_{D1} + C_1}$$

$$\left(G_m + \frac{1}{R_3}\right) \cdot \frac{1}{G_m} \cdot \left(1 - \frac{C_{D1}}{C_{D1} + C_1}\right) = 1$$

$$\left(1 + \frac{1}{R_3 \cdot G_m}\right) \cdot \left(\frac{C_1}{C_{D1} + C_1}\right) = 1 \Rightarrow$$

$$\boxed{R_3 G_m = \frac{C_1}{C_{D1}}}$$

b)

$$C_{D1} = \frac{K_c}{V_{out}^2}$$

$$K_c = 50 \mu F / V^2$$

$$V_{out} = 2V$$

$$\omega_{res}^2 = \frac{C_{D1} + C_1}{C_{D1} C_1 L} \Rightarrow L = \frac{C_{D1} + C_1}{C_{D1} C_1 \cdot \omega_{res}^2} = 0,84 \mu H$$

$$c) \quad \omega_{res} = \sqrt{\frac{C_{D1} + C_1}{C_{D1} C_1 L}}$$

$$\text{Para } V_c = 1: \quad f_{res_1} = 119 \text{ MHz}$$

$$V_c = -1: \quad f_{res_2} = 90 \text{ MHz}$$

d) i) De la condición de oscilación: $G_m R_3 = C_1 / C_{D1} = 0,32$

$$\text{Entonces } g_{mca} = G_m / \alpha = \frac{0,32}{\alpha R_3} \Rightarrow I_{CQ} = g_{mca} V_t = \frac{0,32 V_t}{\alpha R_3}$$

ii) La Z_{int} desde la fuente de corriente cuando el circuito está oscilando es: $Z_{int} = R_3$

$$\text{Entonces } V_{out} = R_3 \cdot G_m E_n = \frac{C_1}{C_{D1}} \cdot E_n \Rightarrow 0,32 \cdot E_n = V_{out}$$

R. Hall

Problema 2

a)

$$I_{bias} = \frac{V_{cc} - (V_{cc} - V_{cc})}{R_3} = \frac{2V_{cc} - V_{be}}{R_3} = 160 \mu A$$

$$I_{Q1} = I_{Q2} = I_{bias} / 2$$

$$I_{Q3} = I_{Q4} = I_{bias} / 2$$

$$I_{Q6} = I_{bias}$$

$$I_{Q7} = I_{bias}$$

$$I_{Q8} = N \cdot I_{bias} \Rightarrow$$

$$I_{QP} \approx N I_{bias} \Rightarrow V_{BBQP} = V_{cc} - R_2 I_{QP} - V_{be}$$

($I_{Q2}/\beta \ll I_{QP}$ - suposición)

$$I_{Q8} = \frac{V_{cc} - V_{BBQP}}{R_1} = \frac{V_{cc} - V_{cc} + R_2 \cdot N I_{bias} + V_{be}}{R_1}$$

$$I_{Q8} = \frac{N R_2 I_{bias} + V_{be}}{R_1} = 1,5 \text{ mA}$$

Limitación por excursión. Para $v_o = V_{cc}$ la corriente de la carga V_{cc} a través de Q_9 . Para $v_o = -V_{cc}$ la corriente de la carga al transistor

$$Q_B \Rightarrow I_{Q9} = \frac{I_L}{\beta_{Q10}}$$

$$\text{Además: } I_L \cdot R_L \gg V_{cc}$$

$$I_{C13} \gg \frac{N I_{bias}}{\beta_{Q10} \cdot R_L}$$

$$N \gg \frac{V_{cc}}{\beta_{Q10} \cdot R_L \cdot I_{bias}} = 2,5$$

$$\hookrightarrow \boxed{N=3}$$

$$\rightarrow I_{QP} = 480 \mu A$$

$$g_{m1} = \frac{I_{Q1}}{2V_T} = 3,1 \text{ mS}$$

$$\rightarrow r_{\pi 1} = 32,5 \text{ k}\Omega$$

$$g_{m8} = \frac{I_{Q8}}{V_T} = 58 \text{ mS}$$

$$\rightarrow r_{\pi 8} = 1,7 \text{ k}\Omega$$

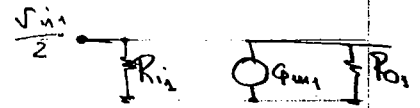
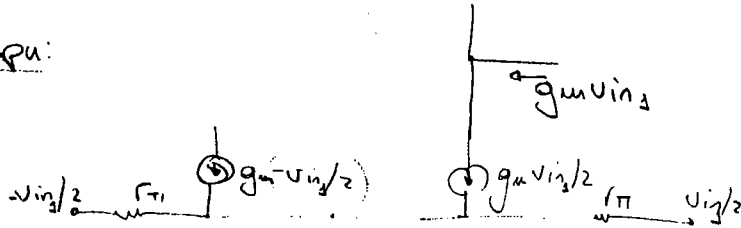
$$g_{m9} = \frac{I_{Q9}}{V_T} = 18,4 \text{ mS}$$

$$\rightarrow r_{\pi 9} = 5,5 \text{ k}\Omega$$

b)

