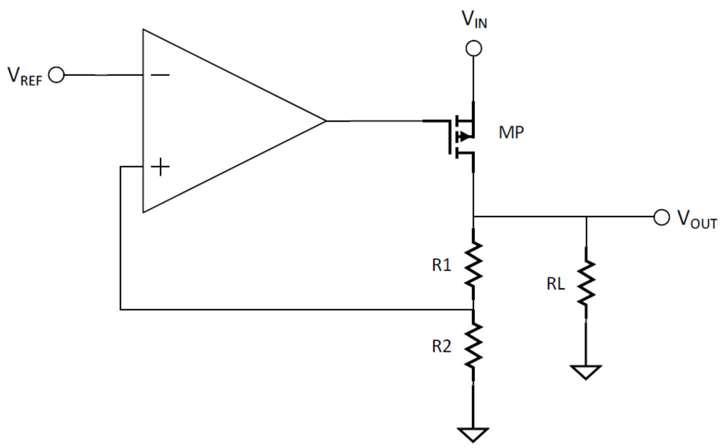
# Parcial de Electrónica Avanzada 2
# 06/07/2023

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 (33 ptos):

Se desea diseñar el regulador lineal con transistor de paso pMOS de la figura. El regulador debe ser tal que $V_{REF}$=1 V, $V_{OUT}$=1.4 V y la corriente que se debe entregar a la carga, $I_L$, puede variar entre 10 mA y 120 mA. La tensión $V_{IN}$ es tal que el regulador funciona correctamente. El amplificador operacional tiene ganancia $A_0$=120 V/V y está alimentado en 3.3 V. El transistor es tal que $|V_{t0}|$=0.5 V, $\mu C_{ox}$=90 $\mu A/V^2$ y sus dimensiones mínimas posibles son $L_{min}=W_{min}$=0.8 $\mu$m. Puede despreciar el efecto de la resistencia de salida del transistor.

a) Dimensionar el transistor de paso tal que ocupe un área menor a 6000 $\mu m^2$ y tenga una tensión de *dropout* de 0.15 V cuando $I_L$=120 mA.
b) Obtener una expresión analítica de la ganancia de lazo cerrado $v_{out}/v_{ref}$.
c) Calcular R1 y R2 para cumplir las especificaciones enunciadas al comienzo y que la corriente por R1 y R2 sea menor al 5% de $I_L$.
d)
   i. Calcular la regulación de línea $v_{out}/v_{in}$ cuando $I_L$=100 mA.
   ii. Si $V_{IN}$ presenta una variación de 300 mV, ¿cuál será la variación en $V_{OUT}$?



