

Prueba Final de Electrónica Avanzada 2
16/07/2020

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas.

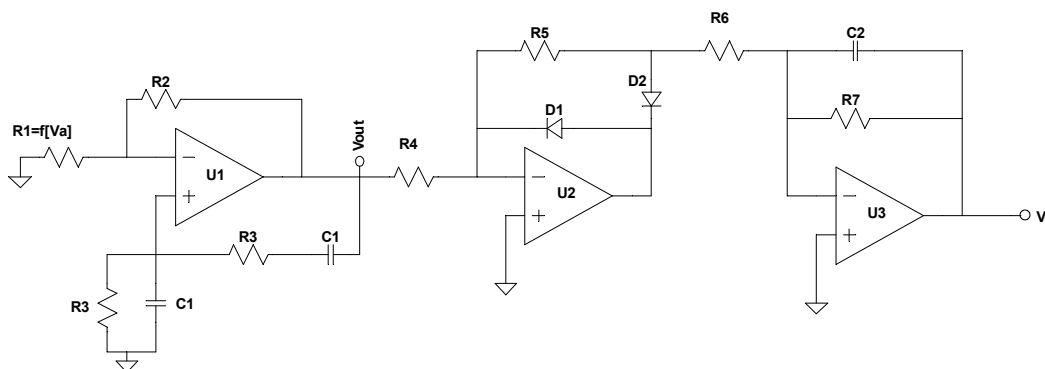
La prueba es **sin** material.

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

Problema 1 (27 pts):

Se considera el circuito de la figura. La resistencia R1 es dependiente de la tensión Va.

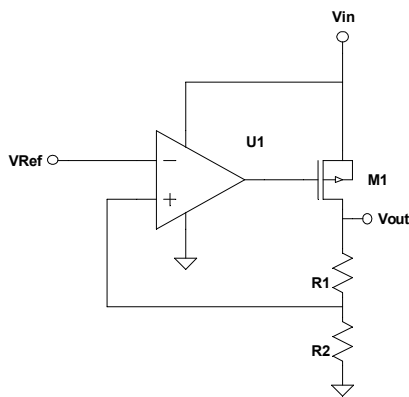
- Calcular la condición de oscilación y la frecuencia de oscilación.
- Hallar qué condición debe cumplir R1 para que el oscilador arranque cuando Va=0. ¿R1 debe ser creciente o decreciente con Va, para estabilizar la amplitud de salida Vout?
- Si R3=R4=R5=R6=10 kΩ y R7=4.7 kΩ, diseñar C1 y C2 para que la frecuencia de oscilación sea de 10 kHz y el circuito funcione correctamente.



Problema 2 (24 pts):

Se considera un regulador lineal con transistor de paso pMOS, donde Vref=1.1V, Vout=1.6V, la máxima corriente que se debe entregar a la carga es IL máx=100 mA y la ganancia del amplificador operacional es A0=100 V/V.

- Dimensionar el ancho W del transistor de paso para tener una mínima tensión de Dropout igual a 0.1 V. El transistor es tal que L= 1μm, Vt0=-0.5 V y μCox=90 μA/V².
- Obtener una expresión analítica de la ganancia de lazo GCL=Vout/Vref.
- Calcular la eficiencia de conversión de potencia del regulador en función de R1, R2, la corriente a tierra del amplificador operacional (IAO gnd) y la corriente entregada a la carga (IL).
- Diseñar R1 y R2 para que la eficiencia sea máxima, considerando el caso en que IL = 80 mA e IAO gnd = 10 μA.
- Se tiene un escalón de carga de aumento ΔIL=10 mA. Si la constante de tiempo del lazo es ΔtR=40 ns y a la salida se tiene un condensador Co=22 nF, ¿cuánto disminuye la tensión Vout durante el transitorio?



