

Parcial de Electrónica Avanzada 2
07/07/2022

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas.

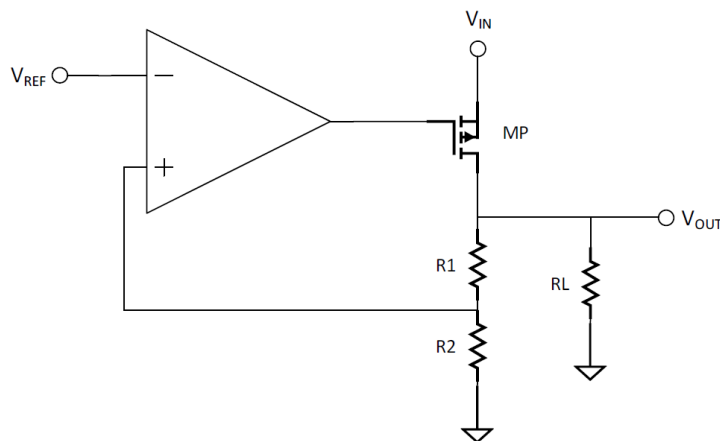
La prueba es **sin** material.

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

Problema 1 (34 pts):

Se considera el regulador lineal de la figura, donde $V_{ref}=1.2\text{ V}$ y $V_{out}=1.9\text{ V}$. El transistor de paso es tal que $L=1\text{ }\mu\text{m}$, $W=8000\text{ }\mu\text{m}$, $|V_{t0}|=0.5\text{ V}$, $\mu C_{ox}=90\text{ }\mu\text{A/V}^2$ y $r_{op}=500\text{ k}\Omega$. La ganancia del amplificador operacional es $A_0=100\text{ V/V}$.

- a) Calcular $I_L^{m\acute{a}x}$, la máxima corriente que se puede entregar a la carga R_L , tal que:
 - V_{out} no se aparte más de 5% de su valor nominal, es decir, de 1.9 V y
 - la mínima tensión de *Dropout* sea 0.1 V.
- b)
 - i. Obtener una expresión analítica de la ganancia de lazo cerrado V_{out}/V_{ref} .
 - ii. ¿Qué condición se debe cumplir para que V_{out}/V_{ref} no dependa de la ganancia del amplificador operacional?
 - iii. Suponiendo que $r_{op} \gg R_1 + R_2 \gg R_L$, verificar la condición hallada en la parte b) ii.
- c) Calcular R_1 y R_2 considerando que:
 - la corriente entregada a la carga, I_L , varía entre 10 mA e $I_L^{m\acute{a}x}$ hallada en la parte a),
 - se cumple la condición de la parte b) iii,
 - la corriente por R_1 y R_2 debe ser menor a 1% de I_L .
- d)
 - i. Calcular la regulación de carga cuando $I_L=60\text{ mA}$.
 - ii. Si I_L presenta un escalón de 60 mA a 10 mA, ¿cuál será la variación en V_{out} ?
- e) Calcular el offset a la salida del regulador considerando que:
 - el amplificador operacional tiene un offset equivalente a la entrada de 4 mV y
 - la tensión V_{ref} puede variar 1 mV respecto a su valor nominal.



Problema 2 (33 pts):