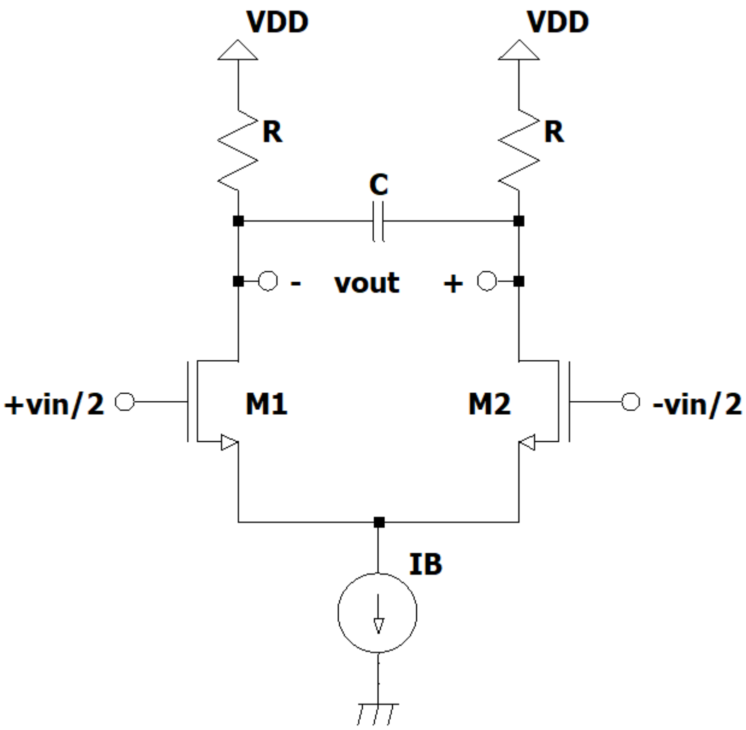
**Problema 2 (33 ptos):**

Se desea calcular el ruido RMS equivalente a la entrada del par diferencial de la figura. Para los transistores, considere sólo el ruido térmico. Puede considerar además que la fuente de corriente IB no aporta ruido, excepto donde se indica lo contrario. La temperatura en todo el problema es T=300K.

a) Calcule la densidad espectral de potencia de ruido en tensión a la salida del circuito.
b) Calcule la tensión RMS de ruido a la salida.
c) Calcule la tensión RMS de ruido equivalente a la entrada.
d) Si ahora consideramos el ruido de la fuente de corriente IB, ¿cómo afecta al resultado obtenido? Justifique su respuesta.

**Datos**:

- VDD=5V, IB=100µA, R=40kΩ, C=40pF.
- MOS: Vt=0.8V, β=10mA/$V^2$, n=1.5



## Problema 3 (34 ptos):

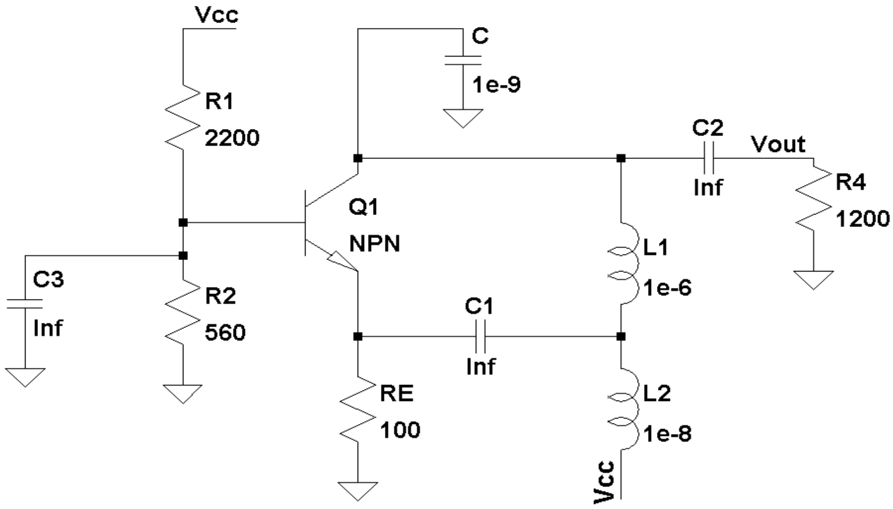
Para el circuito de la figura calcule:

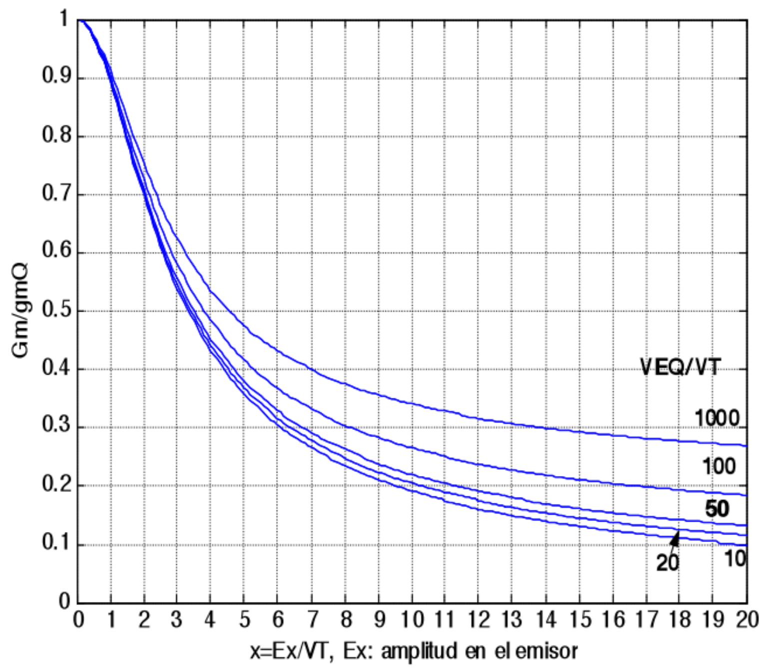
a) Frecuencia y condición de oscilación.
b) Amplitud de oscilación.
c) Si se sabe que las resistencias usadas tienen una incertidumbre del 5%, se puede asegurar que el circuito arrancará a oscilar? Justifique.

