

EXAMEN DE ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL 07/02/2022

Resolver cada problema en hojas separadas.

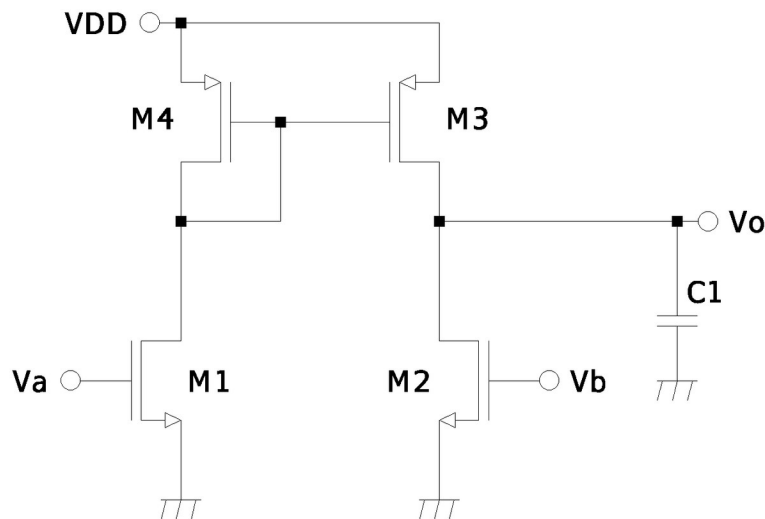
Duración de la prueba: 3 horas. En todas las partes se deberá fundamentar claramente la deducción que conduce al resultado para que el mismo sea considerado.

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 una versión sencilla de un amplificador diferencial. Se considerará que en las entradas, V_a y V_b , se inyectan señales con una componente de modo común V_{INCM} continua y componente diferencial con amplitud que será considerada de pequeña señal. La salida, en el nodo V_o , es ajustada (por un mecanismo no mostrado en figura), para que su valor de continua sea $V_{DD}/2$.



Para el amplificador diferencial presentado:

- Hallar las corrientes de polarización por todos los transistores.
- Halle la ganancia diferencial en banda pasante, A_d . ¿Cuál es entrada inversora y cuál la no-inversora?. Fundamente.
- Determine la frecuencia de -3dB de la ganancia diferencial y su frecuencia de transición (f_T).

Datos:

$$C_1 = 2.2 \text{ nF}$$

$$M1, M2: \beta_n = 2.3 \text{ mA/V}^2, |V_{t0n}| = 1.4 \text{ V}, \delta_n = 0.3, V_{An} = 30 \text{ V}$$

$$M3, M4: \beta_p = 1.5 \text{ mA/V}^2, |V_{t0p}| = 0.7 \text{ V}, \delta_p = 0.3, V_{Ap} = 40 \text{ V}$$

$$V_{INCM} = 2.5 \text{ V}, V_{DD} = 10 \text{ V}$$

El sustrato de todos los transistores se supondrá conectado a su terminal de source.

PROBLEMA 2 (40 puntos)

El circuito de la Figura 1 trata de indicar a su salida cuándo está presente la señal modulada OOK, como la de la Figura 2, en la fuente de entrada vseñal. Dicha señal OOK son 5 períodos de una señal sinusoidal, con nivel dc nulo y amplitud V_{ip} . La fuente vruído representa interferencia que actúa sobre el circuito. V_{ref} es una fuente de tensión dc de 1.2 V. Los amplificadores operacionales se supondrán ideales, salvo donde se indique lo contrario.