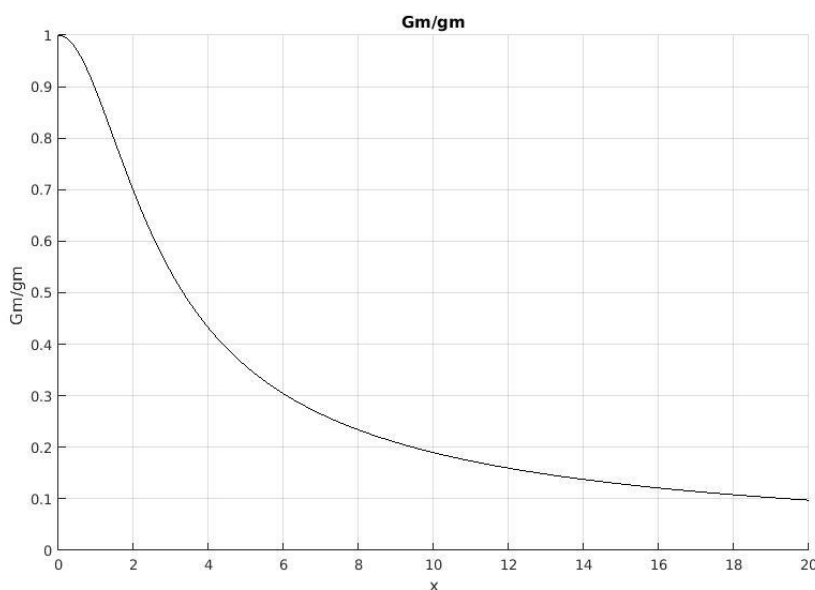
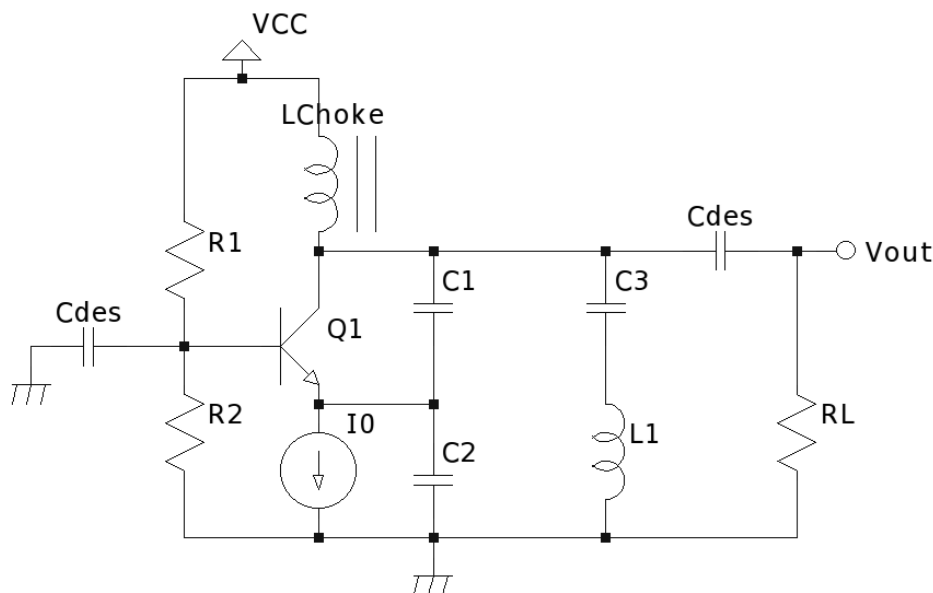
En el Oscilador de la Figura, Cdes son capacidades de desacople y LChoke es una inductancia de valor muy alto.

- a) Determinar frecuencia de oscilación, condición de oscilación y condición de arranque del oscilador.
- b) Determinar la amplitud de las oscilaciones en función de los datos del problema.
- c) ¿Qué ocurre con la amplitud de las oscilaciones si aumenta I0? Justifique claramente.

Datos:

$R1 = 33\text{ k}\Omega$, $R2 = 8,2\text{ k}\Omega$, $RL = 5\text{ k}\Omega$, $C1 = 3,3\text{ nF}$, $C2 = 120\text{ nF}$, $C3 = 330\text{ pF}$, $L1 = 20\text{ }\mu\text{Hy}$, $I0 = 1\text{ mA}$, $VCC = 14\text{V}$.

Para el transistor Q1: $VBE=0,7\text{V}$, $Vearly = \infty$.