Se sabe que el condensador C esta dañado y como consecuencia su verdadero valor es la mitad del nominal, y tiene fugas asociadas que se pueden asociar a una resistencia paralela de 1 kΩ.

d) Calcule la nueva amplitud y frecuencia de oscilación.

**Datos:** Vcc = 10V, $V_{BE}$ = 0,7V

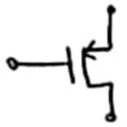


# Electrónica Avanzada 2 - Segundo parcial - 6/7/2023

## Problema 1

a)



$$+ \quad V_{DO} = R_{ON} \cdot I_L^{máx} \quad -$$

$$R_{ON} = \frac{1}{\mu C_{ox} \frac{W}{L} \cdot (V_{SG} - |V_{to}|)} = \frac{1}{\mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{in}^{mín} - |V_{to}|)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{W}{L} = \frac{1}{R_{ON} \cdot \mu C_{ox} (V_{in}^{mín} - |V_{to}|)} = \frac{I_L^{máx}}{V_{DO} \mu C_{ox} (V_{in}^{mín} - |V_{to}|)}$$

$$V_{in}^{mín} = 0{,}95 \times V_{OUT} + V_{DO} = 0{,}95 \times 1{,}4V + 0{,}15V = 1{,}48V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{W}{L} = \frac{120mA}{0{,}15V \cdot 90\frac{\mu A}{V^2} \cdot (1{,}48V - 0{,}5V)} = 9070$$

Si $\boxed{L = 0{,}8\mu m} \Rightarrow W^{mín} = 0{,}8\mu m \times 9070 = 7256\mu m \Rightarrow \boxed{W = 7260\mu m}$

$W \times L = 7260\mu m \times 0{,}8\mu m = 5805\mu m^2 < 6000\mu m^2$

b)

$$\frac{v_{out}}{v_g} = -g_m r_{out}$$

$$v_g = A_o (v_{fb} - v_{ref})$$

$$v_{fb} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_{out} = \beta v_{out}$$

$$\Rightarrow v_{out} = -g_m r_{out} A_o (\beta v_{out} - v_{ref}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{v_{out}}{v_{ref}} = \frac{g_m r_{out} A_o}{1 + g_m r_{out} A_o \beta}} \quad \text{con} \quad r_{out} = r_o \| R_L \| (R_1 + R_2)$$

c) $I_{R_1R_2} < 0{,}05 \cdot I_L^{mín} = 0{,}05 \cdot 10mA = 0{,}5mA$

$$R_1 + R_2 = \frac{V_{OUT}}{I_{R_1R_2}} > \frac{1{,}4V}{0{,}5mA} = 2{,}8k\Omega \Rightarrow R_1 + R_2 > 2{,}8k\Omega$$

Si $g_m r_{out} A_o \beta \gg 1 \Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{ref}} = \frac{1}{\beta} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$

$$\frac{v_{out}}{v_{ref}} = \frac{1{,}4V}{1V} = 1{,}4$$

$$\Rightarrow \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1{,}4 \Rightarrow R_1 = 0{,}4R_2 =$$

$\Rightarrow$ Si $\boxed{R_2 = 2{,}2k\Omega} \Rightarrow \boxed{R_1 = 880\Omega}$ $\rangle$ se cumple $R_1 + R_2 = 3{,}08k\Omega > 2{,}8k\Omega$