Problema 3 (27 ptos):

Se desea diseñar un amplificador de dos etapas como el de la Figura. El mismo usará los siguientes datos:

- $V_{tn} = |V_{tp}| = 0.8V, n_n = n_p = 1.4$
- $\mu_n C_{ox} = 125\mu A/V^2, \mu_p C_{ox} = 60\mu A/V^2$
- $V'_{An} = 12.5V/\mu m, V'_{Ap} = 25V/\mu m$
- $L = 2\mu m$ para todos los transistores, $W_7 = 5W_5 = 5W_8, (gm/ID)_1 = 10V^{-1}$
- $C_C = 1pF, C_2 = 3pF, C_1 = 0.5pF + kW_1$ donde $k = 80fF/\mu m$.

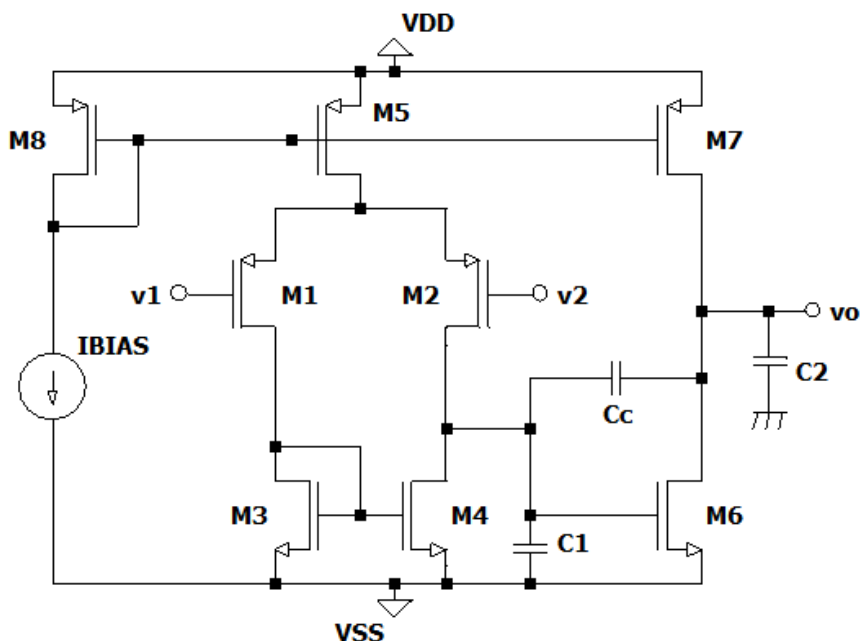
a) Dimensione el W de todos los transistores y determine el valor de IBIAS y el consumo total del circuito si se desea obtener un $f_T = 10MHz$, tensión de offset sistemático a la entrada cero y Output Swing $[VDD - 0.2V, VSS + 0.2V]$. ¿Cuál es la ganancia a bajas frecuencias del amplificador?

b) Si la posición relativa del polo no dominante del sistema de 2do orden que forma el amplificador se puede aproximar como:

$$NDP = \frac{gm_6}{gm_1} \cdot \frac{C_C^2}{C_1 C_2 + C_C(C_1 + C_2)}$$

y despreciamos la influencia del cero en el RHP que genera C_C , estime el Margen de Fase (PM) para el caso diseñado.

c) Estime el C_C necesario para obtener 60 grados de PM. ¿Qué f_T resulta con el nuevo C_C ?



Problema 4 (22 pts):

En el circuito de la Figura 1,

- a) Calcular el ruido total rms a la salida del filtro ¿Qué valor rms tiene que tener la señal V_i sinusoidal en la banda pasante del circuito si se desea tener una relación señal a ruido a la salida del mismo de 40dB?

Al circuito anterior se le agrega en la Figura 2 un preamplificador de ganancia $A=10$, ancho de banda que se supondrá infinito y densidad espectral equivalente de ruido a la entrada de $7 \times 10^{-17} \text{ V}^2/\text{Hz}$.

- b) Calcular el ruido total rms a la salida del filtro, teniendo en cuenta el ruido del amplificador y de las resistencias. ¿Qué valor rms tiene que tener la señal V_i sinusoidal en la banda pasante del circuito si se desea tener una relación señal a ruido a la salida del mismo de 40dB?