Problema 3 (33 ptos):

En los sistemas de adquisición de datos, se define la Resolución Libre de Ruido (NFR, por sus siglas en inglés: Noise Free Resolution) como:

$$NFR = \log_2 \left(\frac{V_{ipp}}{6 v_{ni}^{RMS}} \right)$$

Donde V_{ipp} es la amplitud pico a pico a la entrada y v_{ni}^{RMS} es la tensión de ruido RMS equivalente a la entrada.

Se desea adquirir digitalmente la señal de un transductor cuya amplitud de señal pico a pico es 20mV. Para ello se usa un circuito de muestreo y un ADC como se muestra en la Figura 1.

- a) Si la llave se modela como una resistencia de 1kΩ, determine el valor necesario de la capacidad de muestreo para obtener una NFR=10bits.
- b) Para mejorar sensiblemente la resolución del sistema, se agrega una etapa previa de amplificación y un filtro pasa bajos de primer orden como se muestra en la Figura 2. Usando la décima parte de la capacidad de muestreo de la parte a), determine la nueva NFR del sistema.

Datos:

- $k_B=1.38 \times 10^{-23}$ J/K, $T=300$ K
- Amplificador: $A=100$ V/V, Voltaje de ruido equivalente a la entrada $V_{inA} = 2 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
- LPF: $f_{3dB}=10$ kHz

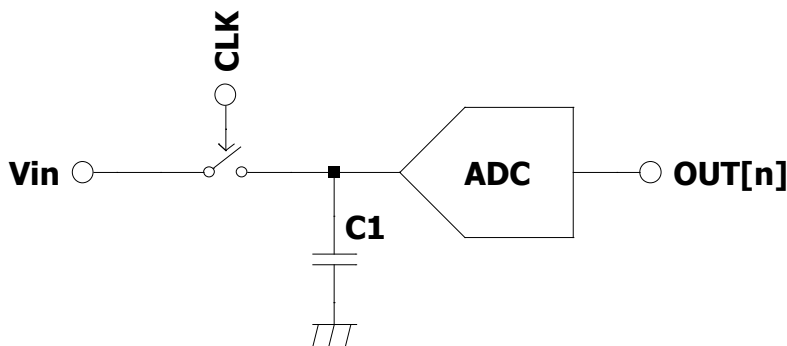


Figura 1

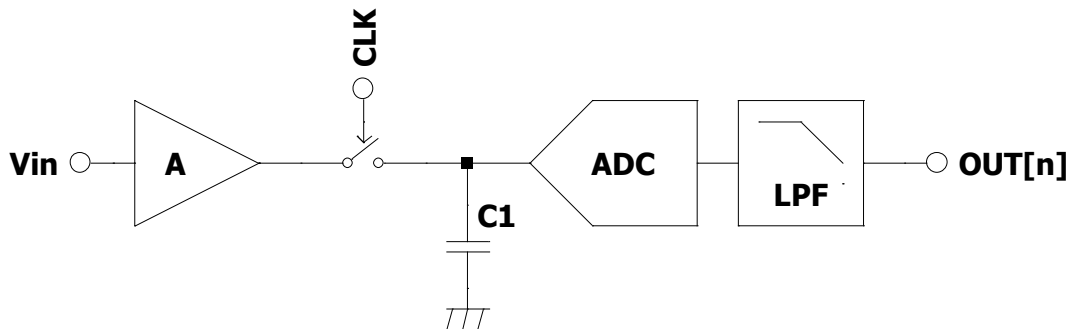


Figura 2

Problema

a) $R_{on} = \frac{1}{\mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{SG} - |V_{t1}|)} = \frac{1}{\mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{in}^{min} - |V_{t1}|)}$, cuando I_L^{min}

$V_{DS} = I_L^{min} \cdot R_{on} \Rightarrow I_L^{min} = \frac{V_{DS}}{\mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{in}^{min} - |V_{t1}|)}$
 $V_{in}^{min} = 0,95 V_{out} + V_{DS} = 0,95 \cdot 1,9V + 0,1V = 1,905V$ } $\Rightarrow I_L^{min} = 101 \mu A$

b) i) $\frac{v_{out}}{v_{out A.O.}} = -g_m r_{out}$; $r_{out} = r_{op} \parallel R_L \parallel (R_1 + R_2)$