Electrónica Avanzada 2 - segundo parcial 2023

Verificación de $g_m r_{out} A_o \beta \gg 1$:

$$g_m = \sqrt{2\mu C_{ox} \frac{W}{L} \cdot I_L^{min}} = \sqrt{2 \cdot 90 \frac{\mu A}{V^2} \cdot \frac{7260}{0,8} \cdot 10mA} = 128mS \quad (1)$$

$$r_{out} = r_o \| R_L \| (R_1 + R_2) = 500k\Omega \| 140\Omega \| 3,08k\Omega = 134\Omega \quad (2)$$

$$R_L = \frac{V_{OUT}}{I_L^{min}} = \frac{1,4V}{10mA} = 140\Omega$$

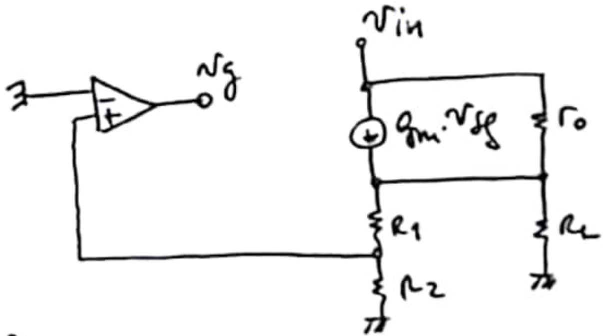
$$\beta = \frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{2,2}{3,08} = 0,714$$

$A_o = 120 V/V$

$$\overset{1,2}{\Rightarrow} g_m \cdot r_{out} \cdot A_o \cdot \beta = 128mS \cdot 134\Omega \cdot 120 \cdot 0,714 = 1470$$

$$\Rightarrow g_m r_{out} A_o \beta \gg 1 .$$

d) $v_{fb} = v_{out} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} \quad (1)$




$$\left.\begin{array}{l} A_o \cdot v_{fb} = v_g \\ v_{sg} = v_{in} - v_g \end{array}\right] \Rightarrow v_{sg} = v_{in} - A_o \cdot v_{fb} \quad (2)$$

$$g_m v_{sg} = \frac{v_{out}}{R_L \| (R_1+R_2)} + \frac{v_{out} - v_{in}}{r_o} = v_{out} \underbrace{\left[ \frac{1}{R_L \| (R_1+R_2)} + \frac{1}{r_o} \right]}_{\shortparallel} - \frac{v_{in}}{r_o} \Rightarrow$$

$$\left( \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1+R_2} + \frac{1}{r_o} \right)^{-1} = \frac{1}{R_L \| (R_1+R_2) \| r_o}$$

$$\Rightarrow g_m v_{sg} = v_{out} \left( \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1+R_2} + \frac{1}{r_o} \right) - \frac{v_{in}}{r_o} \quad (3)$$

De 1 y 2: $v_{sg} = v_{in} - A_o \cdot v_{out} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}$ $\Rightarrow$

$$\Rightarrow g_m \left[ v_{in} - A_o \cdot v_{out} \frac{R_2}{R_1+R_2} \right] = v_{out} \cdot \left( \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1+R_2} + \frac{1}{r_o} \right) - \frac{v_{in}}{r_o} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left( g_m + \frac{1}{r_o} \right) \cdot v_{in} = \left( g_m A_o \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1+R_2} + \frac{1}{r_o} \right) \cdot v_{out} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m + 1/r_o}{g_m A_o \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1+R_2} + \frac{1}{r_o}}$$

Electrónica Avanzada 2 - Segundo parcial 6/7/2023 

$$I_L = 100mA \Rightarrow g_m = \sqrt{2 \mu C_{ox} \frac{W}{L} I_L} = \sqrt{2 \cdot 90 \frac{\mu A}{V^2} \cdot \frac{7260}{0,8} \cdot 100mA} = 404 mS$$

$$R_L = \frac{V_{OUT}}{I_L} = \frac{1,4V}{100mA} = 14\Omega$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{404mS + \frac{1}{500k\Omega}}{404mS \cdot 120 \cdot \frac{2,2k\Omega}{3,08k\Omega} + \frac{1}{14\Omega} + \frac{1}{3,08k\Omega} + \frac{1}{500k\Omega}} = 0,0116$$