$V_{in1} : (V_{in2} = 0)$

Primera etapa:



$(g_{m1} = g_{m2} = g_{m3} = g_{m4} = g_m)$

$\Rightarrow G_{m1} = g_{m1}$

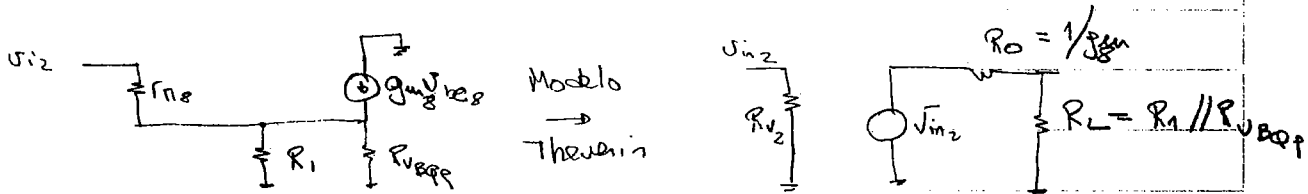
$R_{i1} = r_{\pi 1}$

$R_{o1} = r_{o2} \parallel r_{o2} = \left(\frac{I_{D1}/2}{V_A} + \frac{I_{D1}/2}{V_A} \right)^{-1} = \frac{2 V_A}{3 I_{D1/2}} = \infty$

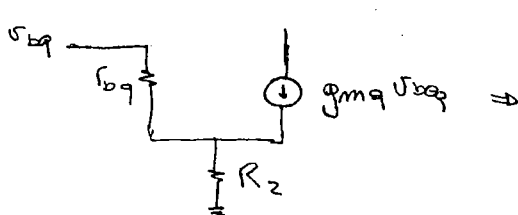
Segunda etapa:

$R_v = r_{\pi} + \beta R_{EQS}$

$R_{EQS} = R_1 \parallel R_{vBQP} = R_1 \parallel (r_{\pi 1} + \beta R_2)$ $R_{i2} = r_{\pi 2} + \beta [R_1 \parallel r_{\pi 1} + \beta R_2]$
 $R_{i2} = 59,9 K \Omega$



$V_{op} = \frac{R_{EQS}}{1/g_{m3} + R_1 \parallel R_{vBQP}} V_{in2} \approx V_{in2} \quad (1/g_{m3} \ll R_{EQS})$



$V_{beq} = \frac{r_{\pi 3}}{r_{\pi 3} + \beta R_2} \cdot V_{op}$

$I_{o2} = \frac{r_{\pi 3}}{r_{\pi 3} + \beta R_2} \cdot g_{m3} \cdot V_{in2} = \frac{\beta}{r_{\pi 3} + \beta R_2} \cdot V_{in2}$

$G_{m2} = 6,4 mS$

$R_{o2} = r_{o3} = \frac{V_A}{I_{QP}} = \infty$

Handwritten signature or mark

Etapas de Salida: (incluye R_L e el eq. Thévenin)

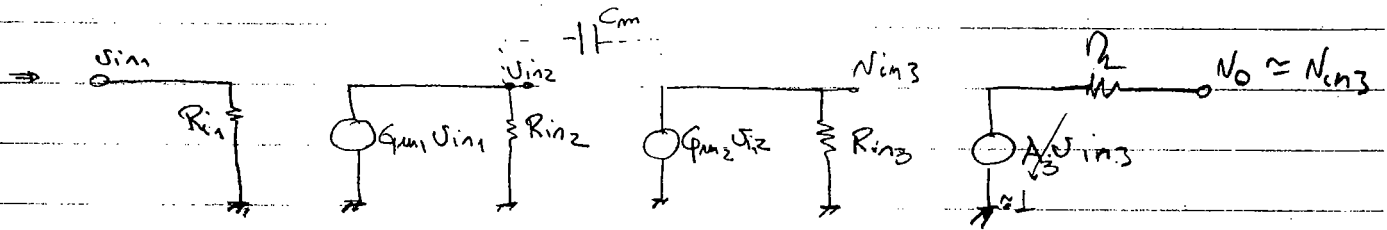
$R_{ms} \approx \beta_s \cdot R_L = 20k$ (ASUMO $g_{m3} R_L \gg 1$, Aproximación usual)

(Para verificación para cualquier nivel de señal
libres que usen el g_{m3} & eq. señal)

Como ASUMO: $g_{m3} R_L \gg 1 \Rightarrow N_o \approx N_{i3}$ calculado con $I_{cs} @ N_{i3}$

$R_o = R_L \parallel R_{E3S} \approx R_L$

$R_{E3S} = \frac{1}{g_{m3}} + \frac{R_{D3S}}{\beta}$, $R_{D3S} \approx r_{o3} \parallel r_{o3} \rightarrow \infty$



$G_s = \frac{155}{g_{m1} \cdot R_{i2}} \cdot \frac{128}{g_{m2} \cdot R_{i3}} = 18840 \Rightarrow G_{s,dB} = 86dB$