$v_{out A.O.} = A_o (v_{fb} - v_{ref})$; $v_{fb} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_{out} = \beta v_{out}$ } \Rightarrow

$\Rightarrow r_{out} = -g_m r_{out} A_o (\beta v_{out} - v_{ref}) \Rightarrow G_{CL} = \frac{v_{out}}{v_{ref}} = \frac{g_m r_{out} A_o}{1 + g_m r_{out} A_o \beta}$

ii) Si $g_m r_{out} A_o \beta \gg 1$

$\Rightarrow G_{CL} \approx \frac{1}{\beta} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$

iii) Si $r_{op} \gg R_1 + R_2 \gg R_L \Rightarrow r_{out} \approx R_L \Rightarrow$ se debe cumplir $g_m R_L A_o \beta \gg 1$

$G_{CL} = \frac{v_{out}}{v_{REF}} = \frac{1,9V}{1,2V} = 1,58 \frac{V}{V} \Rightarrow \beta = 0,632 \frac{V}{V}$

$g_m R_L A_o \beta = \sqrt{2 \mu C_{ox} \frac{W}{L} \cdot I_L} \cdot \frac{v_{out}}{I_L} \cdot A_o \beta = \sqrt{2 \mu C_{ox} \frac{W}{L} \cdot \frac{1}{I_L^{min}}} \cdot 0,95 V_{out} A_o \beta =$
 $= \sqrt{\frac{2 \cdot 90 \mu A \cdot 8 \cdot 10^3}{V^2 \cdot 101 \mu A}} \cdot 0,95 \cdot 1,9V \cdot 100 \frac{V}{V} \cdot 0,632 = 431 \gg 1$

c) $I_{R1R2} < 0,01 I_L = 0,01 \cdot 10 mA = 100 \mu A \Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{v_{out}}{I_{R1R2}} > \frac{1,9V}{100 \mu A} = 19 k\Omega \Rightarrow R_1 + R_2 > 19 k\Omega$

$G_{CL} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = 0,583 \Rightarrow$ elegimos $R_2 = 15 k\Omega$ y $R_1 = 0,583 \cdot 15 k\Omega = 8,75 k\Omega$
 Verificamos $R_1 + R_2 > 19 k\Omega$: $R_1 + R_2 = 15 k\Omega + 8,75 k\Omega > 19 k\Omega$.

$$d) i) R_{out} = \frac{1}{g_{m A \beta}}$$

$$g_m(I_D = 60 \text{ mA}) = \sqrt{2 \mu G \times \frac{W}{L} \cdot 60 \text{ mA}} = \sqrt{2 \cdot 90 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 60 \text{ mA}} = 294 \text{ mS} \quad \Rightarrow$$

$I_L \approx I_D$, ya que $I_{E12} \ll I_L$

$$\Rightarrow R_{out} = \frac{1}{294 \text{ mS} \cdot 100 \frac{\text{V}}{\text{V}} \cdot 0,632 \frac{\text{V}}{\text{V}}} = 0,0533 \Omega \Rightarrow \boxed{R_{out} = 0,0533 \Omega}$$