- a) ¿Qué condición o condiciones necesarias deben cumplir R_1 , R_2 , R_3 y R_4 para que en la componente de señal de la salida v_{O1} se tenga solamente la señal vseñal amplificada con una ganancia de $20 V/V$, sin que v_{O1} dependa de vruído? Fundamente su respuesta. En lo que sigue se supondrá que R_1 , R_2 , R_3 y R_4 cumplen lo determinado en esta parte.
- b) Si OA1 tiene frecuencia de transición f_T , ¿hasta que frecuencia de la señal vseñal de entrada se puede suponer que es amplificada con la ganancia $20 V/V$ antes considerada?
- c) ¿Cuál es la mínima amplitud V_{ip} para que la señal vseñal sea detectada? En un caso en que V_{ip} supera esta amplitud mínima dibujar, en la misma escala de tiempo, las formas de onda en vseñal, v_{O1} , v_{O2} , v_{I2} y v_O . En todo lo que sigue se supondrá que $R_7 \cdot C_1$ es mucho mayor que el período de la sinusoide en vseñal, por tanto la descarga de C_1 por R_7 en un período de la sinusoide se supondrá despreciable.
- d) ¿Qué variación se tiene en el peor caso en el valor determinado en c) si OA1, OA2 y OA3 son amplificadores operacionales del mismo modelo que tienen una tensión de offset máxima de 2 mV y corrientes de polarización despreciables?
- e) ¿Cuánto es el margen de ruido en nivel alto a la entrada del inversor U1?

Datos:
 $V_{DD} = 3.3 V$, $V_{ref} = 1.2 V$,
 U1: $V_{IL} = 1.1 V$, $V_{IH} = 2.2 V$, $V_{OL} = 0 V$, $V_{OH} = 3.3 V$
 D1: $V_{\gamma} = 0.7 V$
 $R_6 = 9 \cdot R_5$

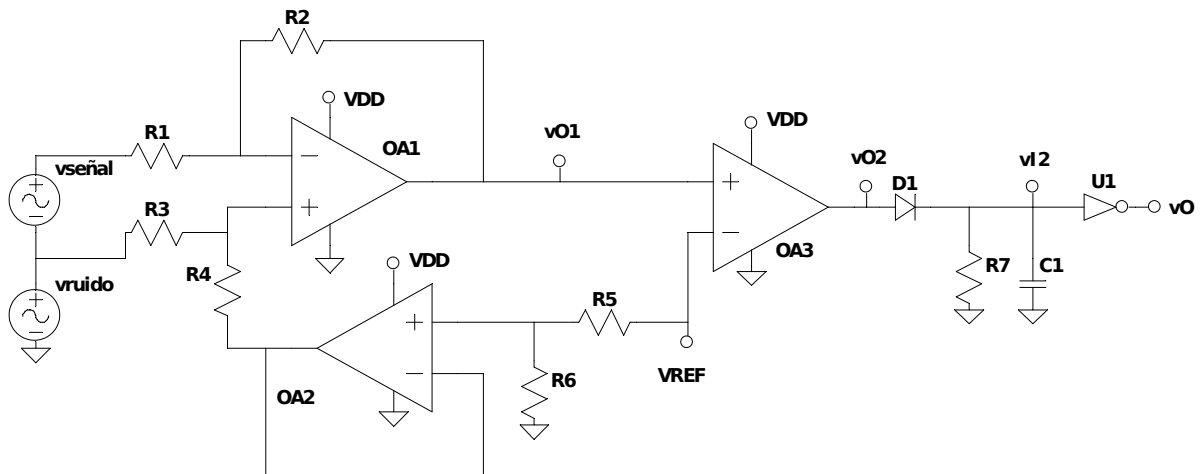


Figura 1

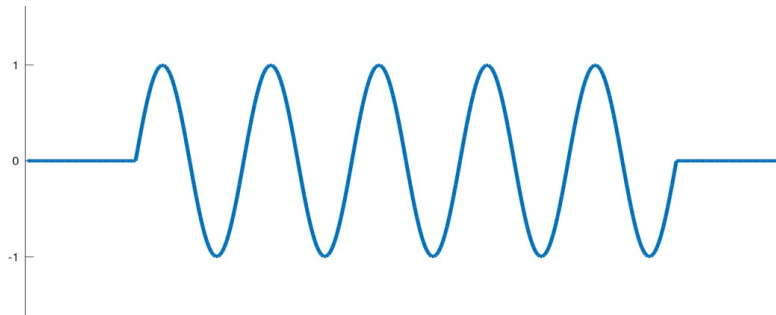


Figura 2

PREGUNTA (20 puntos)