Dato: $kT @ 290^\circ \text{K} = 4 \times 10^{-21} \text{ W.s}$

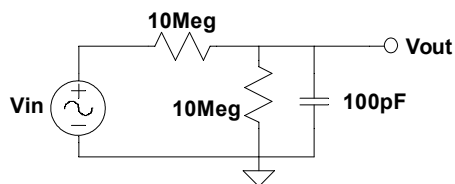


Figura 1

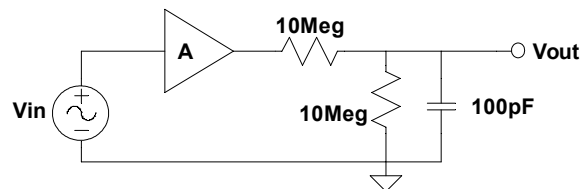
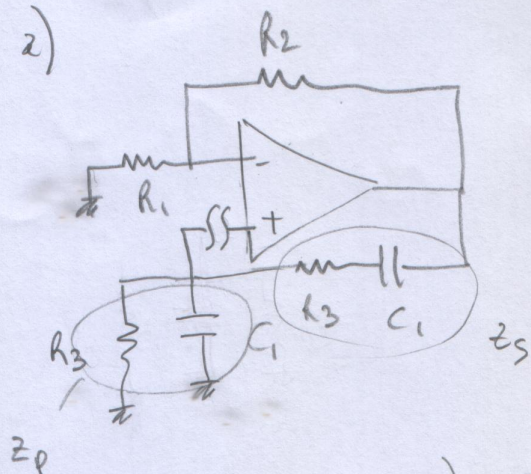


Figura 2

2)



$$L(s) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{z_p}{z_s + z_p}$$

$$z_p = \frac{R_3}{R_3 C_1 s + 1}, \quad z_s = R_3 + \frac{1}{C_1 s}$$

$$\frac{z_p}{z_s + z_p} = \frac{R_3}{(R_3 C_1 s + 1) \left(R_3 + \frac{1}{C_1 s} + \frac{R_3}{R_3 C_1 s + 1} \right)} = \frac{R_3}{R_3 + R_3^2 C_1 s + R_3 + R_3 + \frac{1}{C_1 s}}$$

$$= \frac{R_3}{R_3 \left(3 + R_3 C_1 s + \frac{1}{R_3 C_1 s} \right)}$$

$$L(j\omega) = \frac{1 + R_2/R_1}{3 + j \left(\omega C_1 R_3 - \frac{1}{\omega C_1 R_3} \right)}$$

$$L(j\omega) = 1 \Rightarrow \omega_{osc} C_1 R_3 = \frac{1}{\omega_{osc} R_3 C_1} \Rightarrow \boxed{\omega_{osc} = \frac{1}{R_3 C_1}}$$

