

## EXAMEN DE ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL

Resolver cada **problema en hojas separadas** y **escribiendo de un solo lado de la hoja**.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

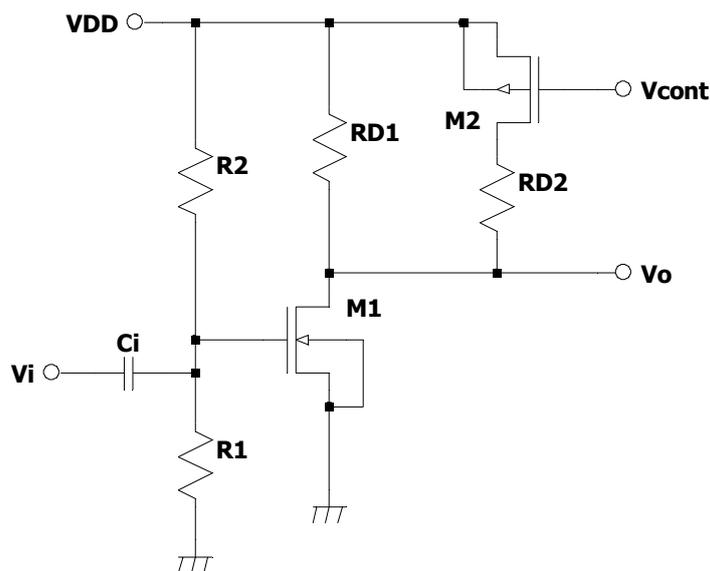
En todas las partes se deberá fundamentar claramente la deducción que conduce al resultado para que el mismo sea considerado.

La prueba es **sin** material.

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

### PROBLEMA 1 (40 puntos)

El circuito de la figura busca implementar un amplificador de ganancia variable que se controla con la señal  $V_{cont}$  que varía entre 0 y  $V_{DD}$ .



a) Determinar cuánto tiene que valer  $W/L$  del transistor  $M2$  para que la resistencia que inserta  $M2$  en serie con  $RD2$  sea 100 veces menor que  $RD2$ , y pueda considerarse despreciable frente a esta, así como la caída de tensión que  $M2$  introduce en serie con  $RD2$ .

Para lo que sigue del ejercicio, asumir que  $W/L$  del transistor  $M2$  es el calculado en la parte a).

b) Hallar la corriente dc por  $M1$ .

c) Hallar la ganancia a frecuencias medias  $v_o/v_i$  cuando  $V_{cont} = 0$  y cuando  $V_{cont} = V_{DD}$ .

d) Determinar  $C_i$  para que la frecuencia de corte inferior sea 100 Hz.

e) Hallar la excursión de salida cuando  $V_{cont} = V_{DD}$ .

#### Datos:

$$V_{DD} = 5 \text{ V}$$

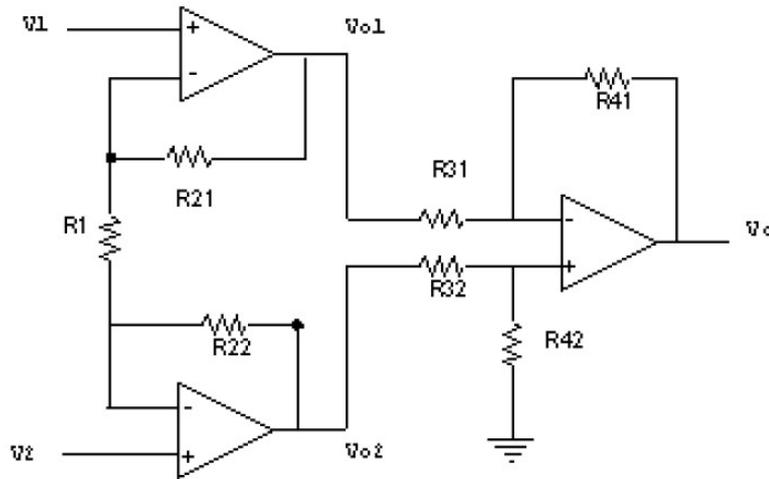
$$R1 = 10 \text{ k}\Omega, R2 = 15 \text{ k}\Omega, RD1 = 10 \text{ k}\Omega, RD2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$M1: \beta = 500 \mu\text{A/V}^2, V_{t0} = 1 \text{ V}, \delta = 0.3, V_A = 10 \text{ V}$$

$$M2: \mu C_{ox} = 36 \mu\text{A/V}^2, V_{t0} = -1 \text{ V}, \delta = 0.3, V_A = \infty$$