Se tiene una juntura p-n abrupta de la cual se conocen los siguientes datos:

- Ancho de la zona de depleción del lado p para el diodo en circuito abierto: $0.225 \mu\text{m}$
- Ancho de la zona de depleción del lado n para el diodo en circuito abierto: $0.150 \mu\text{m}$
- Uno de los lados está dopado con una impureza que tiene 5 electrones en la capa de valencia en una concentración de $2 \times 10^{22} \text{ at/m}^3$
- Área de la juntura: 0.2 mm^2

Se pide:

- a) ¿A qué lado de la juntura corresponde la concentración de impurezas indicada?. Determinar la concentración de impurezas del otro lado. Fundamental.
- b) Dibujar en un esquema cómo varían a lo largo de esta juntura en circuito abierto, las siguientes magnitudes: Concentración de impurezas, densidad de carga ρ , campo eléctrico E , potencial V . Indicar en el esquema el potencial propio de juntura V_0 y su valor. Indicar en las gráficas las expresiones analíticas y los valores numéricos de los puntos notables. En todos los casos al utilizar una ecuación para llegar al resultado solicitado explique brevemente en qué se basa la misma.

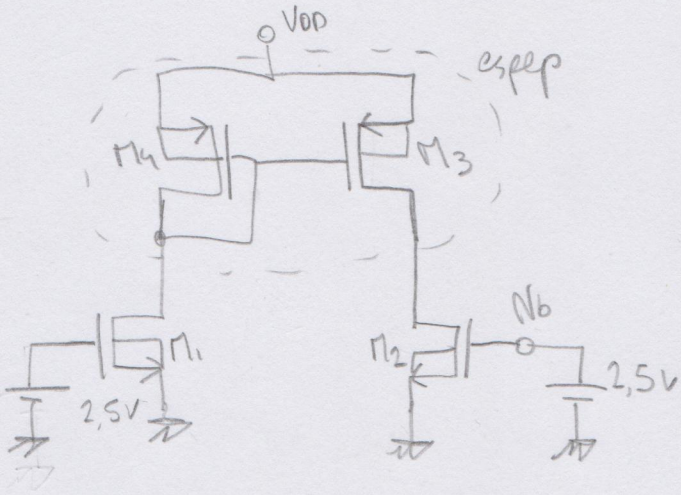
Constantes y ecuaciones físicas:

$$q=1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad \epsilon_0=8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}, \quad k_{\text{Si}}= 11.9$$

$$E = \int \frac{\rho}{\epsilon} dx$$

$$V = - \int E dx$$

⇒) Polarización



Hipotesis: todos los transistores en zona de saturación ⇒

$$I_{D11} = I_{D12} = I_{D13} = I_{D14} = I_D$$

$$I_D = \frac{\beta_N}{2(1 + \delta_N)} \left(V_{GBM1} - V_{tn} - (1 + \delta_N) V_{SBM1} \right)^2$$

$\begin{matrix} \text{"2.5V"} \\ \downarrow \\ 0V \end{matrix}$

$$I_D = 1,07 \text{ mA}$$

Verifico transistores saturados:

• M1: $V_{GBM1} = \sqrt{\frac{2I_D(1 + \delta_P)}{\beta_P}} + V_{top} = 2,06 \text{ V}$

$$\Rightarrow V_{DSM1} = V_{DD} - V_{GBM1} = 7,94 \text{ V}$$

$$V_{PM1} = \frac{V_{GBM1} - V_{tn}}{1 + \delta_N} = 846 \text{ mV}$$

$$V_{SBM1} = 0$$

$\Rightarrow V_{DSM1} > V_{PM1} \checkmark$
 $V_{SBM1} < V_{PM1} \checkmark$

• M2: $V_{DSM2} = V_{DD}/2 = 5 \text{ V}$

$$\Rightarrow V_{PM2} = \frac{V_{GBM2} - V_{tn}}{1 + \delta_N} = 846 \text{ mV}$$

$$V_{SBM2} = 0$$

$\Rightarrow V_{DSM2} > V_{PM2} \checkmark$
 $V_{SBM2} < V_{PM2} \checkmark$

• M3: $V_{DSM3} = V_{DD} - V_{DD}/2 = 5 \text{ V}$

$$V_{PM3} = \frac{V_{GBM3} - V_{top}}{1 + \delta_P} = 1,05 \text{ V}$$

$$V_{SBM3} = 0$$

$\Rightarrow V_{DSM3} > V_{PM3} \checkmark$
 $V_{SBM3} < V_{PM3} \checkmark$

• M4: triel por conexión tipo diodo.

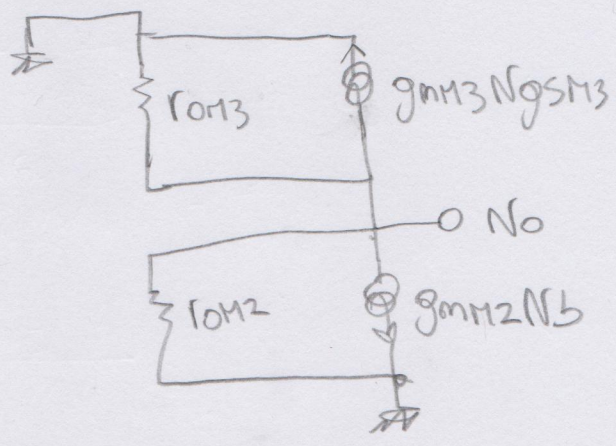
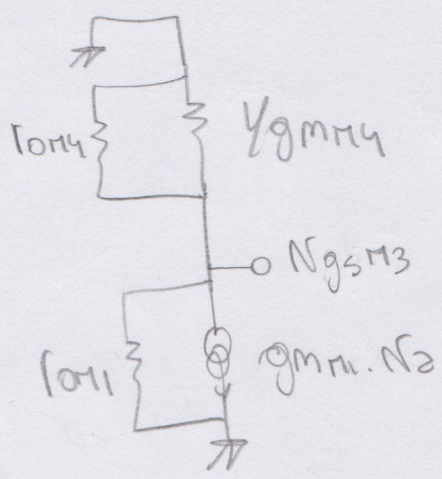
b) Requiere señal

$$g_{mN} = g_{mM1} = g_{mM2} = \sqrt{\frac{2 I_D \beta_N}{1 + \delta_N}} = 1,95 \text{ mS} = g_{mN}$$

$$g_{mP} = g_{mM3} = g_{mM4} = \sqrt{\frac{2 I_D \beta_P}{1 + \delta_P}} = 1,57 \text{ mS} = g_{mP}$$

$$r_{oM1} = r_{oM2} = \frac{V_{AN}}{I_D} = 28 \text{ k}\Omega$$

$$r_{oM3} = r_{oM4} = \frac{V_{AP}}{I_D} = 37 \text{ k}\Omega$$



$$\frac{1}{g_{mM4}} \ll r_{oM4} // r_{oM1} \Rightarrow N_{gSM3} = -g_{mM1} N_2 \cdot \frac{1}{g_{mM4}}$$

$$N_o = (-g_{mM3} N_{gSM3} - g_{mM2} N_b) r_{oM3} // r_{oM2}$$

$$N_o = (g_{mM3} g_{mM1} N_2 \frac{1}{g_{mM4}} - g_{mM2} N_b) r_{oM3} // r_{oM2} \Rightarrow \frac{N_o}{N_2 - N_b}$$

$$\frac{N_o}{N_2 - N_b} = A_d = g_{mN} \cdot (r_{oM3} // r_{oM2}) \approx 31 \text{ V/V}$$

