EXAMEN DE ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL
12/08/2020

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 (40 puntos)

En el amplificador de la Figura 1, las fuentes de corriente requieren una caída de tensión mínima en bornes Vmin para operar correctamente y se supondrá tienen resistencia de salida infinita. A menos que se indique lo contrario, se supondrá que las tensiones continuas V_{REF} y V_{DD} son tales que los transistores operan en saturación y las fuentes de corriente pueden operar correctamente. Los capacitores C1 y C2 se supondrán infinitos. Los transistores tienen los datos siguientes: $\beta_n = \beta_p = \beta$, $\delta_n = \delta_p = \delta$, $V_{t0n} = -V_{t0p} = V_{t0}$, $V_{An} = V_{Ap} = V_A$. La resistencia RF = V_A/I.

a) Determinar la corriente continua de drain por M1 (I_{DM1}) y M2 (I_{DM2}), y la tensión de continua en la salida v_O (V_O). Justifique su respuesta.

b) Determinar el máximo valor que puede tener la tensión V_{REF} para que el circuito opere tal como se supuso.

c) Determinar la ganancia (v_o/v_i) y la resistencia de entrada en la banda pasante.

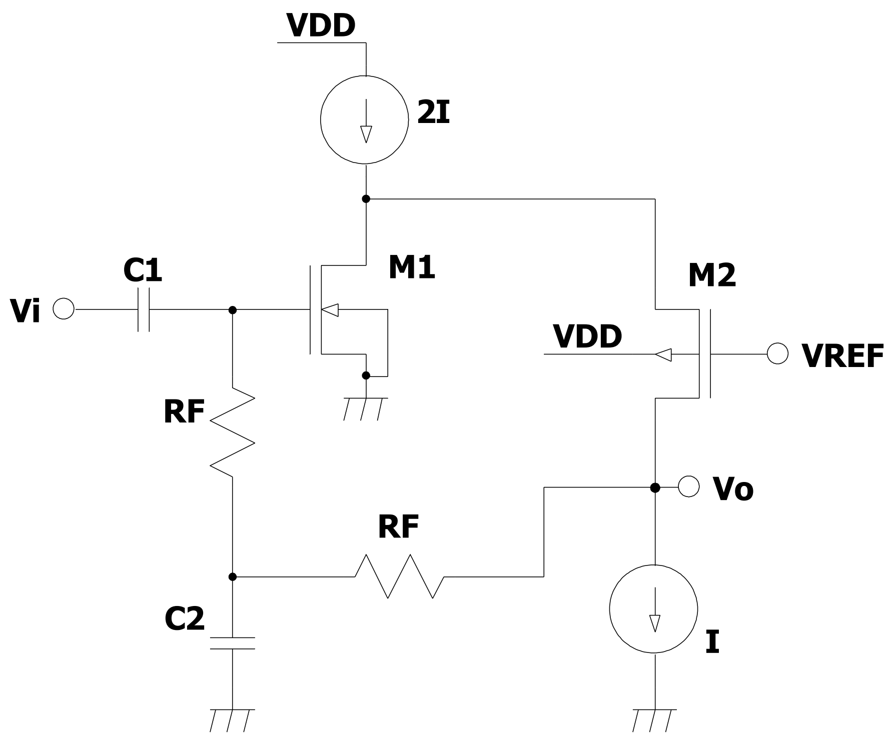


Figura 1

PROBLEMA 2 (40 puntos)

El amplificador de la Fig. 2(b) tiene como especificación contar con dos modos de ganancia para amplificar una señal Vin, que se espera se encontrará en torno de dos posibles rangos de amplitud, estos rangos esperados son de amplitudes en el entorno de 25 mV y de 2.5 V. Los modos de ganancia se manejarán con la señal High_Gain.