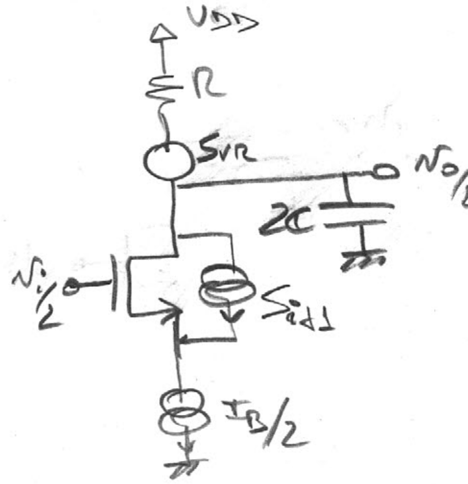
$$\boxed{\frac{v_{out}}{v_{in}} = 0,0116}$$

ii) $\Delta V_{IN} = 300mV \Rightarrow \Delta V_{OUT} = 0,0116 \times 300mV = 3,5mV \Rightarrow \boxed{\Delta V_{OUT} = 3,5mV}$.

# 2do PARCIAL EA2 2023

(1)

(a) Divido a la mitad y agrego las fuentes de ruido




- $\dfrac{v_o}{v_i} = \dfrac{g_m R}{1 + s/\omega_p}$ , $\omega_p = \dfrac{1}{2RC}$

- $S_{v_{out}} = \left(S_{v_R} + S_{id1} \underset{\uparrow}{R^2}\right) \times \underset{\uparrow \text{ dos mitades}}{2}$

$\left(\dfrac{v_o}{i_d} = R\right)$

$\begin{cases} S_{v_R} = 4 k_B T R \\ S_{id_1} = \dfrac{8}{3} n k_B T g_{m1} \end{cases}$ $g_{m1} = \sqrt{\dfrac{2\beta I_B/2}{n}} = 817\ \mu A/V$

$\Rightarrow g_{m1} R = 32{,}7\ V/V$

$\Rightarrow \boxed{S_{v_{out}} = 8 k_B T R \left(1 + \frac{2}{3} n\, g_{m1} R\right)} \Rightarrow S_{v_{out}} = 4{,}46\times10^{-14}\ V^2/Hz$

$\left(v_{n_{out}} = 0{,}21\ \mu V/\sqrt{Hz}\right)$

(b) $(v_{o\,rms})^2 = S_{v_{out}} \cdot B_{eq}$

$B_{eq} = \dfrac{\pi}{2} f_p = \dfrac{1}{8RC}$

$\Rightarrow \boxed{(v_{o\,rms})^2 = \dfrac{k_B T}{C}\left(1 + \frac{2}{3} n\, g_{m1} R\right)}$

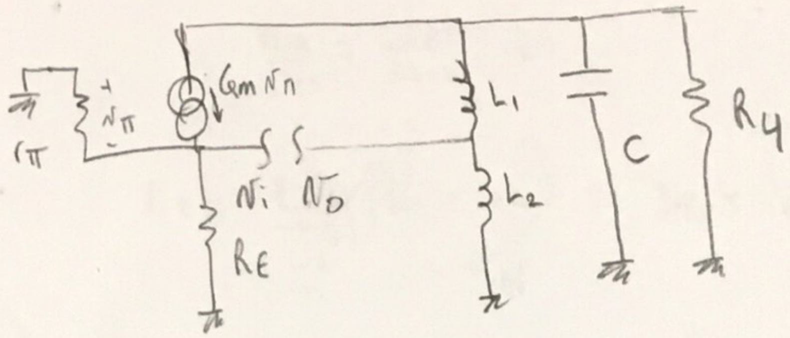
$\Rightarrow \boxed{v_{o\,rms} = 59\ \mu V_{rms}}$

