

**EXAMEN DE ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL**  
**10/02/20**

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 la Figura, determinar:

- La corriente de drain de polarización de todos los transistores.
- La ganancia  $V_{out}/V_{in}$  a frecuencias medias.
- La resistencia de entrada del amplificador a frecuencias medias.
- La capacidad  $C$  para que la frecuencia de corte inferior del amplificador sea igual a 10 Hz.
- La máxima excursión a la salida.

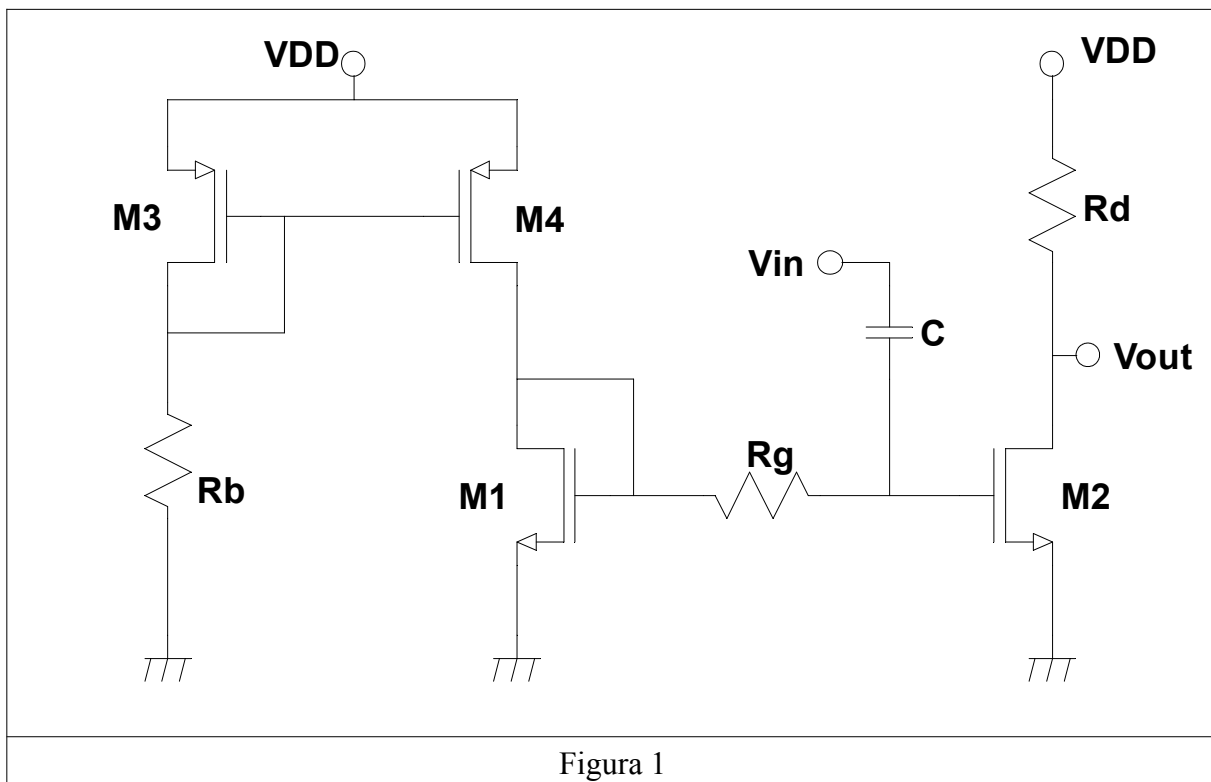
Datos:

El sustrato de los transistores nMOS está conectado a tierra y el de los transistores pMOS a VDD.

Transistores M1 y M2:  $V_{t0} = 1$  V,  $\beta = 1$  mA/V<sup>2</sup>,  $\delta = 0$ , Tensión de Early infinita.

Transistores M3 y M4:  $|V_{t0}| = 1$  V,  $\beta = 1$  mA/V<sup>2</sup>,  $\delta = 0$ , Tensión de Early infinita.