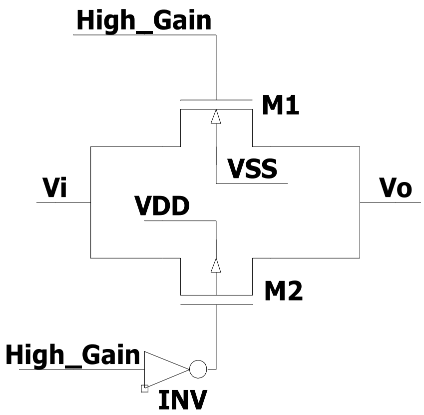


Figura 2(a)

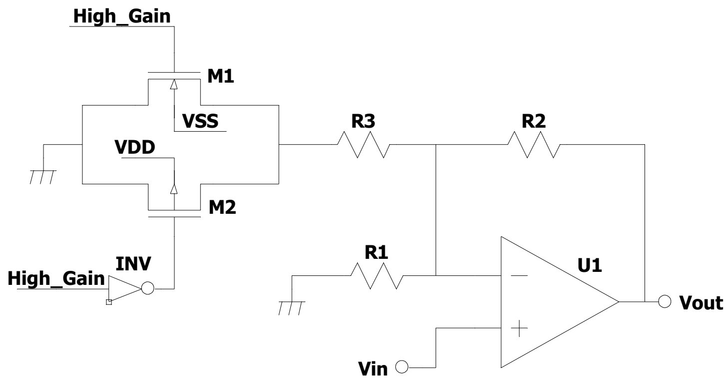


Figura 2(b)

Datos:
Transistores: $\beta n = \beta p = 20\ mA/V^2$, $V_{t0n} = |V_{t0p}| = 1\ V$, $\delta n = \delta p = 0.2$
OpAmp (U1): ICMR= $[V_{SS}/2, V_{DD}/2]$, OSW= $[\ V_{SS}\ ,\ V_{DD}]$, fT= 3 MHz
$V_{DD} = 10\ V = -V_{SS}$, $R_1 = 33\ k\Omega$, $R_2 = R_1/2$, $R_3 = 100\ \Omega$

a) El control de ganancia en la Fig. 2(b) se construirá a través de la conmutación de una resistencia utilizando la llave de la Fig. 2(a). Graficar la variación de la conductancia de la llave de la Fig. 2(a), cuando está encendida para $V_{SS} <= Vi <= V_{DD}$.
Indicar claramente en el gráfico:

I) En qué rango de valores de Vi conduce cada transistor
II) El rango de valores de Vi donde la llave presenta una resistencia constante.
III) Dónde, en está gráfica, está operando la llave en el circuito de la Fig.2(b).

En lo que sigue se podrá suponer que la amplitud de la señal de entrada es en todos los casos tal que la llave presenta la conductancia aquí calculada.

b) Para el amplificador de la Fig. 2(b), determine las ganancias cuando High_Gain= V_{SS} ,y cuando High_Gain=V_{DD} . Grafique el diagrama de Bode de amplitud de ambos modos de operación en un mismo par de ejes (incluyendo ganancia y frecuencia de corte en cada caso).

c) Considerando las restricciones del OpAmp, determine las máximas amplitudes que pueden ser amplificadas correctamente para cada modo de ganancia.

PREGUNTA (20 puntos)

El circuito de la Figura 3 es un tipo sencillo de conversor DC-DC del tipo Step-Up. Con éste se obtiene una tensión DC regulada a la salida de valor superior a la de entrada. Se asume que el condensador de filtrado de salida es infinito (la tensión en bornes del condensador es prácticamente constante). Se debe tener en cuenta que la ecuación del condensador (i=C.dv/dt) que ahora pierde sentido al tender C a infinito, debe sustituirse por la condición de que en régimen la integral de la corriente por el condensador en un ciclo debe ser nula (es decir que en régimen, en un ciclo entra al condensador la misma cantidad de carga que sale).