**PROBLEMA 2 (40 puntos)**

En el amplificador de instrumentación de la figura los operacionales están alimentados entre  $\pm 5$  V.



a) Los amplificadores operacionales son los tres del mismo modelo y se supondrán ideales excepto que su rango de entrada en modo común es  $[-3.7$  V,  $+ 4.3$  V] y su excursión de salida  $[-4.6$  V,  $+ 4.8$  V].

i) Si en las entradas  $v_2$ ,  $v_1$  se tiene solamente una componente en modo común  $v_c$  que es sinusoidal con nivel de continua nulo, ¿cuánto valen  $v_{o1}$ ,  $v_{o2}$  y  $v_o$  en función de  $v_c$ ? ¿Cuál es la máxima amplitud que puede tener esta senoide para que el circuito funcione correctamente?

ii) Si en las entradas  $v_2$ ,  $v_1$  se tiene solamente una componente diferencial  $v_d$  que es sinusoidal con nivel de continua nulo, ¿cuánto valen  $v_{o1}$ ,  $v_{o2}$  y  $v_o$  en función de  $v_d$ ? ¿Cuál es la máxima amplitud que puede tener la senoide en  $v_d$  para que el circuito funcione correctamente?. Si la señal  $v_d$  tiene frecuencia 10 kHz, ¿qué condición debe cumplir el slew rate del modelo elegido de amplificador operacional para que el circuito opere sin distorsión en estas condiciones?

b) Se considera ahora el caso en que, debido a no idealidades de sus componentes (desapareo de resistencias que idealmente son iguales), el amplificador de instrumentación de la figura tiene una relación de rechazo al modo común que vale  $\text{CMRR}_{\text{tot}} = 56$  dB. Se supondrá que la ganancia diferencial del amplificador permanece incambiada respecto al caso ideal y que se tiene a la entrada una componente diferencial que se desea amplificar que tiene una amplitud de 1 mV. ¿cuál es la máxima amplitud de una interferencia, que aparece como una componente de modo común a la entrada, para que en la salida  $v_o$  la amplitud debida a la interferencia sea 10 veces menor que la amplitud debida a la señal diferencial que se desea amplificar?

c) Si los operacionales tienen tensión de offset máxima  $V_{\text{offsetmax}} = 3$  mV, ¿cuánto vale la máxima tensión dc que se puede tener en la salida  $v_o$  debido a este efecto?

Datos:

$R_1 = 10$  k,  $R_{21} = R_{22} = 100$  k,  $R_{31} = R_{32} = 10$  k,  $R_{41} = R_{42} = 50$  k

**PREGUNTA (20 puntos)**

Se tiene una juntura p-n de silicio en la que se sabe que, estando en circuito abierto, en las zonas neutras, fuera de la zona de cargas fijas, la concentración de portadores minoritarios es de  $2.1 \times 10^5$  portadores/cm<sup>3</sup> del lado n y de  $6.3 \times 10^5$  portadores/cm<sup>3</sup> del lado p. Esto ocurre a una temperatura en que la concentración de portadores en el silicio intrínseco  $n_i$  vale  $7.9 \times 10^{10}$  portadores/cm<sup>3</sup>.

En todos los casos fundamente la respuesta.

- a) Indicar qué dopaje se tiene en la zona p y en la zona n de la juntura.
- b) En esta juntura en circuito abierto, cuál es la relación entre el ancho de la zona de cargas fijas (o de vaciamiento) del lado p y el ancho de esta zona del lado n. Indicar de qué lado se tienen cargas positivas y de qué lado se tienen cargas negativas en la zona de cargas fijas.
- c) Si se aplica a esta juntura una tensión en inverso, indicar:
  - i) De qué lado se tiene que conectar el borne positivo de la fuente y de qué lado el borne negativo.
  - ii) Al aplicar esta tensión en inverso, indicar qué se espera que ocurra con el ancho total de la zona de cargas fijas y la capacidad asociada a esta zona (capacidad de “deplexión”), indicando para cada una de estas magnitudes si se espera que disminuyan, queden igual o aumenten respecto al caso de circuito abierto.

# ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL - EXAMEN JULIO 2024

## PROBLEMA

a) Si  $V_{cont} = V_{DD}$ ,  $M_2$  CORTADO. Si  $V_{cont} = 0$ ,  $M_2$  EN ZONA LINEAL.

$$R_{DS2} = \frac{1}{(\mu C_{ox})_p \left(\frac{W}{L}\right)_2 (V_{DD} - |V_{top1}|)} < \frac{R_{D2}}{100}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_2 > \frac{100}{(\mu C_{ox})_p R_{D2} (V_{DD} - |V_{top1}|)} \Rightarrow \boxed{\left(\frac{W}{L}\right)_2 > 69,4}$$

b)  $V_{G1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} = 2 \text{ V}$

$I_{D1} = \frac{\beta_n}{2(1+\delta_n)} (V_{G1} - V_{ton})^2 \Rightarrow \boxed{I_{D1} = 192 \mu\text{A}}$

$M_1$  SATURADO

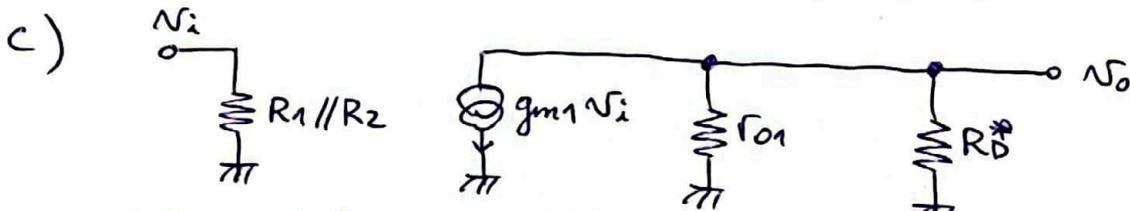
VERIFICO SATURACIÓN DE  $M_1$ :

\*  $V_{SB1} = 0 \text{ V}$

\*  $V_{P1} = \frac{V_{G1} - V_{ton}}{1 + \delta_n} = 769 \text{ mV}$

\*  $V_{DB1} = \begin{cases} V_{DD} - R_{D1} I_{D1} = 3,08 \text{ V} & \text{si } V_{cont} = V_{DD} \\ V_{DD} - (R_{D1} // R_{D2}) I_{D1} = 4,04 \text{ V} & \text{si } V_{cont} = 0 \end{cases}$

$\Rightarrow$  SE CUMPLEE  $\underbrace{V_{SB1} < V_{P1}}_{\text{NO CORTE}} \text{ Y } \underbrace{V_{DB1} > V_{P1}}_{\text{NO ZONA LINEAL}}$



$$R_D^* = \begin{cases} R_{D1} = 10 \text{ k}\Omega & \text{si } V_{cont} = V_{DD} \\ R_{D1} // R_{D2} = 5 \text{ k}\Omega & \text{si } V_{cont} = 0 \end{cases}$$

$$g_{m1} = \sqrt{\frac{2 I_{D1} \beta_n}{1 + \delta_n}} = 385 \mu\text{S}$$

$$r_{O1} = \frac{V_{An}}{I_{D1}} = 52 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{N_o}{N_i} = -g_{m1} (R_D^* // r_{O1}) \Rightarrow$$

$$\boxed{G = \begin{cases} -3,23 \text{ V/V} & \text{si } V_{cont} = V_{DD} \\ -1,75 \text{ V/V} & \text{si } V_{cont} = 0 \end{cases}}$$

d)  $\frac{N_o}{N_i} = \left(\frac{N_g}{N_i}\right) \left(\frac{N_o}{N_g}\right) = \left(\frac{\Delta}{\Delta + \frac{1}{(R_1 // R_2) C_i}}\right) G$

$$C_i = \frac{1}{2\pi (R_1 // R_2) (100 \text{ Hz})} \Rightarrow \boxed{C_i = 265 \text{ nF}}$$

## PROBLEMA

$$e) V_{cont} = V_{DD} \text{ (M}_2 \text{ CORTADO)} \Rightarrow \begin{cases} V_{G1} = 2 \text{ V} \\ V_{D1} = 3,08 \text{ V} \\ G = -3,23 \text{ V} \end{cases}$$