La ganancia desde la entrada v_{in2} vale igual que G_s .

c) $f_T = \frac{1}{2\pi \cdot C_m} \cdot g_{m1} = 9.8MHz$, $\omega_T = 6.16 Mrad/s$

d) $V_o = \frac{G_1}{1 + sG_1/\omega_T} (V_1 + V_2) = G_{ol}(s) (N_1 + N_2)$
 $\beta_f = \text{res}(linea \text{ de } \omega_T)$

e) $N_2 = -\frac{R_B}{R_A + R_B} N_o \Rightarrow N_o = G_{ol}(s) (N_1 - \frac{R_B}{R_A + R_B} N_o)$

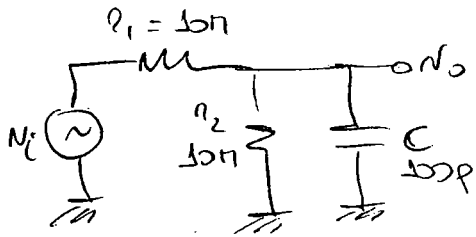
$\Rightarrow N_o (1 + G_{ol}(s) \beta_f) = G_{ol}(s) N_1$

$\Rightarrow \frac{N_o}{N_1} = \frac{G_{ol}(s)}{1 + G_{ol}(s) \beta_f} \approx \frac{1/\beta_f}{1 + \frac{s}{\beta_f \omega_T}} \rightarrow \left\{ \begin{aligned} G_{cl} &= 1 + \frac{R_B}{R_A} = 10 \text{ V/V} \\ f_{3dB} &= \frac{f_T}{1 + \frac{R_B}{R_A}} = 9.8Hz \end{aligned} \right.$

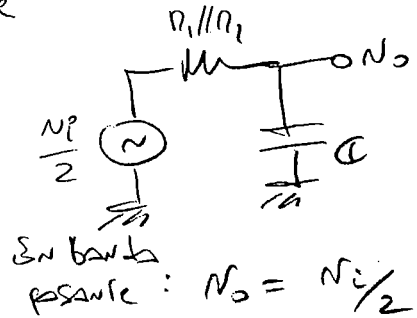
Problema (3)

a)

Filtros:



equivalente
Thevenin



Densidad
Espectral
de ruido k
w r's

$$\rightarrow S_R = 4kT R_1 || R_2$$

$$\Rightarrow \overline{N_{om}^2} = S_R B \Delta \omega^2 = \frac{4kT}{C}$$

↳ GANANCIA
Z banda pasante = 1
↳ Ancho de banda
de ruido equivalente: $\frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{2\pi R_1 || R_2 C}$

$$\Rightarrow \overline{N_{omrms}} = 6,32 \mu V_{rms}$$

$SNR = \frac{N_{orms}}{N_{omrms}}$ → señal a b salida
→ ruido a b salida

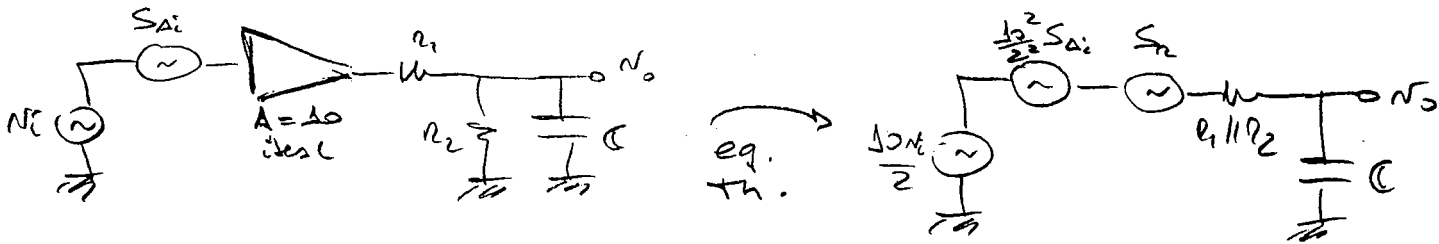
$$SNR \leq 40dB = 100 \frac{V_{rms}}{V_{rms}}$$

$$N_{orms} \leq 100 \times N_{omrms}, \quad N_{orms} \leq 200 \cdot N_{omrms}$$

$$\overline{N_{orrms}} = 1,26 mV_{rms}$$

Problems (3)

(b) Filter + Preamp:



$$\overline{N_{on}^2} = \frac{kT}{C} + \frac{10^2}{2^2} S_{Ai} \frac{\pi}{2} \int_{3dB} = \overline{N_{onR}^2} + \overline{N_{onS}^2}$$

$$f_{3dB} = \frac{1}{2\pi r_1 || r_2 C} = 318 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow \boxed{\overline{N_{onRMS}} = 6.39 \mu\text{V}_{RMS}}$$

$$\text{SNR} \leq 40 \text{ dB} \Rightarrow \frac{10}{2} \overline{N_{onRMS}} \leq 100 \times \overline{N_{onRMS}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\overline{N_{inRMS}} = 128 \mu\text{V}_{RMS}}$$