$$ii) \Delta I_L = 60 \text{ mA} - 10 \text{ mA} = 50 \text{ mA}$$

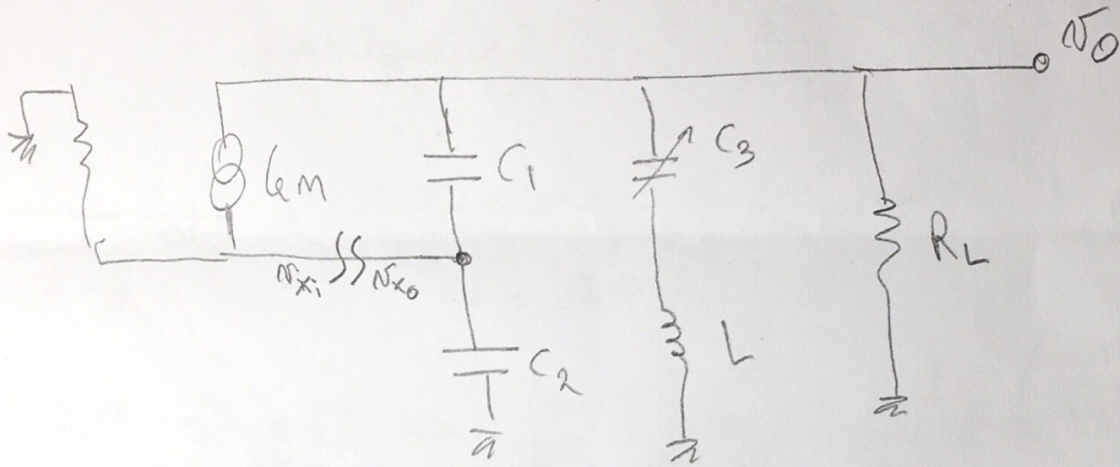
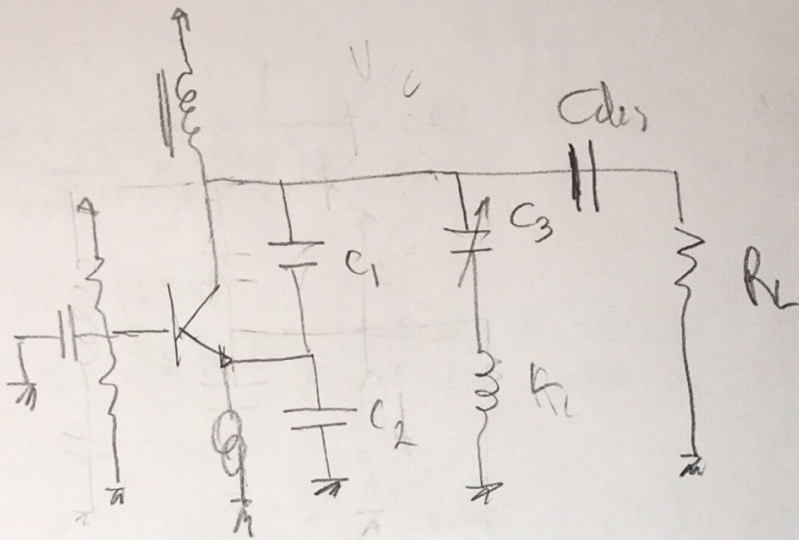
$$R_{out} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_L}$$

$$\Rightarrow \Delta V_{out} = 50 \text{ mA} \times 0,0533 \Omega = 2,69 \text{ mV}$$

$$\boxed{\Delta V_{out} = 2,69 \text{ mV}}$$

$$e) V_{off} = G_{CL} (V_{off \text{ A.O.}} + \Delta V_{REF}) = 1,58 \frac{\text{V}}{\text{V}} (4 \text{ mV} + 1 \text{ mV}) = 7,9 \text{ mV}$$

$$\boxed{V_{off} = 7,9 \text{ mV}}$$



$$\frac{1}{Z} = \frac{C_1 C_2 S}{C_1 + C_2} + \frac{1}{\frac{1}{C_3 S} + L S} + \frac{1}{R_L}$$

$$= S \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + \frac{C_3 S}{1 + L C_3 S^2} \right) + \frac{1}{R_L}$$

$$N_{X_0} = N_0 \cdot \frac{\frac{1}{C_2 S}}{\frac{1}{C_1 S} + \frac{1}{C_2 S}} = \frac{N_0 C_1 \beta}{\beta (C_1 + C_2)}$$

