

**EXAMEN DE ELECTRONICA 1**  
27/02/08

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

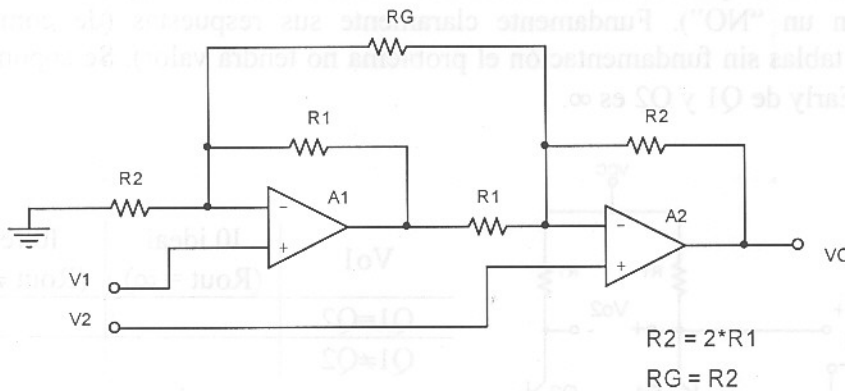
La prueba es **sin** material.

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

**PROBLEMA 1 (40 puntos)**

En el amplificador de instrumentación de la figura:

- Calcular la ganancia suponiendo que los amplificadores operacionales son ideales.
- Determinar el rango admisible de señal en modo común en las entradas (V1,V2), si los operacionales tienen rango de modo común entre [-3V,+3V] y excursión de salida entre [-4V,+4V]. Indicar claramente, para el límite superior y para el límite inferior del rango de modo común hallado, por quién está impuesto (qué factor y de qué operacional).
- Determinar en el peor caso, el máximo valor de la tensión continua a la salida si cada operacional tiene una tensión de offset máxima  $V_{offset}$  y las corrientes de polarización se consideran despreciables.
- Si  $R_G$  es infinito y si ambos amplificadores operacionales tienen igual producto de ganancia por ancho de banda  $fT$ . ¿Qué operacional limita el ancho de banda de todo el amplificador de instrumentación y cuanto vale el ancho de banda de la etapa implementada por este operacional?
- Para el caso  $R_G$  infinito se desea evaluar el efecto de desaparición de las resistencias de la segunda etapa. Si las resistencias de la primera etapa valen  $R1 = R11$  y  $R2 = R21$  con  $R21 = 2 * R11$  y las de la segunda etapa valen  $R1 = R12 = (1+x) * R11$  y  $R2 = R22 = (1-x) * R21$ , determinar la ganancia en modo común del circuito.

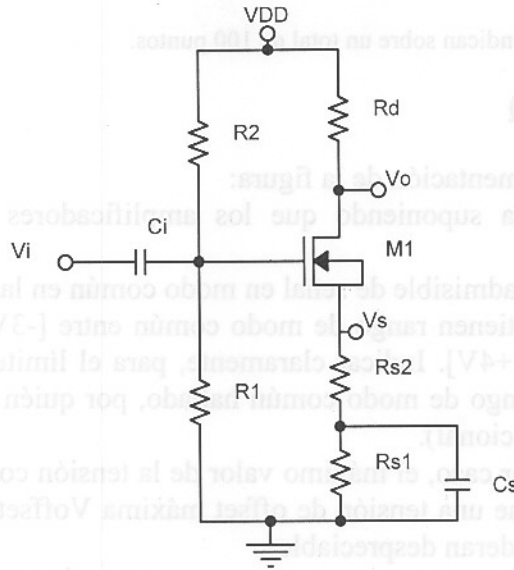


**PROBLEMA 2 (40 puntos)**

Para el amplificador de la figura calcular:

- Las Ganancias a frecuencias medias  $v_o/v_i$  y  $v_s/v_i$ .
- Excursión a la salida
- Frecuencia de corte inferior

VDD = 9V, R1 = 100k, R2 = 200k, Rs1 = 900Ω, Rs2 = 100Ω, Rd = 4.7k, Cs = 220nF, Ci = 4.7 μF.  
 M1: Vt0 = 1V, β = 2 mA/V<sup>2</sup>, δ = 0, VA = ∞



**PREGUNTA (20 ptos)**

El par diferencial de la Figura 1 amplifica la señal de salida de un sensor representada por Vsensor. Entre la tierra del par diferencial y la tierra del sensor hay un ruido representado en la Figura 1 como Vruido. Para evitar amplificar la señal de ruido se utiliza la configuración que se muestra. Se desea analizar la influencia del apareo de los transistores Q1 y Q2 y de la resistencia de salida Rout de la fuente de corriente I0 en la anulación de la señal de ruido. La salida del par diferencial se puede ver en forma "single-ended" en Vo1 o en forma diferencial en Vo2. Indique en las dos tablas que se muestran los casos en que la señal de ruido es anulada (con un "SI") y los casos en que no lo es (con un "NO"). Fundamente claramente sus respuestas (de completarse solamente las tablas sin fundamentación el problema no tendrá valor). Se supondrá que la tensión de Early de Q1 y Q2 es ∞.