N_2 es no inv.
 N_b es inv.

$$c) f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi (r_{oM3} // r_{oM2}) C_1} = 4,5 \text{ kHz}$$

$$f_T = A_d \cdot f_{-3dB} = \frac{g_m}{2\pi C_1} = 140 \text{ kHz}$$

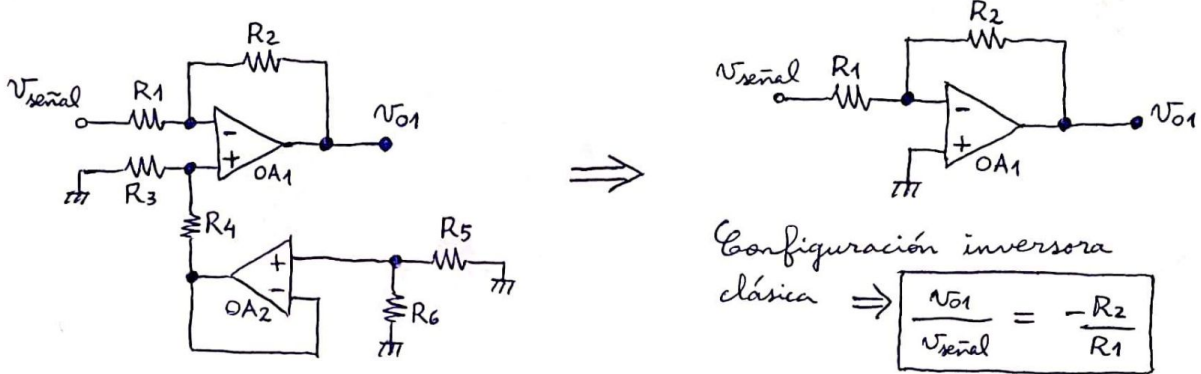
Examen de Electrónica Fundamental

Problema

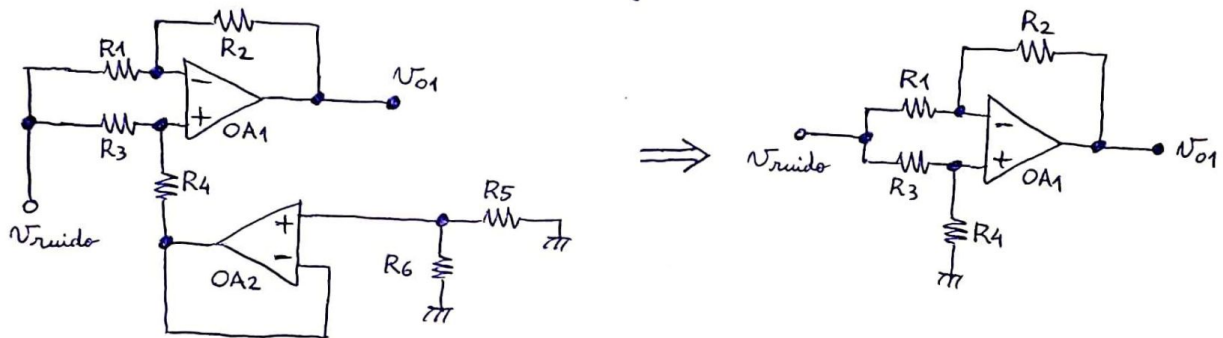
OA1 y OA2 funcionan como amplificadores y
OA3 funciona como comparador.

a) Componente de señal de V_{O1} : superposición entre $V_{señal}$ y V_{ruido}

* V_{O1} debida a $V_{señal}$ ($V_{ruido} = 0$ y $V_{REF} = 0$):