$$\boxed{\frac{R_2}{R_1} = 2}$$

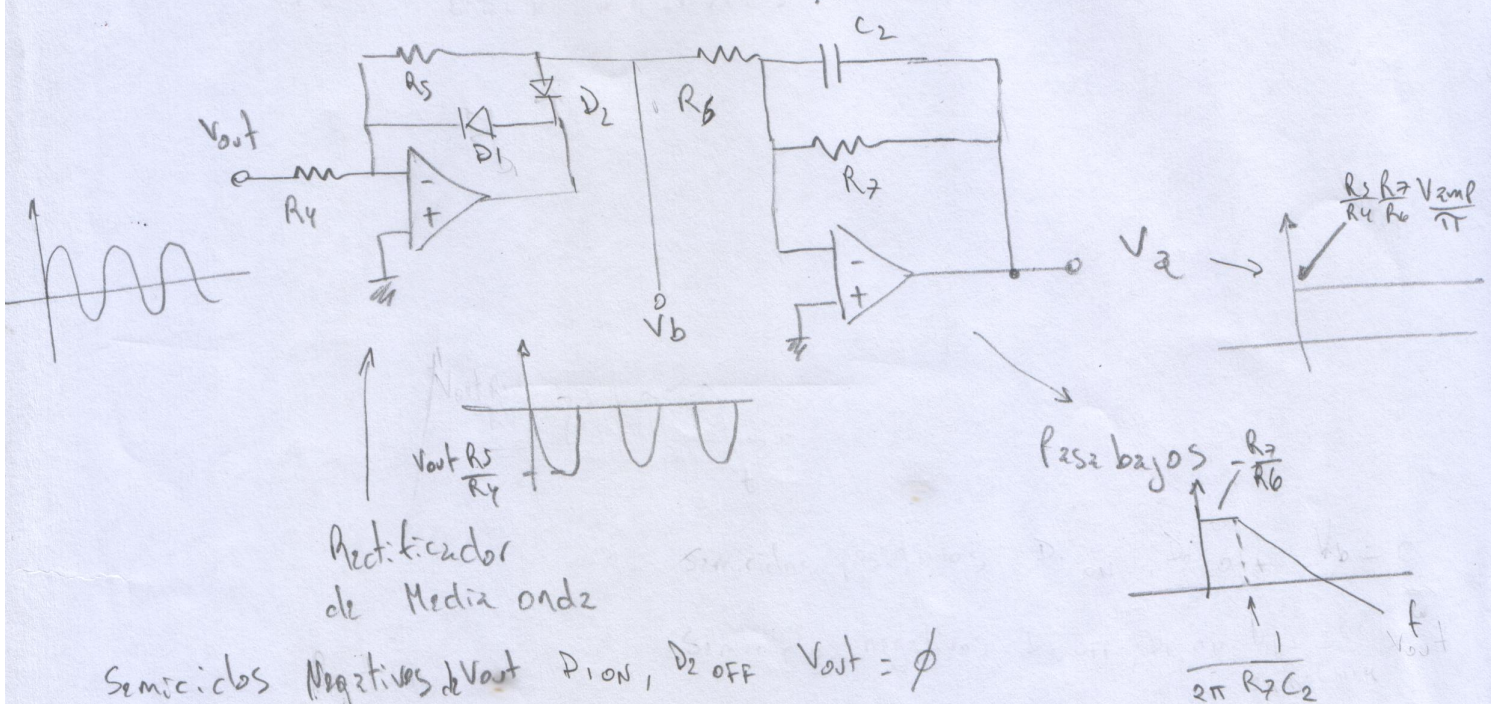
b)

$$\text{En el rango } L(j\omega) > 1 \Rightarrow \frac{1}{3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) > 1$$

$$\Rightarrow \frac{R_2}{R_1} > 2 \Rightarrow R_1 < \frac{R_2}{2}$$

R_1 debe ser creciente con V_2 de forma de pasar de la cond. de arranque $\frac{R_2}{R_1} > 2$ a la cond. de osc. $\frac{R_2}{R_1} = 2$ en la amplitud deseada.

c) En V_2 se desea obtener una tensión proporcional a la amplitud de las oscilaciones.



Rectificador de Media onda

Semiciclos Negativos de V_{out} D_1 ON, D_2 OFF $V_{out} = \phi$
 Semiciclos Positivos de V_{out} D_1 OFF, D_2 ON $V_{out} = -\frac{R_5}{R_4} V_{out}$

Pasebajos.

$$V_a = -V_b \cdot \frac{R_7 // \frac{1}{sC_2}}{R_6} = -V_b \frac{R_7/R_6}{(R_7 C_2 s + 1)}$$

Si $\omega_{osc} \gg \frac{1}{2\pi R_7 C_2}$ solo queda en V_a la componente de continua que es proporcional a la amplitud de las oscilaciones V_{emp}

$$V_p = \frac{R_5}{R_4} \cdot \frac{R_7}{R_6} \cdot \frac{V_{2mp}}{\pi}$$

c) Evaluando para $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 10k$ y $R_7 = 4,7k$

$$\omega_{osc} = \frac{1}{R_3 C_1} = 2\pi \cdot 10kHz \Rightarrow C_1 = \frac{1}{R_3 \cdot 2\pi \cdot 10kHz} = 1,6 nF$$

$$\omega_{osc} \gg \frac{1}{2\pi R_7 C_2} \Rightarrow C_2 \gg \frac{1}{2\pi R_7 \cdot 10kHz} = 3,4 nF$$

$$C_2 > 34 nF.$$

d) η máxima si $I_{R_1, R_2} \ll I_L + I_{A0 \text{ gnd}}$
 $I_L = 80 \mu\text{A}$ e $I_{A0 \text{ gnd}} = 10 \mu\text{A}$ } $\Rightarrow I_{R_1, R_2} \ll 80 \mu\text{A}$

