

**Parcial de Electrónica Avanzada 2****08/07/2021**

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas.

La prueba es **sin** material.

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

**Problema 1 (34 pts):**

En el oscilador de la Figura 1:

- Determinar la frecuencia de oscilación ( $f_{osc}$ ), condición de oscilación y condición de arranque.
- Determinar que corriente debe circular por el LED para que el circuito oscile.
- Determinar  $R_{LED}$  para que la amplitud de salida sea  $5V_p$ .
- Si  $R_6$  está por encima de su valor nominal, ¿la amplitud de las oscilaciones será mayor o menor a  $5V_p$ ? Justifique.

**Datos:**

Los amplificadores operacionales se suponen ideales.

$R_4$  y  $C_2$  son tales que  $1/(2\pi R_4 C_2) \ll f_{osc}$

$U_1$  es un par resistencia dependiente de la luz (LDR) – LED. La variación de la resistencia en función de la corriente por el LED se indica en la curva indicada como 2 en la Figura 2.

La tensión directa del LED es  $1.4V$ .

Se desprecia la tensión directa del diodo  $D_1$ .

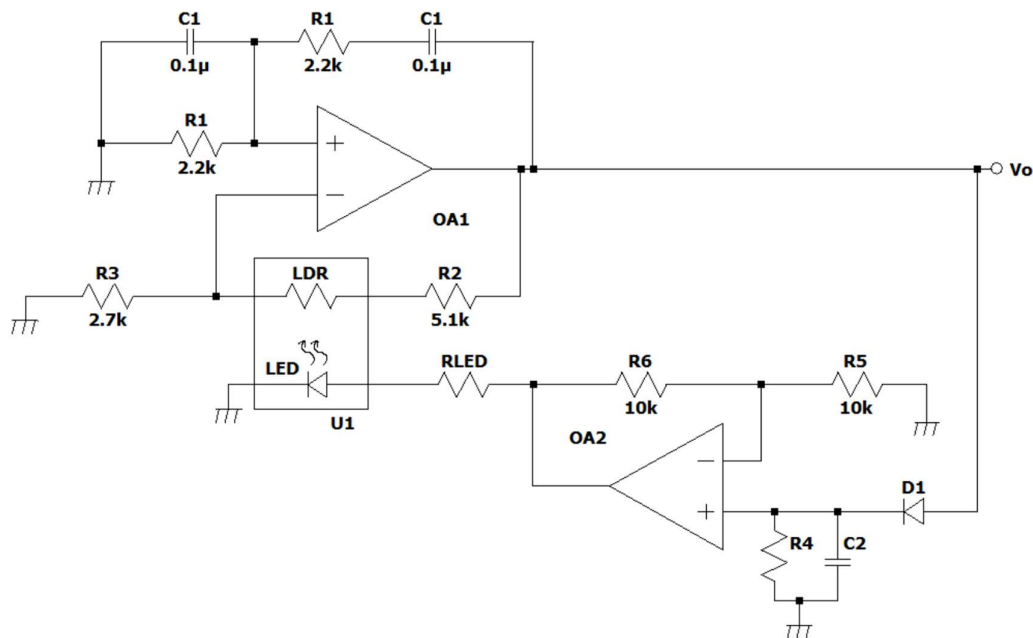


Figura 1

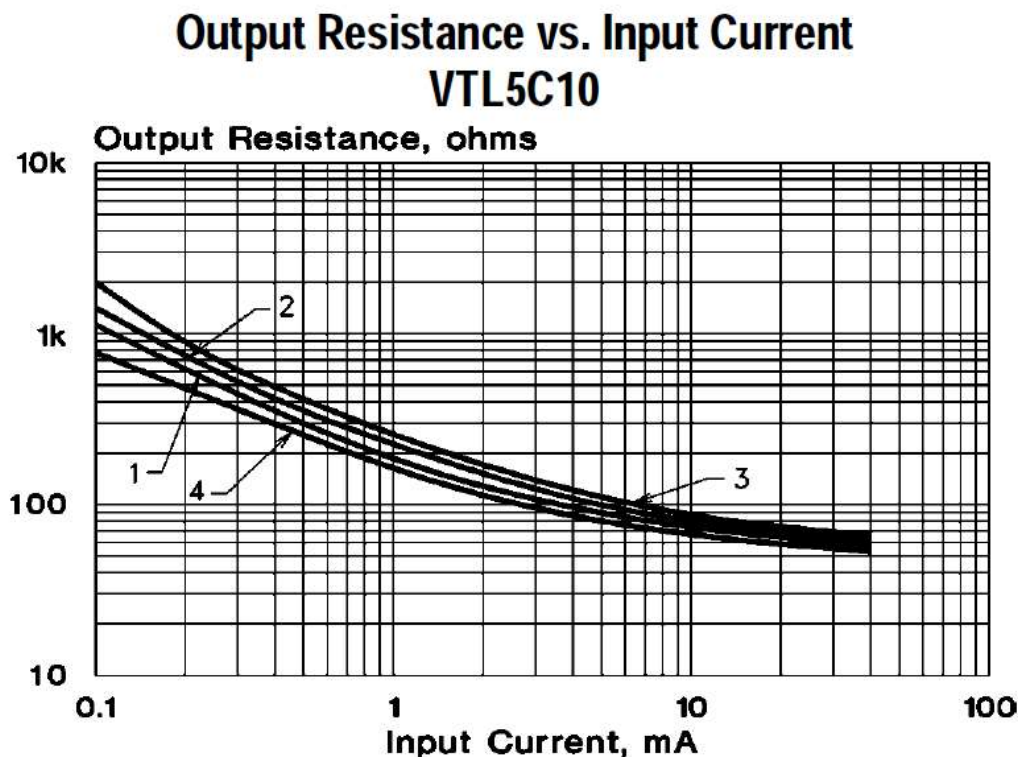


Figura 2

**Problema 2 (33 pts):**

Se desea diseñar el regulador lineal con transistor de paso nMOS de la Figura 3. El regulador debe ser tal que  $V_{REF}=1$  V,  $V_{OUT}=1.6$ V y la corriente que se debe entregar a la carga,  $I_L$ , puede variar entre 10 mA y 100 mA. La tensión  $V_{IN}$  es tal que el regulador funciona correctamente. El amplificador operacional tiene ganancia  $A_0=150$  V/V y está alimentado en 3.3 V.