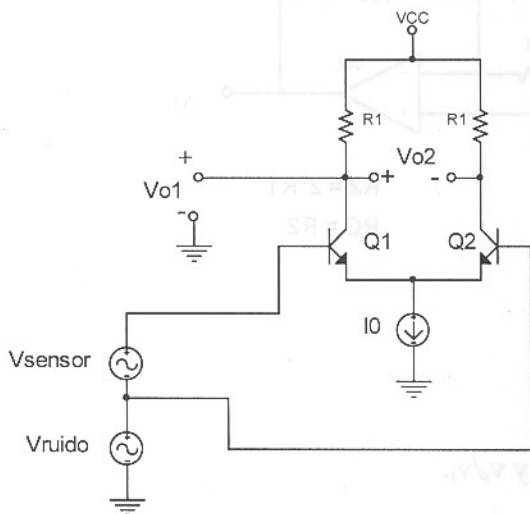
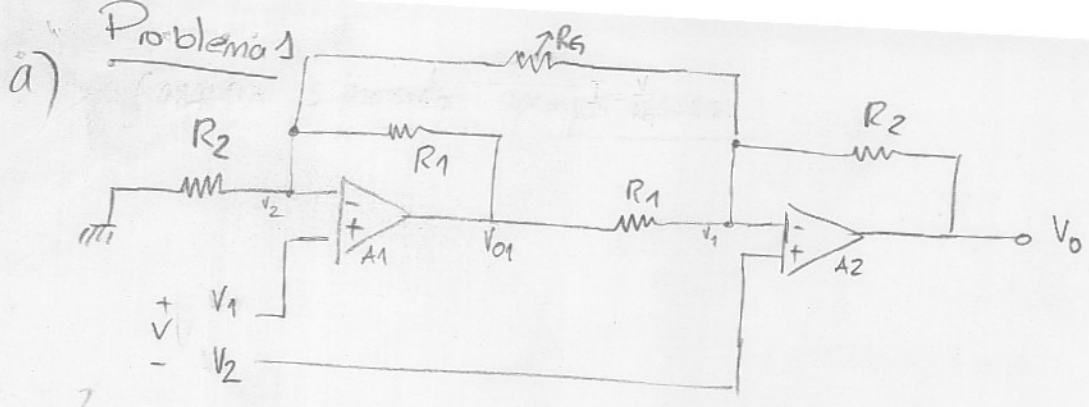


Figura 1

Vo1	I0 ideal (Rout = ∞)	I0 real (Rout ≠ ∞)
Q1≡Q2		
Q1≠Q2		

Vo2	I0 ideal (Rout = ∞)	I0 real (Rout ≠ ∞)
Q1≡Q2		
Q1≠Q2		



Calcular  $V_0$  por superposición:

•  $V_2 = 0$

$$\left. \begin{aligned}
 -\frac{V_1}{R_2} &= \frac{V_1}{R_G} + \frac{V_2 - V_{01}}{R_1} \Rightarrow V_{01} = R_1 \frac{V_2}{R_G} + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_1 \\
 \frac{V_{01}}{R_1} + \frac{V_1}{R_G} &= \frac{-V_0}{R_2} \Rightarrow V_0 = -R_2 \frac{V_1}{R_G} - \frac{R_2}{R_1} V_{01}
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_0 = -2R_2 \frac{V_1}{R_G} - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_1$$

•  $V_1 = 0$

$$\left. \begin{aligned}
 -\frac{V_2}{R_G} &= \frac{V_{01}}{R_1} \Rightarrow V_{01} = -R_1 \frac{V_2}{R_G} \\
 \frac{V_{01} - V_2}{R_1} - \frac{V_2}{R_G} &= \frac{V_2 - V_0}{R_2}
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow 2 \frac{V_2}{R_G} R_2 + \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right) V_2 = V_0$$

•  $V_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)(V_2 - V_1) + \frac{2R_2}{R_G}(V_2 - V_1) \Rightarrow \boxed{V_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{2R_2}{R_G}\right)(V_2 - V_1)}$