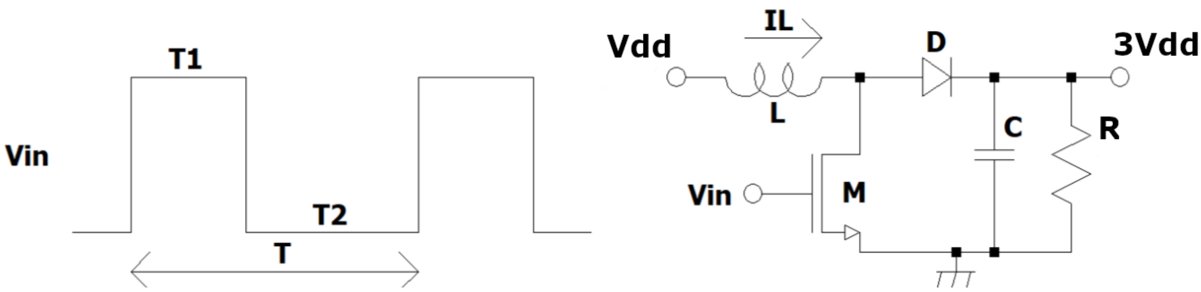


Figura 3

En contraposición al diseño de un Step-Up convencional, en esta aplicación en particular se manejará el Step-Up utilizando un régimen de conducción discontinua, es decir, existe una parte del ciclo en la cual la corriente por el inductor (L) se anula. Se supone que la inductancia es ideal y que el transistor funciona como llave.
Datos: M: R_{DSON}=0 Ω, R_{DSOFF}=inf., D: Vγ=0, T=4μs, T1=T/2,C=inf, Vdd=10V, R=2k.

Se desea mantener sobre R una tensión de 3Vdd. ¿Cuál es el valor del Inductor L necesario para obtener el funcionamiento deseado del Step-up?

Problema 1

(a) En DC no hay corriente por las R_F (1) $\Rightarrow$

$$\boxed{I_{DM2} = I} \rightarrow$$

nodo en drain de M1 $\Rightarrow$ $2I = I_{DM1} + I_{DM2}$ $\rightarrow$ $\Big\} \Rightarrow$

$$\boxed{I_{DM1} = I}$$

(1) $\Rightarrow$ $V_o = V_{GBM1}$ $\rightarrow$

transistor en saturacion por letra $\rightarrow$

realimentacion negativa entre V_{GBM1} e I_{DM1} $\rightarrow$ $\Big\} \Rightarrow$

($V_{GBM1} \downarrow \Rightarrow I_{DM2} \uparrow \Rightarrow I_{DM2} > I \Rightarrow$ se inyecta corriente en gate de M1 $\Rightarrow V_{GBM1} \uparrow$)

$$\Rightarrow \underset{I}{\underset{\parallel}{I_{DM1}}} = \frac{\beta}{2(1+\delta)} \Big(\underset{V_o}{\underset{\parallel}{V_{GBM1}}} - V_{t0} - (1+\delta)\cancelto{0}{V_{SBM1}} \Big)^2 \Rightarrow$$

$$\boxed{V_o = \sqrt{\frac{2(1+\delta) I}{\beta}} + V_{t0}}$$

(b) Si $V_{ref} \uparrow \Rightarrow V_{SM2} \uparrow \Rightarrow$ puede saturar la fuente de corriente

$$\underset{I}{\underset{\parallel}{I_{DM2}}} = \frac{\beta}{2(1+\delta)} \Big(\underset{(V_{DD}-V_{ref})}{\underset{\parallel}{V_{BG}}} - V_{t0} - (1+\delta) \underset{(V_{DD}-V_{SM2})}{\underset{\parallel}{V_{BS}}} \Big)^2 \Rightarrow$$

$$\frac{\left(\sqrt{\frac{2(1+\delta) I}{\beta}} - V_{DD} + V_{ref} + V_{t0} \right)}{(1+\delta)} + V_{DD} = V_{SM2} \quad (2)$$