* V_{O1} debida a V_{ruido} ($V_{señal} = 0$ y $V_{REF} = 0$):



$$V_{O1} = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) V_{ruido} + \left(\frac{R_4}{R_3+R_4}\right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{ruido} = \left(\frac{R_1 R_4 + R_2 R_4 - R_2 R_3 - R_2 R_4}{R_1 (R_3 + R_4)}\right) V_{ruido}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{O1}}{V_{ruido}} = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 (R_3 + R_4)}$$

Para que $\left|\frac{V_{O1}}{V_{señal}}\right| = 20 \text{ V/V}$, entonces $\frac{R_2}{R_1} = 20$

Para que $\frac{V_{O1}}{V_{ruido}} = 0$, entonces $R_1 R_4 = R_2 R_3 \Leftrightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$

Entonces $\boxed{\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} = 20}$

b) De la parte a, vemos que cuando $V_{ruido} = 0$ y $V_{REF} = 0$, tenemos una configuración inversora clásica, y entonces

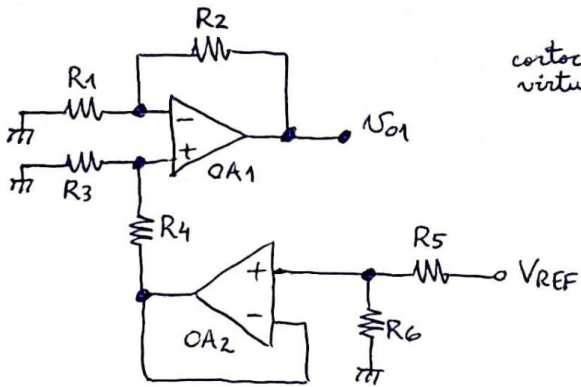
$$f_{-3dB} = \frac{f_T}{1 + \frac{R_2}{R_1}} = \frac{f_T}{21}$$

$$f \ll f_{-3dB} \Rightarrow \boxed{f < \frac{f_{-3dB}}{10} = \frac{f_T}{210}}$$

Examen de Electrónica Fundamental

Problema

c) * DC en V_{O1} ($V_{señal} = 0$ y $V_{ruido} = 0$):



$$R_6 = 9R_5$$

$$V_{REF} = \frac{R_6}{R_5 + R_6} V_{REF} = \frac{9}{10} V_{REF} = 1,08 \text{ V}$$