$R_b = 6.8$  k $\Omega$ ,  $R_g = 1$  M $\Omega$ ,  $R_d = 4.7$  k $\Omega$ , VDD = 9 V.



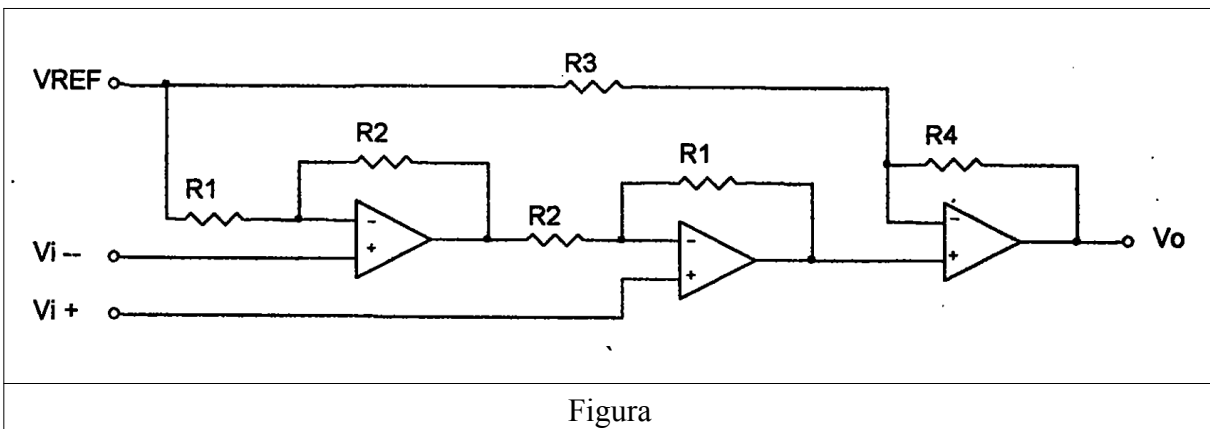
**PROBLEMA 2 (40 puntos)**

El circuito de la Figura muestra la estructura de un amplificador de instrumentación comercial.

- a) Calcular la ganancia diferencial del amplificador y el nivel de la salida respecto a tierra para entrada diferencial nula, si los amplificadores operacionales son ideales.

Si los amplificadores tienen un rango de entrada de modo común entre  $V_{SS} + 0.2V$  y  $V_{DD} - 1.2V$ , una excursión de salida entre  $V_{SS} + 0.2V$  y  $V_{DD} - 0.2V$ , una frecuencia de transición  $f_T$  y un Slew rate  $S_r$ :

- b) ¿cuál es el rango de modo común a la entrada si  $V_{REF} = V_{DD} / 2$ ,  $V_{DD} = 3V$ ,  $V_{SS} = 0V$  y  $R_1 = 4 \cdot R_2$ ?
- c) Para  $R_1 = 4 \cdot R_2$  y asumiendo  $R_4 / R_3 \gg 4$  ¿Cuál será la frecuencia de corte de  $-3dB$  del amplificador?
- d) Si la señal diferencial de entrada es una senoide de amplitud  $A$ , ¿cuál es la máxima frecuencia a la que la salida no distorsiona?