$R_2 = 2R_1$   
 $R_G = R_2$  }  $\Rightarrow V_0 = (1 + 2 + 2)(V_2 - V_1) \Rightarrow \boxed{V_0 = 5(V_2 - V_1)}$

b)  $V_1 = V_2 = V_{cm} \Rightarrow$  La corriente por la realimentación es cero  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  esa rama no la considero y quedan 2 amplificadores  
 en cascada (sin realimentación):

A1: ICMR  $\rightarrow |V_{cm}| < 3V$

OSW  $\rightarrow |V_{o1}| = \left|1 + \frac{R_1}{R_2}\right| \cdot |V_{cm}| = 1,5 V_{cm} < 4V \Rightarrow \underline{\underline{|V_{o1}| < 2,67V}}$

A2: ICMR  $\rightarrow |V_{cm}| < 3V$

OSW  $\rightarrow |V_o| = 5 |V_2 - V_1| = 0 < 4V$

$\Rightarrow$  La condición más restrictiva la impone A1 con la  
 excursión a la salida (OSW)

c) Para considerar el peor caso. tomamos  $V_{off}^{A_1} = V_{offset}$  y  $V_{off}^{A_2} = -V_{offset}$

Entonces  $(V_1 - V_2) = 2V_{offset}$

$\Rightarrow V_{out}|_{\text{máx}} = 5 \cdot 2 V_{offset} = \underline{\underline{10 V_{offset}}}$

Entonces como se condiciona que  $V_{o1}$  (amplitud de la salida

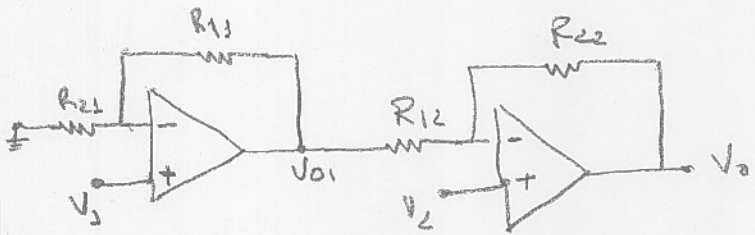
del op-amp) es aprox. cero.

d) Si  $R_9 = \infty$  quedan los amps en cascada (sin realimentación)  
 Limita  $A_2$  pues es amplificador con mayor ganancia a DC

$$A_1: f_{3dB} = \frac{f_T}{1 + R_1/R_2} = \frac{f_T}{1.5}$$

$$A_2: f_{3dB} = \frac{f_T}{1 + R_2/R_1} = \frac{f_T}{3} \Rightarrow \text{limita el ancho de banda del amplificador de instrumentación}$$

e)



$$V_{01} = \left(1 + \frac{R_{11}}{R_{21}}\right) V_c$$

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_{22}}{R_{12}}\right) V_c - \frac{R_{22}}{R_{12}} V_{01}$$

$$= \left(1 + \frac{R_{22}}{R_{12}}\right) V_c - \frac{R_{22}}{R_{12}} \left(1 + \frac{R_{11}}{R_{21}}\right) V_c$$

$$= V_c - \frac{R_{22} \cdot R_{11}}{R_{12} \cdot R_{21}} V_c = V_c \left(1 - \frac{R_{22} \cdot R_{11}}{R_{12} \cdot R_{21}}\right)^{1/2}$$

$$R_{22} = (1-x) R_{21}$$

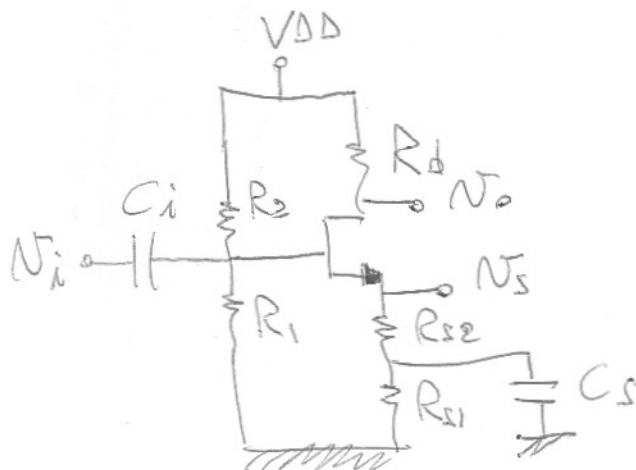
$$R_{12} = (1+x) R_{11}$$

$$\left. \begin{array}{l} R_{22} = (1-x) R_{21} \\ R_{12} = (1+x) R_{11} \end{array} \right\} V_0 = V_c \left(1 - \frac{(1-x)}{(1+x)}\right)$$

$$V_0 = V_c \cdot \frac{2x}{1+x}$$

## Problema 2

a) Polarización



$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

$$V_G = V_{GS} + (R_{S1} + R_{S2}) I_D$$

$$I_D = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_{th})^2 \Rightarrow V_G = V_{GS} + (R_{S1} + R_{S2}) \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_{th})^2$$