- a) Dimensionar el transistor de paso que ocupe un área menor a  $2000 \mu\text{m}^2$  y para tener una tensión de *dropout* de 0.2 V cuando  $I_L=100$  mA. El transistor es tal que  $V_{t0}=0.4$  V,  $\mu\text{Cox}=300 \mu\text{A}/\text{V}^2$  y sus dimensiones mínimas posibles son  $L_{\min}=W_{\min}=0.8 \mu\text{m}$ .
- b) Dimensionar las resistencias R1 y R2 teniendo en cuenta los siguientes aspectos:
  - i. Las resistencias deben tener valores de la serie E12 (10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82).
  - ii. La corriente por R1 y R2 debe ser despreciable respecto a  $I_L$ , en todo el rango de  $I_L$ .
  - iii.  $R1/R2 < 50\text{k}\Omega$  para que el efecto de la resistencia interna del amplificador operacional pueda despreciarse,
  - iv. El valor de  $V_{OUT}$  resultante no debe apartarse más de un 2% del valor especificado.
- c) Para el regulador diseñado en el caso en que se entrega  $I_L=10$  mA:
  - i. Calcular la regulación de carga.
  - ii. Indicar cuánto debe variar la carga para que la  $V_{OUT}$  varíe 0.5%.

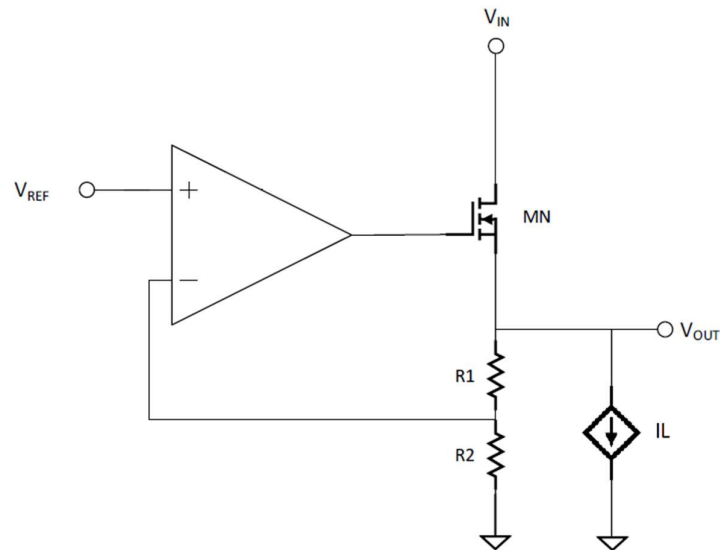


Figura 3

**Problema 3 (33 pts):**

En el circuito de la Figura 4:

- Determine la tensión de ruido RMS total a la salida si el amplificador tiene un  $f_T=5\text{MHz}$  y una densidad espectral de ruido equivalente a la entrada de  $5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ .
- Si la señal de entrada  $V_{in}$  es una senoide de  $1\text{kHz}$  y  $10\text{mV}$  de amplitud, ¿cuál es la relación señal a ruido (SNR) a la salida?
- ¿Cómo cambia la SNR si  $R_2$  pasa a valer el doble?