$$N_o = G_m N_{ix} \cdot Z$$

$$\frac{N_{xo}}{N_{xi}} = G_m Z \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2} = G_m \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{1}{s \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + \frac{C_3}{1 + LC_3 s^2} \right) + \frac{1}{R_L}}$$

$$\text{Im} \left(\frac{N_{xo}}{N_{xi}} \right) = \phi \Rightarrow \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + \frac{C_3}{1 - LC_3 \omega_{osc}^2} = \phi$$

$$-C_3 = \left(1 - LC_3 \omega_{osc}^2 \right) \cdot \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_3 + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 + C_2} - LC_3 \omega_{osc}^2$$

$$\omega_{osc}^2 = \frac{C_1 C_3 + C_2 C_3 + C_1 C_2}{C_1 C_2 C_3 \cdot L} = \frac{1}{L \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)}$$

$$\text{Re} \left(\frac{N_{xo}}{N_{xi}} \right) = 1$$

$$G_m \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot R_L = 1$$

COND. OSC.

$$G_m \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot R_L > 1$$

COND. ARR.

$$f_{osc} = 2 \text{ MHz}$$

$$b) \quad g_m = \frac{1 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 38,5 \text{ mS}$$

$$r_o = 53 \text{ k}\Omega$$

$$R_A = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_L = 5 \text{ k}\Omega$$

$$C_2 = 120 \text{ nF}$$

$$C_1 = 3,3 \text{ nF}$$

$$C_3 = 330 \text{ p}$$

$$L = 20 \text{ }\mu\text{H}$$

$$g_m = \frac{C_1 + C_2}{C_1 R_L} = 7,9 \text{ ms}$$

FIGURA $\frac{g_m}{g_m} = f(x)$

$$\frac{g_m}{g_m} = 0,195 \Rightarrow X \approx 9,5$$

$$V_{op} = X \cdot 26 \text{ mV} \cdot N = 9,2 \text{ V}$$

c)

$$I_o \uparrow \Rightarrow g_m \uparrow \Rightarrow \frac{g_m}{g_m} \downarrow \Rightarrow X \uparrow \Rightarrow \text{Amplitud} \uparrow$$

↑
VALOR DE g_m DADO
POR LA COND. DE OSC.

↑
DE GRÁFICA.

3 (a) Circuito RC: $N_{hi}^{rms} = \sqrt{\frac{k_B T}{C}}$ $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \end{array} \right.$

$NFR \geq \log_2 \left(\frac{V_{iPP}}{6 N_{hi}^{rms}} \right) \Rightarrow N_{hi}^{rms} \leq \frac{V_{iPP}}{6 \cdot 2^{NFR}}$

$C \geq \frac{k_B T \cdot (6 \cdot 2^{NFR})^2}{V_{iPP}^2} \Rightarrow C_{min} = 39.1 \text{ pF}$

(b) $C = 39.1 \text{ pF} \Rightarrow f_{3dB}^{SKA} = \frac{1}{2\pi RC} = 4.07 \text{ MHz} \gg f_{3dB}^{LPF}$

\Rightarrow El ancho de banda equivalente de ruido está fijado por el filtro (LPF) a la salida.

$\Rightarrow B = \frac{\pi}{2} f_{3dB}^{LPF} = 15.7 \text{ kHz}$

$S_{no}^{TOT} = S_{na} \cdot A^2 + 4 k_B T R_{sw} = 4 \times 10^{-14} \frac{V^2}{Hz} + 166 \times 10^{-17} \frac{V^2}{Hz}$

Densidad de ruido total a la salida \leftarrow \leftarrow Suma de ruido del AMP

\Rightarrow Ruido equivalente a la entrada: $N_{hi}^{rms} = \frac{\sqrt{S_{no}^{TOT} \cdot B}}{A} = 0.25 \mu V_{rms}$

$\Rightarrow NFR = \log_2 \left(\frac{V_{iPP}}{6 N_{hi}^{rms}} \right) = 13.7 \text{ bits}$