$\Rightarrow$  Desarrollando y resolviendo la ecuación de 2º orden en  $V_{GS}$  da  $V_{GS} = 2V$

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S} \Rightarrow I_D = 1 \text{ mA} \Rightarrow g_m = \sqrt{2\beta I_D} = 2 \text{ mA/V}^2$$

El modelo en pequeña señal es:



$$N_{in} = N_{gs} + R_{S2} g_m N_{gs} \Rightarrow N_{gs} = \frac{N_{in}}{1 + R_{S2} g_m}$$

$$N_o = -g_m N_{gs} \cdot R_d = \frac{-g_m R_d}{1 + R_{S2} g_m} N_{in} \Rightarrow \boxed{\frac{N_o}{N_{in}} = \frac{-g_m R_d}{1 + g_m R_{S2}}}$$

$$N_s = g_m N_{gs} R_{S2} \Rightarrow \boxed{\frac{N_s}{N_{in}} = \frac{g_m R_{S2}}{1 + g_m R_{S2}}} \Rightarrow \boxed{\begin{array}{l} N_o/N_{in} = -7,83 \\ N_s/N_{in} = 0,17 \end{array}}$$

## b) Excursión

Tengo que ver si me limite  $V_{DD}$  o la saturación del transistor (corte)

$$\underline{V_{DD}} \quad V_{opp1} = 2(V_{DD} - V_{\Delta}) = 2R_D I_D = 9,4V$$

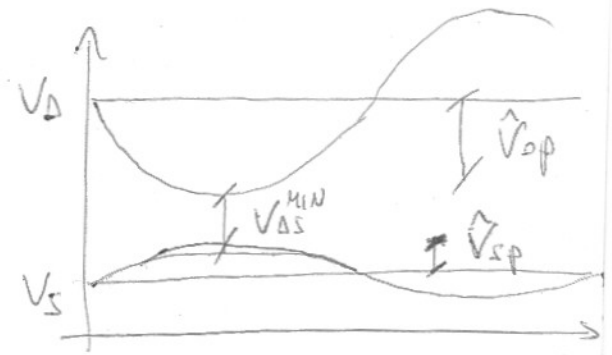
### Saturación del transistor

Para que el transistor se mantenga saturado debo verificar que  $V_{DS} > V_{DSsat} = V_{GS} - V_{th}$

$$V_{DS}^{MIN} = (V_D - \hat{V}_{op2}) - (V_S + \hat{V}_{sp2})$$

$$\hat{V}_{sp} = \hat{V}_{ip} \left( \frac{N_A}{N_{in}} \right)$$

$$\hat{V}_{ip} = \frac{\hat{V}_{op2}}{N_o/N_{in}} \Rightarrow \hat{V}_{sp} = \frac{(N_A/N_{in})}{(N_o/N_{in})} \cdot \hat{V}_{op2}$$



$$V_{DS}^{MIN} = (V_D - \hat{V}_{op2}) - V_S + \frac{(N_s/N_{in})}{(N_o/N_{in})} \hat{V}_{op2} \Rightarrow V_{opp2} = 2V_{op2} = 9,7V$$

$$\Rightarrow V_{opp} = \text{MIN}\{V_{opp1}; V_{opp2}\} = 9,7V$$

$$\Rightarrow \boxed{\text{Excursión } V_{opp} = 9,7V}$$

$$c) f_{pm} = \frac{1}{2\pi C_i R_{i1} R_{i2}} = 0,5 \text{ Hz}$$

Para calcular el polo que introduce  $C_s$  debo calcular la  $R_{Vista}$  por  $C_s$ . \*

$$R_{Vista} = (R_{s1} \parallel R_{s2} + 1/g_m) \Rightarrow f_{ps} = \frac{1}{2\pi C_s (R_{s1} \parallel R_{s2} + 1/g_m)}$$

$$\Rightarrow f_{ps} = \cancel{0,4 \text{ Hz}} \approx 2 \text{ kHz}$$

$\Rightarrow$  el polo dominante es el introducido por  $C_s$

$$\Rightarrow \cancel{f_{c_{ab}} = 0,4 \text{ Hz}}$$

$$f_{-3dB} = 2 \text{ kHz}$$

\* Se obtendría el mismo resultado sustituyendo en la ecuación  $\frac{-g_m R_d}{1 + g_m R_{s2}}$ ,  $R_{s2}$  por  $R_{s2} + (R_{s1} \parallel 1/C_s \Delta)$