(c) $v_{i\,rms} = \dfrac{v_{o\,rms}}{g_{m1} R} \Rightarrow \boxed{v_{i\,rms} = 1{,}81\ \mu V_{rms}}$

(d) El ruido de la fuente $I_B$ NO AFECTA el resultado. La corriente de ruido de la fuente $I_B$ se divide en partes iguales y aparece en las salidas a cada lado del par. Al originarse de una misma fuente de ruido, las tensiones de ruido resultantes están 100% correlacionadas y se cancelan entre sí cuando se toma la salida diferencial.

Problema 3)

a)




$$Z = (L_1+L_2)s \parallel \frac{1}{Cs} \parallel R_4$$

$$v_o = G_m v_i \, Z \cdot \frac{L_2 s}{(L_1+L_2)s} = G_m v_i \frac{L_2 s}{(L_1+L_2)s} \frac{1}{\frac{1}{(L_1+L_2)s} + Cs + \frac{1}{R_4}}$$

$$= G_m v_i \frac{L_2 s}{\cancel{(L_1+L_2)s}} \cdot \frac{R_4 \cancel{(L_1+L_2)s}}{R_4 + R_4(L_1+L_2)Cs^2 + (L_1+L_2)s} =$$

$$= \frac{G_m v_i \quad L_2 \cdot R_4 \cdot s}{R_4(L_1+L_2)Cs^2 + (L_1+L_2)s + R_4}$$

$s = j\omega \quad \omega_{osc} \ ? \quad Im = 0 \Rightarrow -\omega^2 C \cdot (L_1+L_2) R_4 + R_4 = \phi$

$$\rightarrow \omega^2 = \frac{1}{C(L_1+L_2)} \Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{(L_1+L_2)C}} \Rightarrow \boxed{f_{osc} = 5 \text{ MHz}}$$

Cond. Osc. $\quad \frac{G_m L_2 R_4}{L_1+L_2} = 1 \Rightarrow \boxed{G_m = \frac{L_1+L_2}{L_2 R_4}} = 0{,}084\,\Omega^{-1}$

b)

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} - V_{BE}}{R_E} = \frac{1{,}33\,V}{100\,\Omega} = 13{,}3\,mA \Rightarrow g_{mQ} = \frac{I_{CQ}}{V_T} = 0{,}51\,\Omega^{-1}$$

$$\frac{G_m}{g_{mQ}} = 0{,}165 \Rightarrow X \cong 15 \Rightarrow E_x = X \cdot V_T = 0{,}39\ V$$

DE LA GRÁFICA

$$\frac{V_{EQ}}{V_T} = \frac{1{,}33V}{26mV} = 51{,}1$$

$$E_t = \frac{E_x}{L_2} \cdot (L_1 + L_2) = 39{,}4\ V$$

N

c) PEOR CASO $I_{CQmin} \Rightarrow R_{2min}, R_{1max}, R_{Emax}$.

$\Rightarrow I_{CQmin} = 0{,}011\ A. \Rightarrow g_{mQ\,min} = 0{,}43\ \Omega^{-1}$

EN EL ARRANQUE $(x=0)$ $G_m = g_{mQ}$ SE DEBE CUMPLIR $G_m > G_{m\,COND\,OSC}$

$0{,}43\ \Omega^{-1} > 0{,}084\ \Omega^{-1}$ ✓

d)

$$f^*_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1+L_2)\frac{C}{2}}} = 7{,}1\ MHz.$$

$$G_m^* = \frac{L_1+L_2}{L_2} \cdot \frac{1}{R_4 // R_{Cp2r}} = 0{,}185$$

$$\frac{G_m^*}{g_{mQ}} = 0{,}362 \Rightarrow X^* \cong 5{,}5 \Rightarrow E_x = X^* \cdot V_T = 0{,}14 \Rightarrow E_t = 14{,}4\ V$$

DE LA GRÁFICA