Datos:  $R_1=2\text{k}\Omega$ ,  $R_2=20\text{k}\Omega$

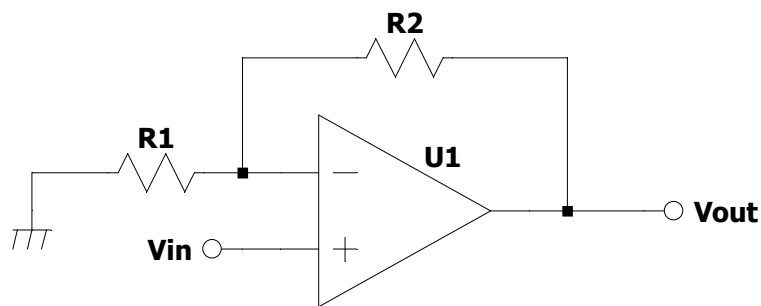
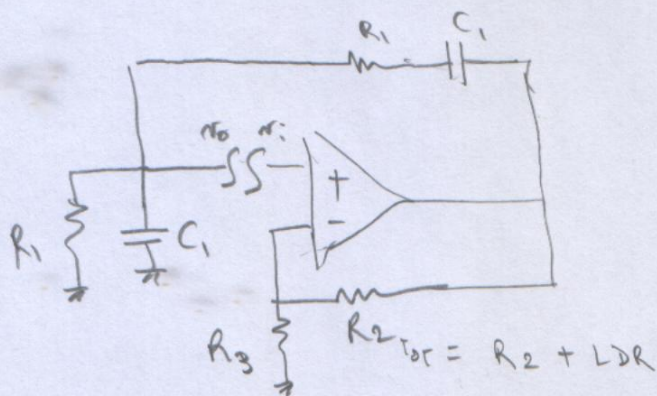


Figura 4

2) Abrimos el loop en la parte no inversora



$$L(s) \frac{N_o}{N_i} = \left( 1 + \frac{R_{2\text{TOT}}}{R_3} \right) \frac{(R_1 \parallel \frac{1}{sC_1})}{(R_1 + \frac{1}{sC_1} + R_1 \parallel \frac{1}{sC_1})} =$$

$$= \left( 1 + \frac{R_{2\text{TOT}}}{R_3} \right) \frac{R_1 C_1 s}{(R_1 C_1 s)^2 + 3R_1 C_1 s + 1} = A_p(s)$$

$$L(j\omega_0) = \left( 1 + \frac{R_{2\text{TOT}}}{R_3} \right) \frac{R_1 C_1 j\omega_0}{1 - R_1^2 C_1^2 \omega_0^2 + 3R_1 C_1 j\omega_0} = 1$$

$$1 - R_1^2 C_1^2 \omega_0^2 = 0 \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{R_1 C_1} \Rightarrow f_{osc} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

$$f_{osc} = 723 \text{ Hz}$$

Cond osc.

$$\left( 1 + \frac{R_{2\text{TOT}}}{R_3} \right) \cdot \frac{1}{3} = 1 \Rightarrow$$

Cond amplitud

$$\left( 1 + \frac{R_{2\text{TOT}}}{R_3} \right) \frac{1}{3} > 1$$



b)

$$1 + \frac{R_2 + LDR}{R_3} = 3$$

$$LDR = 2R_3 - R_2 = 300 \Rightarrow I_{LED} = 0,6 \text{ mA}$$

↑  
DE LA GRÁFICA

c)

$D_1, R_4, C_2$  RECTIFICADOR DE 1/2 ONDA

$$V_{OA2} = V_{op} \left( 1 + \frac{R_6}{R_5} \right) = 5 \text{ V} \cdot 2 = 10 \text{ V}$$

$$I_{LED} = \frac{V_{OA2} - V_{LEDON}}{R_{LED}} = \frac{10 - 1,4}{R_{LED}}$$

$$I_{LED} = 0,6 \text{ mA} \Rightarrow R_{LED} = 14,3 \Omega$$

d)