cortocircuito virtual

$$V_{OA2-} = V_{OA2+} = 1,08 \text{ V}$$

$$V_{OA1+} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{OA2-}$$

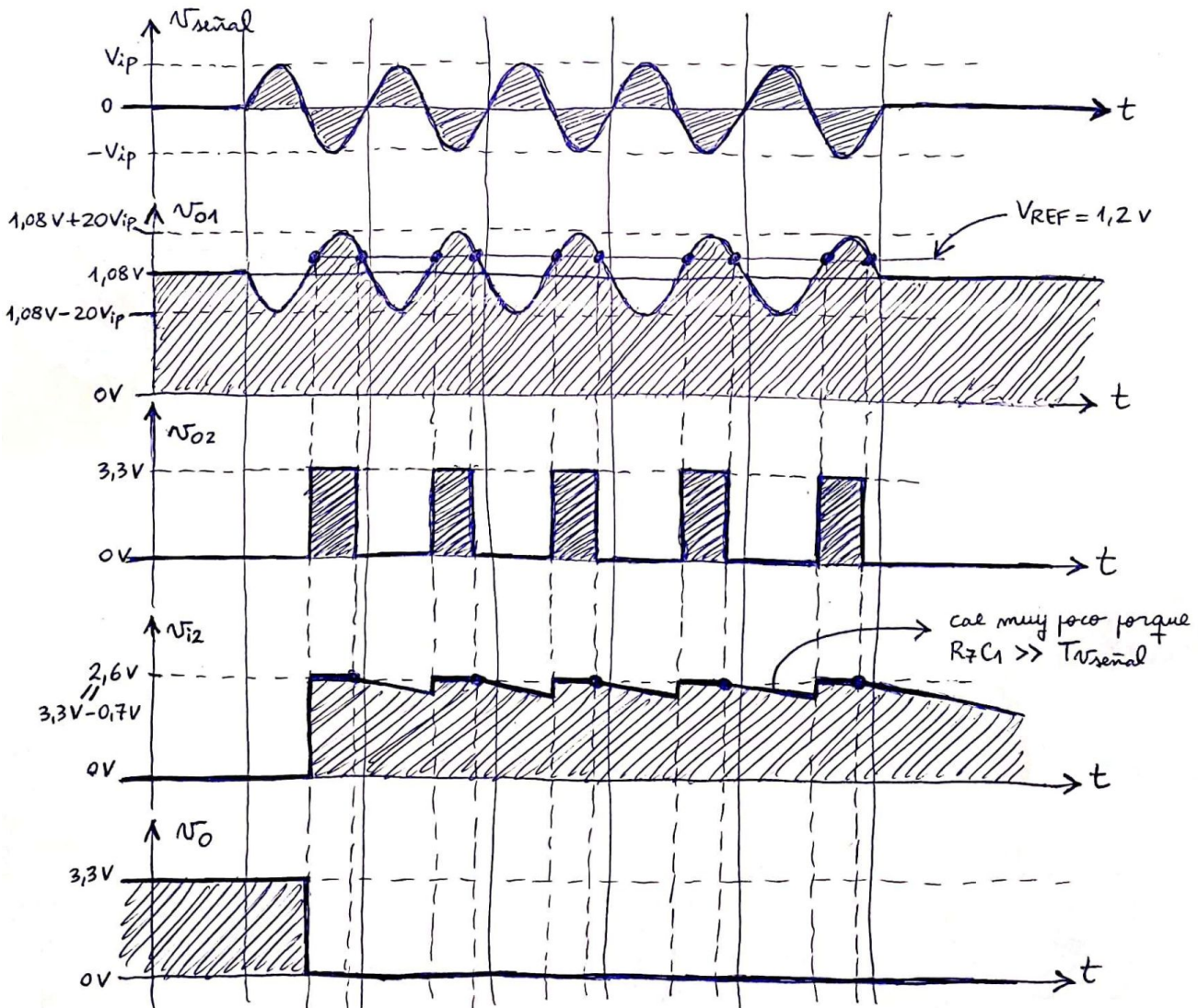
$$V_{O1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{OA1+}$$

configuración no inversora

$$\Rightarrow V_{O1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{R_4}{R_3}}\right) (1,08 \text{ V}) = \left(\frac{1+20}{1+20}\right) (1,08 \text{ V}) = \boxed{1,08 \text{ V}}$$

Para que $V_{señal}$ sea detectada:

$$\underbrace{(1,08 \text{ V}) + (20 \text{ V/V}) V_{ip}}_{V_{OA3+}} > \underbrace{1,2 \text{ V}}_{V_{OA3-}} \Rightarrow \boxed{V_{ip} > \frac{1,2 \text{ V} - 1,08 \text{ V}}{20 \text{ V/V}} = 6 \text{ mV}}$$

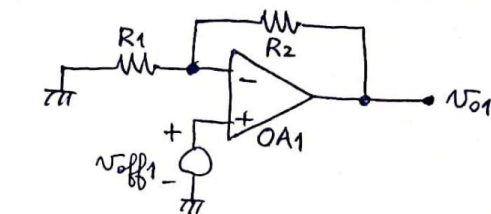
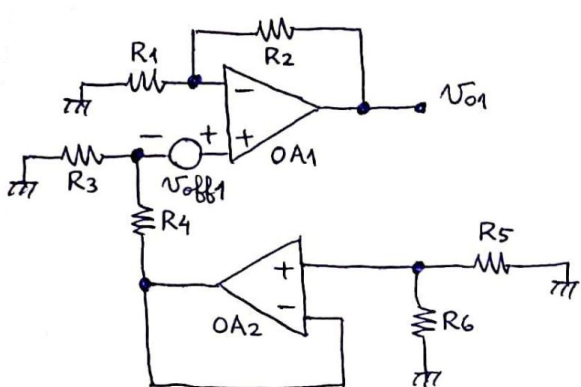