$I_{R_1, R_2} = \frac{V_{OUT}}{R_1 + R_2} \ll 80 \mu\text{A}$
 $V_{OUT} = 1,6 \text{V}$ } \Rightarrow Elegimos $R_1 + R_2 \gg 200 \Omega$

Por otro lado $G_{CL} = \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} = \frac{1,6 \text{V}}{1,1 \text{V}} = 1,45 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ con G_{CL} hallada

en parte b) $G_{CL} = \frac{g_m R_{out} A_0}{1 + g_m R_{out} A_0 \beta}$ con $\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

$R_{out} = R_L \parallel (R_1 + R_2) \approx R_L = 20 \Omega$

$g_m = \sqrt{2 \frac{W}{L} \mu C_{ox} I_D}$ } $\Rightarrow g_m = \sqrt{2 \frac{W}{L} \mu C_{ox} I_L} = 0,378 \text{ S}$

$I_D = I_L + I_{R_1, R_2} \approx I_L$

$\Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,688 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ } $\Rightarrow R_2 \gg 137,6 \Omega \rightarrow$ Elegimos

Como $R_1 + R_2 \gg 200 \Omega$

$R_2 = 150 \Omega$
$R_1 = 91 \Omega$

e) $\Delta W_{DUMP} = \frac{\Delta I_L}{C_0} \cdot \Delta t_{TR} = \frac{10 \mu\text{A}}{22 \text{nF}} \cdot 40 \text{ns} = 18 \text{mV}$

Problema 2

a) $\frac{W}{L} \gg \frac{I_{L\max}}{\mu C_{ox} (V_{in\min} - |V_{to}|) V_{DD}}$, con $I_{L\max} = 0,1A$,

$\mu C_{ox} = 90 \mu A/V^2$, $V_{to} = -0,5V$, $V_{DD} = 0,1V$, $V_{in\min} = 0,95 V_{out} + V_{DD}$

Entonces: $\frac{W}{L} \gg 9921$, con $L = 1 \mu m \Rightarrow \boxed{W = 9921 \mu m} = 1,62V$

b) $\frac{v_{out}}{v_{outAO}} = -g_m r_{out}$, $r_{out} = R_L \parallel (R_1 + R_2)$

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

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

c) $\eta = \left(\frac{I_L}{I_L + I_{gnd}} \right) \cdot \frac{v_{out}}{v_{in}}$

$I_{gnd} = I_{Aognd} + I_{R1,R2}$

$I_{R1,R2} = \frac{v_{out}}{R_1 + R_2}$

$\Rightarrow \boxed{\eta = \left[\frac{I_L}{I_L + I_{Aognd} + \frac{v_{out}}{R_1 + R_2}} \right] \cdot \frac{v_{out}}{v_{in}}}$

(a) \downarrow Aproximação de primeira ordem

$$f_T = \frac{1}{2\pi} \frac{g_{m1}}{C_c} \Rightarrow g_{m1} = 62,8 \mu A/V$$

$$I_{D1} = \frac{g_{m1}}{(g_{m1}/I_{D1})_1} = 6,28 \mu A \Rightarrow I_{BIAS} = 2I_{D1} \Rightarrow \boxed{I_{BIAS} = 12,6 \mu A}$$

($W_5 = W_8$)

$$(g_{m1}/I_{D1})_1 = \frac{2}{V_{GS1} - V_{tp}} \Rightarrow (V_{GS1} - V_{tp}) = 200 mV$$

$$\Rightarrow (W/L)_1 = \frac{2n_p I_{D1}}{\mu_n C_{ox} (V_{GS1} - V_{tp})^2} \Rightarrow (W/L)_1 = 7,33 \Rightarrow \boxed{W_1 = 14,7 \mu m}$$