PARA QUE EL CIRCUITO OSCILE, SE DEBE CUMPLIR LA COND. DE OSCILACIÓN ES DECIR  $I_{LED} = 9,6 \text{ mA}$

SI  $R_{LED}$  EL CALCULADO EN LA PARTE C

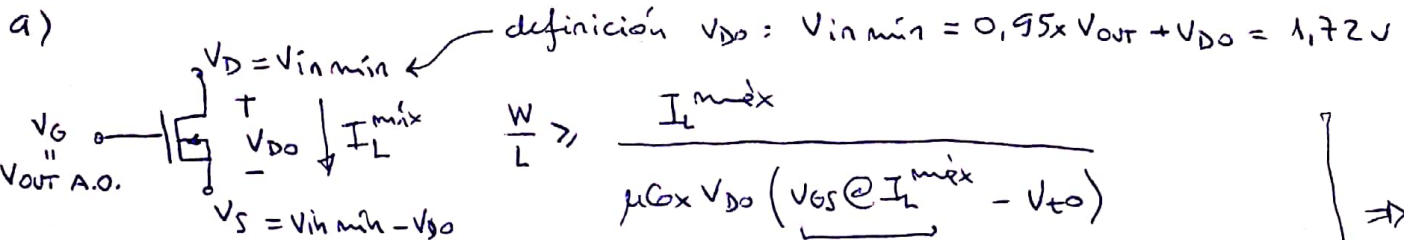
$$\text{PARA QUE } I_{LED} = 0,6 \text{ mA} \Rightarrow V_{OA2} = 10 \text{ V} = V_{op}^* \left( 1 + \frac{R_6}{R_5} \right)$$

$$\Rightarrow V_{op}^* = \frac{10 \text{ V}}{1 + \frac{R_6}{R_5}}$$

$$\text{Si } R_6 > R_{6N} \Rightarrow V_{op}^* < V_{op \text{ NOMINAL}}$$

$$\Rightarrow V_{op}^* < V_{op \text{ NOMINAL}} = 5 \text{ V}$$

Problema 2



$$\frac{W}{L} \gg \frac{I_L^{mín}}{\mu C_{ox} V_{D0} (V_{GS@I_L^{mín}} - V_{to})}$$

$$V_{GS@I_L^{mín}} = V_{OUT\ A.O.}^{mín} - (V_{in\ mín} - V_{D0})$$

$$= 3,3V - (1,72V - 0,2V) = 1,78V$$

$$\Rightarrow \frac{W}{L} \gg \frac{100\ \mu A}{300\ \frac{\mu A}{V^2} \cdot 0,2V (1,78V - 0,4V)} = 1207,7 \frac{\mu m}{\mu m}$$

Si  $L = 1\ \mu m \Rightarrow W = 1208\ \mu m$ . En cuyo caso el área =  $w \times l = 1208\ \mu m^2$  es menor a  $2000\ \mu m^2$  especificado.  
 ↑  
 mayores  
 al mínimo.

b) Para  $V_{OUT} = 1,6V \Rightarrow G_u = \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} = 1,6 \frac{V}{V}$

$$G_u = \frac{R_1}{R_2} + 1 \Rightarrow \boxed{\frac{R_1}{R_2} = 0,6} \quad (1)$$

$I_{R_1, R_2}$  despreciable }  $\Rightarrow I_{R_1, R_2}^{mín} = \frac{I_L^{mín}}{10} = 1\ \mu A$   
 para  $10\ \mu A < I_L < 100\ \mu A$  }  $\Rightarrow \boxed{(R_1 + R_2)_{mín} = 1,6\ k\Omega} \quad (2)$

donde  $I_{R_1, R_2} = \frac{V_{OUT}}{R_1 + R_2} \leftarrow R_1 + R_2\ \text{mínimo}$

De las condiciones (1) y (2) obtenemos unos valores mínimos

$R_1 = 600\ \Omega$  y  $R_2 = 1\ k\Omega$  ( $R_1 + R_2$  podría ser mayor).

# Segundo Parcial Electrónica Avanzada 2

julio 2021 <sup>2</sup>

$R_1 = 600\Omega$  no es de la serie E12.

Elijo  $R_2 = 5,6k\Omega \Rightarrow R_1 = 3,36k\Omega$ , por lo que elijo  $R_1 = 3,3k\Omega$ .