PP

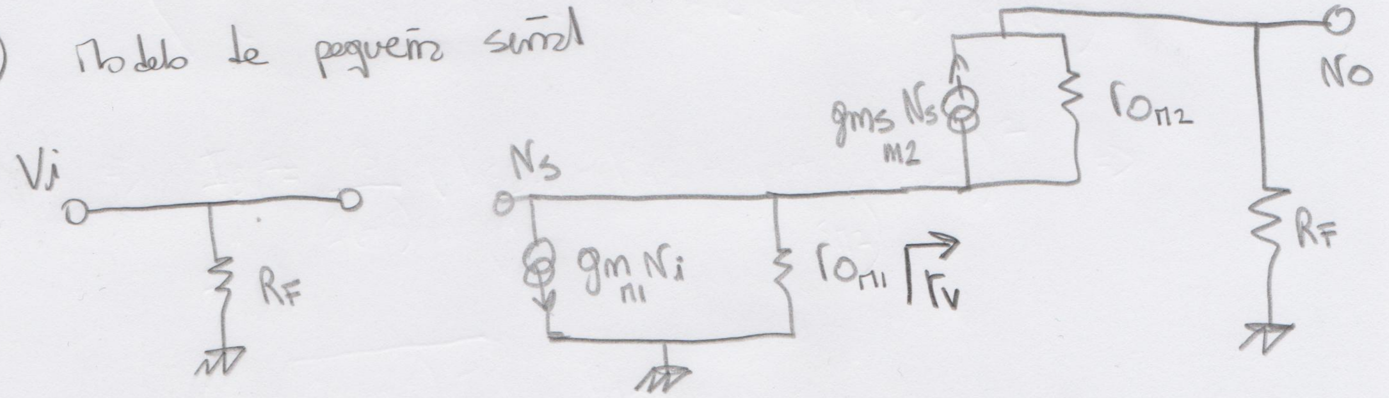
Para que la fuente 2I funcione correctamente

$$\left.\begin{array}{l} V_{DD} - V_{S_{M2}} > V_{min} \\ \quad (2) \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\left(V_{DD} - V_{ref} - \sqrt{\frac{2(1+\delta)I}{\beta}} - V_{t0}\right)}{1+\delta} > V_{min} \Rightarrow$$

$$\boxed{V_{ref} < V_{DD} - \sqrt{\frac{2(1+\delta)I}{\beta}} - V_{t0} - V_{min}(1+\delta)}$$

(c) Modelo de pequeña señal



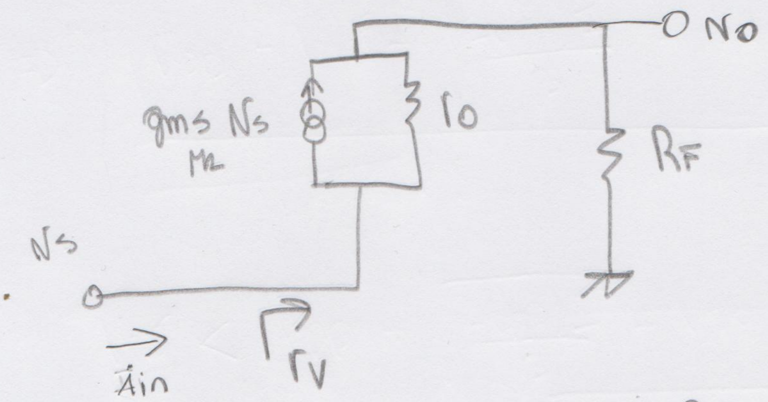
$$* \left.\begin{array}{l} g_{m_{M2}} = \frac{\beta}{1+\delta}(V_{BG} - V_{t0}) = \frac{\beta}{1+\delta}(V_{DD} - V_{ref} - V_{t0}) \\ g_{ms_{M2}} = (1+\delta)\, g_{m_{M2}} \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{g_{ms_{M2}} = \beta(V_{DD} - V_{ref} - V_{t0})}$$