Examen de Electrónica Fundamental

Problema

d) Aplicamos superposición de las 3 fuentes de offset

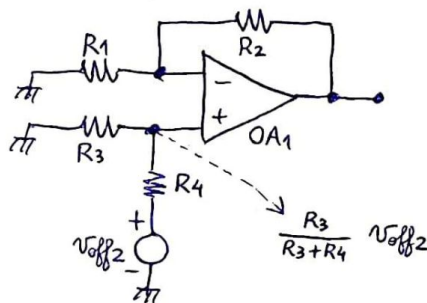
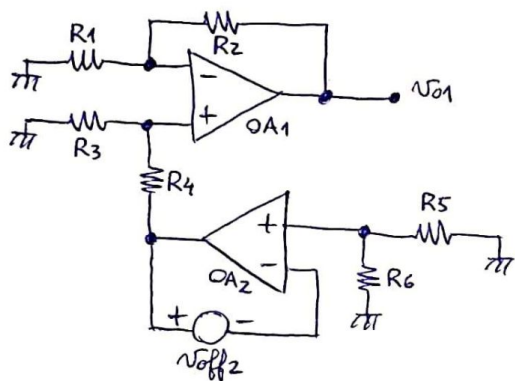
* V_{off1} ($V_{off2}=0$, $V_{off3}=0$, $V_{señal}=0$, $V_{ruido}=0$ y $V_{REF}=0$):



Configuración no inversora clásica:

$$\frac{V_{o1}}{V_{off1}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 21$$

* V_{off2} ($V_{off1}=0$, $V_{off3}=0$, $V_{señal}=0$, $V_{ruido}=0$ y $V_{REF}=0$):



Configuración no inversora clásica con entrada $V_+ = \frac{R_3}{R_3+R_4} V_{off2}$

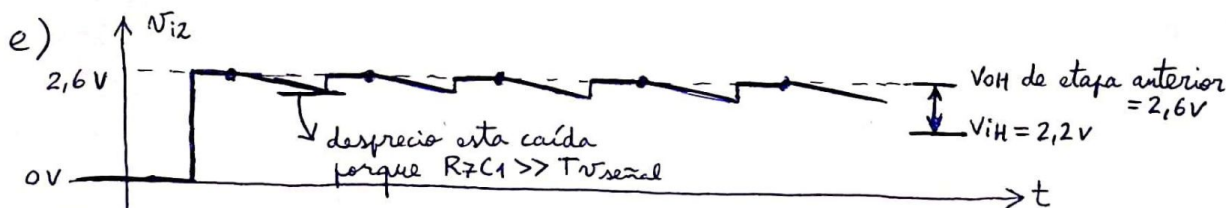
$$\Rightarrow \frac{V_{o1}}{V_{off2}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_3}{R_3+R_4}\right) = \frac{(1+20)}{(1+20)} = 1$$

$$\frac{V_{o1}}{V_{off2}} = 1$$

Entonces: $(1,08V) \pm 21 V_{off1} \pm V_{off2} \pm V_{off3} + 20 V_{ip} > 1,2V$

$$V_{ip} > \frac{1,2V - 1,08V}{20} \pm \frac{23 V_{off}}{20} = 6mV \pm 2,3mV$$

puede variar entre $6 - 2,3 = 3,7mV$ y $6 + 2,3 = 8,3mV$



Margen de ruido: $2,6V - 2,2V = 0,4V$
en nivel alto