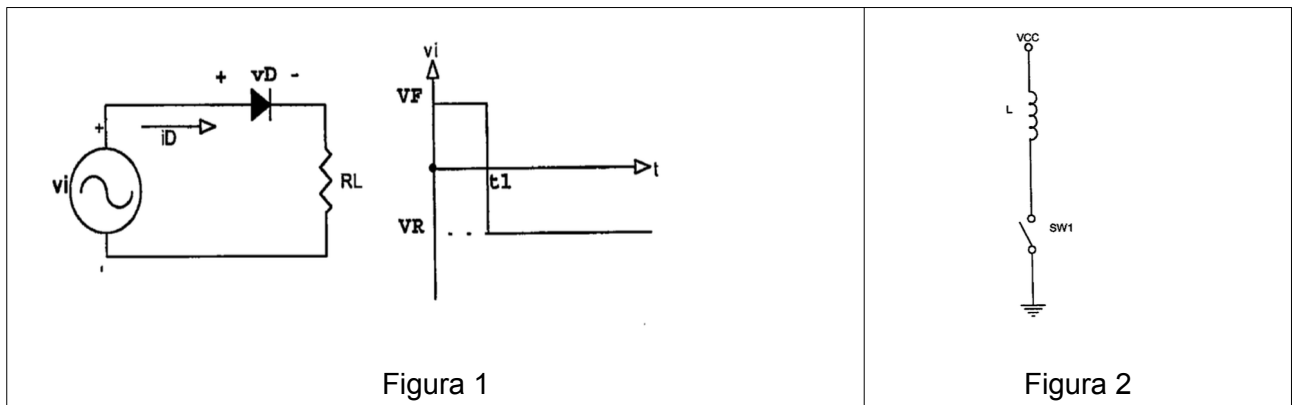


Figura

**PREGUNTA (20 puntos)**

a) Se considera la conmutación de un diodo pn de operación en directa a inversa, como se muestra en la Figura 1. Graficar la evolución en función del tiempo de los concentración de portadores minoritarios en exceso a uno de los lados de la unión (pn – pn0), la corriente por el diodo  $i_D$ , y la tensión en el diodo  $v_D$ . Explicar la razón física por la que se tiene el comportamiento graficado, describiendo que ocurre en cada una de las zonas relevantes presentadas. Indicar en las gráficas cuál es el tiempo de recuperación inversa ( $t_{rr}$ ) del diodo.

b) Si se tiene el circuito de la Figura 2, en que la llave SW1, abre y cierra periódicamente, indicar cómo se conecta al mismo un diodo de protección de "rueda libre", porqué es necesario el mismo, cómo actúa el mismo cómo protección y por qué y en qué situación puede ser necesario que su tiempo de recuperación inversa sea bajo.



Problema 1

Ⓜ Transistores saturados

a)  $V_{DD} - V_{B63} = R_b \cdot I_{D3}$   
 $I_{D3} = \frac{\beta}{2} (V_{B63} - |V_{to}|)^2$

⇒ Ec. de 2do grado en  $V_{B63}$  (o  $I_{D3}$ ):

$$\frac{\beta}{2} V_{B63}^2 + V_{B63} \left( \frac{1}{R_b} - \beta |V_{to}| \right) + \frac{\beta}{2} (V_{to})^2 - \frac{V_{DD}}{R_b} = 0$$

⇒  $V_{B63} = \begin{cases} 2.38V \\ -0.68V \rightarrow \text{no válido, } \pi_3 \text{ cortado} \end{cases}$

⇒  $V_{B63} = 2.38V \Rightarrow I_{D3} = \frac{V_{DD} - V_{B63}}{R_b} = 0.97mA$

Por espejo  $\pi_3 - \pi_4 \Rightarrow I_{D4} = I_{D3}$

$I_{D1} = I_{D4}$  (porque  $I_{DC \text{ gate}} = 0$ )

Como  $V_{B1} = V_{B2}$  y  $V_{S1} = V_{S2} = 0$

⇒  $I_{D1} \rightarrow I_{DC \text{ gate}} = 0 \Rightarrow$  no hay caída en  $R_f$

⇒  $I_{D2} = I_{D1} = I_{D4} = I_{D3} = 0.97mA$

Verifico Ⓜ transistores saturados:

$\pi_4$  y  $\pi_3$  porque ( $V_{DB} = V_{EB}$ )

$V_{DB4} = V_{DD} - V_{EB1} = 9 - 2.38 = 6.6V > \frac{V_{B64} - |V_{to}|}{(1+\beta)}$   
 $= V_{B63}$  (porque le conviene)

Los datos de los transistores son los mismos  
 $V_{DB2} = V_{DD} - R_d \cdot I_{D2} = 4.43V > \frac{V_{EB2} - |V_{to}|}{1+\beta} = 4.38V$