$L = 2 \mu m$

$$W_7 = 5W_8 \Rightarrow I_{D7} = I_{D8} = 5I_{BIAS} = 62,8 \mu A$$

OUTPUT SWING: $V_{DD} - 0,2V \rightarrow V_{SS} + 0,2V$
 $\hookrightarrow V_{SAT7} = 0,2V$ $\hookrightarrow V_{SAT6} = 0,2V$

$$V_{SAT} = \frac{V_{GS} - V_{te}}{n} \Rightarrow \left. \begin{aligned} (V_{GS7} - V_{tp}) &= 280 mV \Rightarrow (W/L)_7 = 37,4 \\ (V_{GS6} - V_{tn}) &= 280 mV \Rightarrow (W/L)_6 = 17,95 \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow \boxed{W_7 = 74,8 \mu m} \quad \rightarrow \quad \boxed{W_6 = 35,9 \mu m}$$

Offset sistemático nulo: $V_{GS6} = V_{GS3}$

$$I_{D3} = I_{D1} = 6,28 \mu A \Rightarrow (W/L)_3 = \frac{2n_n I_{D1}}{\mu_n C_{ox} (V_{GS6} - V_{tn})^2} = 1,80$$

$$\Rightarrow \boxed{W_3 = 3,60 \mu m}$$

$$\bullet I_{DD} = I_{D8} + I_{D3} + I_{D7} = 8I_{BIAS} \Rightarrow \boxed{I_{DD} = 100 \mu A}$$

sigue (e)

GANANCIA: $\Delta = \frac{V_o}{V_i - V_i} = \Delta_1 \cdot \Delta_2$

$\Delta_1 = g_{m1} (\Gamma_{o2} \parallel \Gamma_{o4})$: GANANCIA EN DIF. LO CARGA ACTIVO

$\Delta_2 = g_{m6} (\Gamma_{o6} \parallel \Gamma_{o7})$: GANANCIA SOURCE - COMMON

$\Gamma_o = \frac{V_o' \cdot L}{I_D} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Gamma_{o2} = 7,96 \text{ n}\Omega \\ \Gamma_{o4} = 3,98 \text{ n}\Omega \\ \Gamma_{o6} = 398 \text{ u}\Omega \\ \Gamma_{o7} = 796 \text{ u}\Omega \end{array} \right.$

$g_{m1} = 62,8 \mu\text{A/V}^2$

$g_{m6} = \sqrt{\frac{2\mu_n C_{ox}(W/L)_6 I_{D6}}{n}} = 0,45 \text{ mA/V}^2$

$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Delta_1 = 167 \text{ V/V} \\ \Delta_2 = 119 \text{ V/V} \end{array} \right. \Rightarrow \Delta = 19,8 \times 10^3 \text{ V/V}$
 $\Rightarrow \boxed{\Delta \approx 86 \text{ dB}}$

(b) $C_1 = 0,5 \text{ pF} + k \cdot W_1 \mid \Rightarrow C_1 = 1,67 \text{ pF}$
 $k = 80 \text{ fF}/\mu\text{m}$

$\Rightarrow \text{NDP} = \frac{g_{m6}}{g_{m1}} \frac{C_c^2}{C_1 C_2 + C_c(C_1 + C_2)} = 0,74$

$\text{PM} \approx 90 - \text{ATAN}\left(\frac{1}{\text{NDP}}\right) \Rightarrow \boxed{\text{PM} = 36,4^\circ}$
 (Aproximación de 1º orden)

(c) $\text{PM} = 60^\circ \Rightarrow \text{NDP} = 1,73$

$\Rightarrow C_c^2 - \frac{g_{m1}}{g_{m6}} \text{NDP} (C_1 + C_2) C_c - \frac{g_{m1}}{g_{m6}} \text{NDP} C_1 C_2 = 0$

$\Rightarrow C_c = \left\{ \begin{array}{l} 1,81 \text{ pF} \checkmark \\ -0,67 \text{ pF} \times \end{array} \right. \Rightarrow \boxed{C_c = 1,81 \text{ pF}}$
 $\boxed{f_f = 5,54 \text{ MHz}}$