$$* \quad g_{m_{M1}} = \frac{\beta}{1+\delta}(V_{GD} - V_{t0}) = \sqrt{\frac{2\beta}{(1+\delta)} I_{D_{M1}}} \Rightarrow \boxed{g_{m_{M1}} = \sqrt{\frac{2\beta I}{1+\delta}}}$$

$$* \quad \boxed{r_{o_{M1}} = r_{o_{M2}} = \frac{V_A}{I} = r_o = R_F} \quad (3)$$

$$R_{in} = R_F$$

Para calcular v_o/v_i, calculo primero r_v



$$i_{in} = g_{ms_{M2}} \cdot v_s + \frac{v_s - \overset{i_{in} \cdot R_F}{\overset{\shortparallel}{v_o}}}{r_o} \Rightarrow$$

$$i_{in}\left(1 + \frac{R_F}{r_o}\right) = v_s\left(g_{ms_{M2}} + 1/r_o\right) \Rightarrow$$

$$r_v = \frac{v_s}{i_{in}} = \frac{1 + R_F/r_o}{g_{ms_{M2}} + 1/r_o} = \frac{r_o + R_F}{g_{ms_{M2}} \cdot r_o + 1}$$

③ $r_o = R_F$

$g_{ms_{M2}} \cdot r_o >> 1$

$$\Rightarrow r_v \cong 2/g_{ms_{M2}}$$

$$\Rightarrow -v_i \cdot g_{m_{M1}} \cdot \underbrace{\frac{r_{o_{M1}}}{r_{o_{M1}} + r_v}}_{\text{divisor de corriente}} \cdot R_F = v_o$$

$$\shortparallel$$

$$\frac{r_o g_{ms_{M2}}}{r_o g_{ms_{M2}} + 2} \simeq 1$$

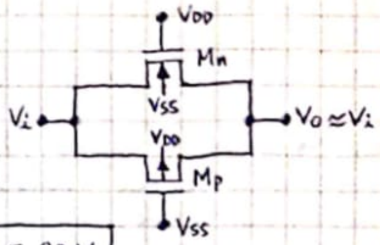
$$\Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = -g_{m_{M1}} \cdot R_F = -\sqrt{\frac{2\beta I}{1+S}} \cdot R_F$$

PP

Examen de Electrónica Fundamental - agosto 2020

Pregunta



a) i) * En zona lineal de Mn:

$$g_n = \beta_n\,(\underbrace{V_{DD}-V_{SS}}_{V_{GB}} - V_{ton} - (1+\delta_n)\underbrace{(V_i - V_{SS})}_{V_{SB}})$$

válida para $\boxed{V_i < V_{SS} + \dfrac{V_{DD}-V_{SS}-V_{ton}}{1+\delta_n}} \Rightarrow \boxed{V_i < 5{,}83\,V}$