# Problema 1

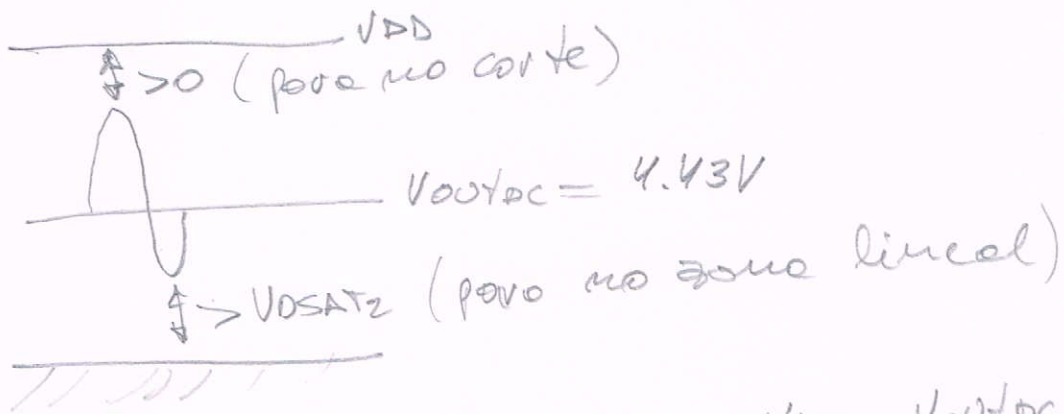
$$b) \left. \begin{aligned} \frac{v_{out}}{v_{in}} &= -g_{m2} \cdot R_D \\ g_{m2} &= \sqrt{\frac{2\beta_2 I_D}{1+\beta_2}} = 1.4 \text{ mS} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{in}} = -6.6$$

$$c) R_{V_{hoive}} g_{m1} = \frac{1}{g_{m1}} \ll R_g$$

$$\Rightarrow R_i = R_g = 1 \text{ M}\Omega$$

$$d) f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_i C} = 10 \text{ Hz} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi R_i \cdot 10} = 15.9 \text{ nF}$$

e)



$$\Rightarrow \text{Condiç\~ao corte: } N_{op} < V_{DD} - V_{outDC} = 4.57 \text{ V}$$

$\Rightarrow$  Condiç\~ao saturaç\~ao:

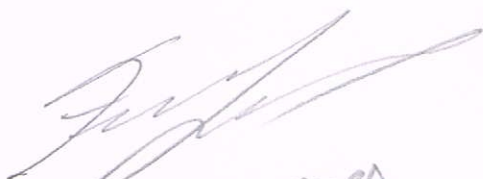
$$\begin{aligned} N_{op} < v_{outDC} - V_{DSAT2} &= v_{outDC} - \left( \frac{V_{GS2} - V_{to}}{1+\beta} \right) \\ &= v_{outDC} - \left( \frac{V_{GS2} + N_{op}/\beta - V_{to}}{1+\beta} \right) \\ &= v_{outDC} - \left( \frac{V_{GS2} + N_{op}/\beta - V_{to}}{1+\beta} \right) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow N_{op} \left( 1 + \frac{1}{\beta(1+\beta)} \right) \leq \underbrace{V_{outDC} - \frac{(V_{E2} - V_{to})}{(1+\beta)}}_{||} \quad (3)$$

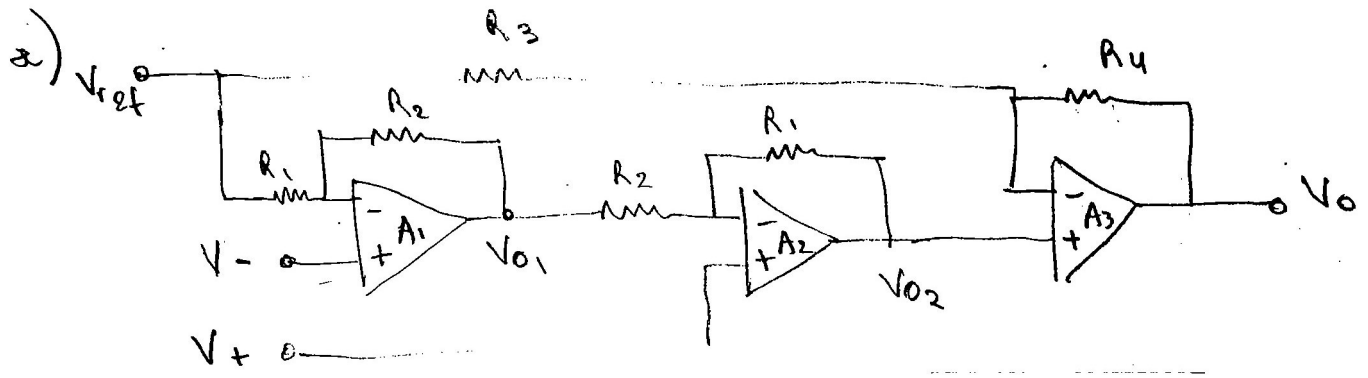
$$\Rightarrow N_{op} \leq \frac{V_{outDC} - \frac{(V_{E2} - V_{to})}{(1+\beta)}}{1 + \frac{1}{\beta(1+\beta)}} = 2.64V$$