Con  $R_1 = 3,3k\Omega$  y  $R_2 = 5,6k\Omega$ :

$$* V_{out} = \left(\frac{R_1}{R_2} + 1\right) V_{REF} = 1,589V \rightarrow \frac{V_{out}}{V_{out\text{ teo}}} = \frac{1,589V}{1,6V} = 0,993 \leftarrow$$

$$* R_1 + R_2 = 8,9k\Omega > 1,6k\Omega \checkmark$$

$$* R_1 \parallel R_2 = 2,1k\Omega < 50k\Omega \checkmark$$

dentro del margen de 2%

Verificamos todas las condiciones.

$$c) i) R_{out} = \frac{1}{g_m A_o \beta}$$

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5,6k\Omega}{8,9k\Omega} = 0,6292 \frac{V}{V}$$

$$g_m = \sqrt{2 \mu C \times \frac{W}{L} I_D} = \sqrt{2 \times 300 \frac{\mu A}{V^2} \times 1208 \times 10 mA} = 88 mS$$

$$I_D = I_L + I_{R_1, R_2} \approx I_L \text{ por diseño con } I_L = 10 mA$$

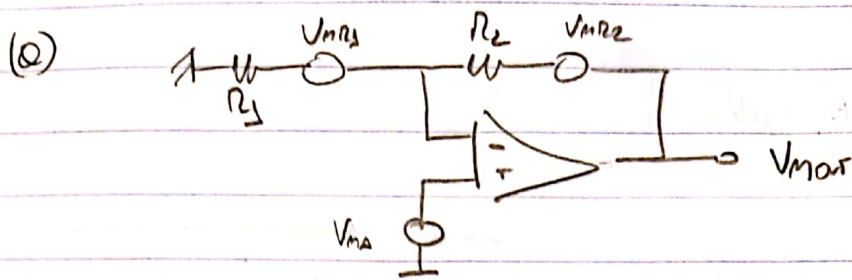
$$\Rightarrow R_{out} = \frac{1}{88 mS \times 10 \frac{V}{V} \times 0,6292 \frac{V}{V}} \Rightarrow \boxed{R_{out} = 0,12 \Omega}$$

$$ii) \Delta V_{out} = 0,005 \times 1,6V = 8 mV$$

$$R_{out} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_L} \Rightarrow \Delta I_L = \frac{8 mV}{0,12 \Omega} = 67 mA \Rightarrow \boxed{\Delta I_L = 67 mA}$$



EJ 3



$$V_{mR_1}^2 = 4k_B T R_1, \quad V_{mR_2}^2 = 4k_B T R_2, \quad V_{ma}^2 = (5mV/\sqrt{Hz})^2$$

Superposicr

R1:  $\frac{V_{mout}}{V_{mR_1}} = -\frac{R_2}{R_1} \Rightarrow V_{mout}^2 = 4k_B T R_1 \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = 4k_B T R_2 \cdot \frac{R_2}{R_1}$

R2:  $\frac{V_{mout}}{V_{mR_2}} = 1 \Rightarrow V_{mout}^2 = 4k_B T R_2$

AMP:  $\frac{V_{mout}}{V_{ma}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \Rightarrow V_{mout}^2 = V_{ma}^2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)^2$

BW:  $f_{-3dB} = \frac{f_c}{1 + R_2/R_1}$

Ancho de banda de ruido equivalente  $B = \frac{\pi}{2} f_{-3dB} = 0,719 \text{ Hz}$

$\Rightarrow N_n^{rms} = \sqrt{4k_B T R_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + V_{ma}^2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)^2} \cdot \sqrt{B}$

$\Rightarrow N_n^{rms} = 69 \mu V_{rms}$

(b)

$N_i = A S W(20 \text{ f.t}) \quad f_u \ll B \Rightarrow N_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) A S(20 \text{ f.t})$

$\Rightarrow N_{out}^{rms} = 77,8 \text{ mV}_{rms} \Rightarrow \text{SNR} = 1527 \text{ V} = 61,9 \text{ dB}$



$$(c) R_2 = 40 \text{ k}\Omega \Rightarrow G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 21 \text{ V/V}$$

$$\rightarrow B = \frac{\pi}{2} \frac{f_T}{(1+R_2/R_1)} = 374 \text{ kHz}$$

$$\Rightarrow \boxed{N_n^{\text{rms}} = 96,6 \text{ }\mu\text{V}_{\text{rms}}}$$

$$N_{\text{out}}^{\text{rms}} = 2050,5 \text{ mV}_{\text{rms}} \Rightarrow \boxed{\text{SNR} = 1538 \text{ V/V} = 63,7 \text{ dB}}$$