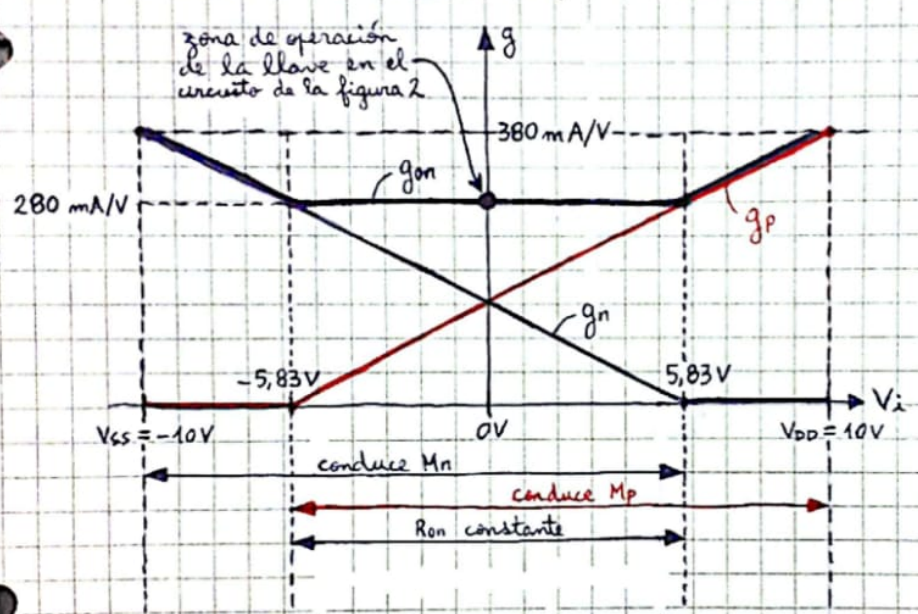
no corte de Mn

* En zona lineal de Mp:

$$g_p = \beta_p\,(\underbrace{V_{DD}-V_{SS}}_{V_{BG}} - |V_{top}| - (1+\delta_p)\underbrace{(V_{DD}-V_i)}_{V_{BS}})$$

válida para $\boxed{V_i > V_{DD} - \dfrac{V_{DD}-V_{SS}-|V_{top}|}{1+\delta_p}} \Rightarrow \boxed{V_i > -5{,}83\,V}$

no corte de Mp



$g_n @ (V_i = V_{SS}) = \beta_n (V_{DD} - V_{SS} - V_{ton})$
$= 380\ mA/V$

$g_p @ (V_i = V_{DD}) = \beta_p (V_{DD} - V_{SS} - |V_{top}|)$
$= 380\ mA/V$

Como los transistores están en paralelo: $g_{on} = g_n + g_p$

$g_n @ (V_i = -5{,}83\,V) = 280\ mA/V$

$g_p @ (V_i = 5{,}83\,V) = 280\ mA/V$

ii) $R_{on} = \dfrac{1}{g_{on}}$

La llave presenta una resistencia constante para $\boxed{-5{,}83\,V \le V_i \le 5{,}83\,V}$.

iii) En este circuito, $\boxed{V_i = 0}$.

b) * Cuando High_Gain = Vss,
la llave está abierta y entonces

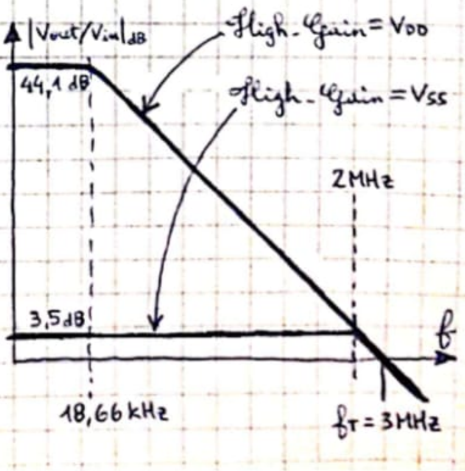
$G = \dfrac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \dfrac{R_2}{R_1} = \boxed{1{,}5} = 3{,}5\,dB$

$\Rightarrow f_{-3dB} = \dfrac{f_T}{G} = \boxed{2\ MHz}$

* Cuando High_Gain = VDD,
la llave está cerrada, y entonces

$G = \dfrac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \dfrac{R_2}{R_1 // (R_{on}+R_3)} = \boxed{160{,}8} = 44{,}1\,dB$