\* NO CORTE DE M<sub>1</sub>

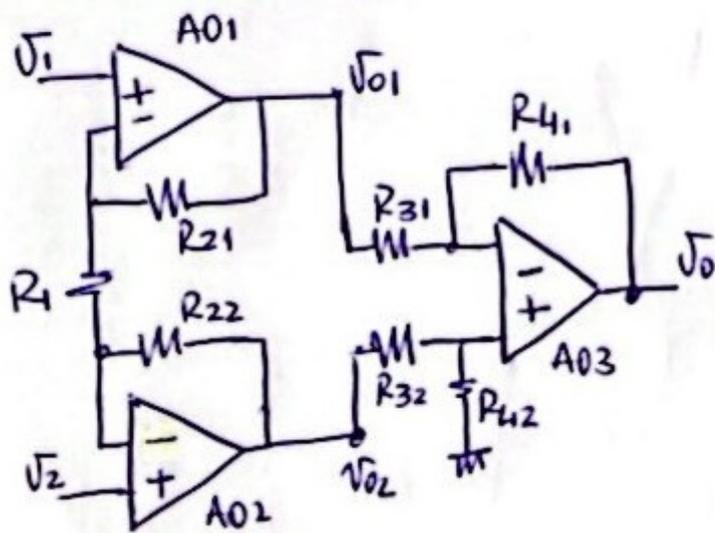
$$i_{D1} > 0 \Rightarrow \frac{V_{DD} - (V_{D1} + \hat{V}_{S0})}{R_{D1}} > 0 \Rightarrow \hat{V}_{S0} < V_{DD} - V_{D1} \\ \Rightarrow \hat{V}_{S0} < 1,92 \text{ V}$$

\* NO ZONA LINEAL DE M<sub>1</sub> ( $V_{DB1} > V_{PM}$ )

$$(V_{D1} - \hat{V}_{S0}) > \frac{(V_{G1} + \frac{\hat{V}_{S0}}{|G|}) - V_{ton}}{1 + \delta_n}$$

$$\Rightarrow \hat{V}_{S0} < \frac{V_{D1}(1 + \delta_n) - (V_{G1} - V_{ton})}{1 + \delta_n + \frac{1}{|G|}} \Rightarrow \boxed{\hat{V}_{S0} < 1,86 \text{ V}}$$

# Problem 2



(i)  $V_1 = V_2 = V_C$

x CC virtual  $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow V_{R1} = 0 \\ \rightarrow i_{R1} = 0 \\ \rightarrow i_{R21} = i_{R22} = 0 \\ \rightarrow V_{01} = V_{02} = V_C \end{array} \right.$

A03 en Amplificador Diferencial  $\rightarrow V_0 = \frac{R_{41}}{R_{31}} (V_{02} - V_{01}) = 0$

(ib):  $V_C(t) \in \begin{cases} \text{ICMR}_{(1,2)} \\ \text{OSW}_{(1,2)} \end{cases} \rightarrow \hat{V}_{Cmax} = |\text{ICMR}_{min}| = 3.7 \text{ V}$

(ii):  $\frac{V_d}{2} \rightarrow V_{02} \approx V_{02} = (2 \frac{R_{22}}{R_1} + 1) \frac{V_d}{2} \rightarrow V_{02} = (\frac{R_{22}}{R_1} + 1/2) V_d = 105 V_d$   
 x simetria  $\rightarrow V_{01} = -(\frac{R_{21}}{R_1} + 1/2) V_d = -105 V_d$   
 $\rightarrow V_0 = \frac{R_{41}}{R_{31}} (V_{02} - V_{01}) = (\frac{R_{41}}{R_{31}}) (210 V_d) = 105 V_d$

(iib): Mayor restricci3n para entrada diferencial es el OSW de A03  $\rightarrow \hat{V}_{0max} = 4.6 \text{ V} \rightarrow \hat{V}_{dmax} = \frac{\hat{V}_{0max}}{105} = 44 \text{ mV}$

(iic):  $SR_{min} = \frac{\partial V_0}{\partial t} \Big|_{max} = \hat{V}_{0max} \cdot 2\pi f = 290 \text{ kV/s}$  (limita SR de A03)

(b)  $URF_{dB} = 56 \text{ dB} \rightarrow UR_{RR} = 631 \text{ V/V} \rightarrow A_{cm} = A_d / CMRR = 166 \text{ mV/V}$   
 $V_0|_{V_d} = 105 \text{ mV} \rightarrow V_0|_{V_C} = 105 \text{ mV} \rightarrow V_0|_{V_C} = A_{cm} V_C \rightarrow V_C = \frac{V_0|_{V_C}}{A_{cm}} = 631 \text{ mV}$

(c) Peor caso  $\rightarrow V_{off_{A02}} = \pm V_{offset max}$   
 $V_{off_{A01}} = \mp V_{offset max}$   
 $V_{off_{A03}} = \pm V_{offset max}$   
  
 $V_0 = \pm 105 (2 V_{offset max}) \pm 6 V_{offset max}$   
 $\rightarrow V_0^{offset} = \pm 648 \text{ mV}$