$$\Rightarrow N_{op} < \min(2.64V, 4.57V)$$

$\Rightarrow [N_{op} < 2.64V]$  (condición más restrictiva: zona lineal)

  
F. SILVEIRA

## Problema 2:



$$\frac{V^- - V_{01}}{R_2} = \frac{V_{ref} - V^-}{R_1} \Rightarrow V_{01} = V^- \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) - \frac{V_{ref} \cdot R_2}{R_1}$$

Anzlogamente

$$V_{02} = V^+ \left( \frac{R_2 + R_1}{R_2} \right) - V_{01} \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_0 = V_{02} \left( \frac{R_3 + R_4}{R_3} \right) - V_{ref} \frac{R_4}{R_3}$$

$$\Rightarrow V_0 = (V^+ - V^-) \left( \frac{R_3 + R_4}{R_3} \right) \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) + V_{ref}$$

$$G_d = \left( \frac{R_3 + R_4}{R_3} \right) \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right)$$

$$b) \quad V_{ref} = V_{DD}/2$$

Para una entrada en modo común

$$V_{o1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V^- - V_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$V_{o2} = -\frac{R_1}{R_2} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V^- + V_{ref} + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V^+$$

$$= \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) (V^+ - V^-) + V_{ref} = V_{ref}$$

$V^+ = V^-$

⇒ La señal de modo común de entrada de  $A_3$

es siempre  $V_{ref} = V_{DD}/2$ .

Condiciones.

$$V_{o1}, V_{o2} \in [V_{SS} + 0,2, V_{DD} - 0,2]$$

$$V^-, V^+ \in [V_{SS} + 0,2, V_{DD} - 1,2]$$

$$V_{o1,2} \in [0,2, 2,8]$$

$$V^-, V^+ \in [0,2, 1,8]$$

Para  $A_1$

$$V_{o1} = \left(\frac{4+1}{4}\right) V_{cm} - \frac{1,5V}{4}$$



$$V_{CM} = \frac{4V_{O1} + 1,5}{5} \begin{cases} \nearrow \frac{0,8 + 1,5}{5} = 0,46 \\ \searrow \frac{11,2 + 1,5}{5} = 2,54 \end{cases}$$

$$V_{CM} \in [0,46, 2,54]$$

Tomando en cuenta la entrada  $V^-$   $V_{CM} \in [0,2, 1,8]$

$$\Rightarrow V_{CM} \in [0,46, 1,8]$$

para  $A_2$

$$V^+ \in [0,2, 1,8]$$

$$V_{O2} = V_{ref}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{CM} \in [0,46, 1,8]}$$

c) El que determina la frecuencia de corte de -3dB es  $A_3$  por estar realimentado con la mayor ganancia.

$$\boxed{f_{-3dB} = \frac{f_r}{A_4/A_3 + 1}}$$

d) Para que no distorsione la máx. pendiente de la señal en el circuito  $< S_r$

$$\Rightarrow G_D \cdot 2\pi \cdot f \cdot A < S_r \Rightarrow \boxed{f < \frac{S_r}{G_D \cdot A \cdot 2\pi}}$$

~~Linea~~  
LINDER REYE