$\Rightarrow f_{-3dB} = \dfrac{f_T}{G} = \boxed{18{,}66\ kHz}$



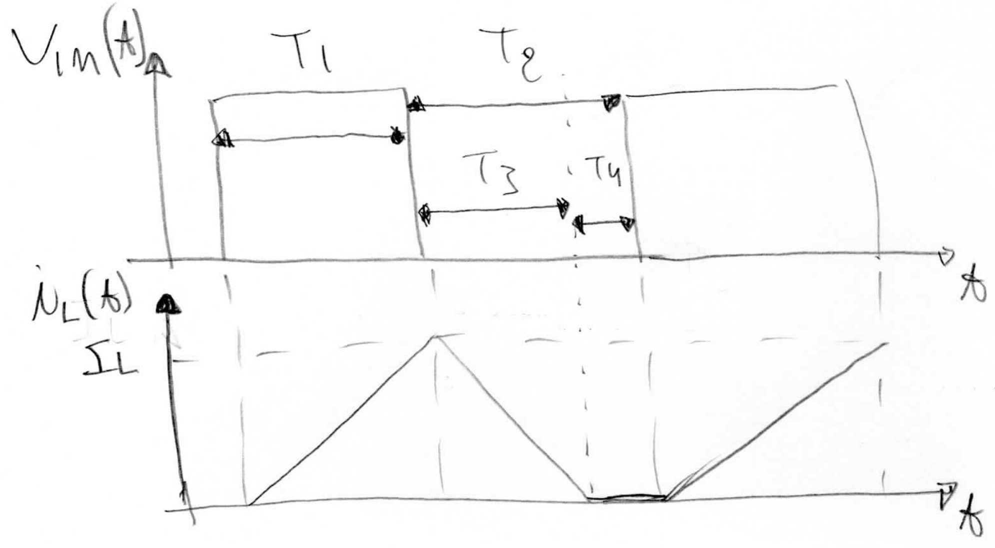
Examen de Electrónica Fundamental - agosto 2020

Pregunta

c) * Para el modo High-Gain = V_{SS} $(G=1{,}5)$
El ICMR impone $V_{in} \in [-5V; 5V] \Rightarrow \hat{v}_{in} \leq 5V$
El OSW impone $V_{out} \in [-10V; 10V]$
$\Rightarrow V_{in} = \frac{V_{out}}{G} \in [-6{,}67V; 6{,}67V] \Rightarrow \hat{v}_{in} \leq 6{,}67V$
$\Rightarrow$ restringe el ICMR, y $\boxed{\hat{v}_{in} \leq 5V}$

* Para el modo High-Gain = V_{DD} $(G=160{,}8)$
El ICMR impone $V_{in} \in [-5V; 5V] \Rightarrow \hat{v}_{in} \leq 5V$
El OSW impone $V_{out} \in [-10V; 10V]$
$\Rightarrow V_{in} = \frac{V_{out}}{G} \in [-62{,}2mV; 62{,}2mV] \Rightarrow \hat{v}_{in} \leq 62{,}2mV$
$\Rightarrow$ restringe el OSW, y $\boxed{\hat{v}_{in} \leq 62{,}2mV}$

Pregunta



T_1

$$V_L = L\frac{di_{L1}}{dt} = V_{DD} \Rightarrow di_{L1} = \frac{V_{DD}}{L}\,dt \Rightarrow i_{L1}(t) = \frac{V_{DD}}{L}\,t + \overset{\overset{\emptyset}{\|}}{I_{01}}$$

$$\Rightarrow \boxed{i_{L1}(t) = \frac{V_{DD}}{L}\,t}$$

T_3

$$V_L = L\frac{di_{L2}}{dt'} = V_{DD} - 3V_{DD} \Rightarrow di_{L2} = -\frac{2V_{DD}}{L}\,dt' \Rightarrow$$

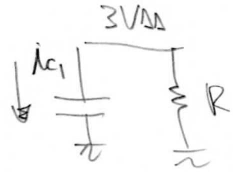
$$i_{L3}(t') = -\frac{2V_{DD}}{L}\,t' + I_{03}$$

Condiciones de borde $\Rightarrow \begin{cases} i_{L1}(T_1) = \dfrac{V_{DD}}{L}T_1 = I_{03} \\ i_{L3}(T_3) = -\dfrac{2V_{DD}T_3}{L} + I_{03} = \emptyset \end{cases}$

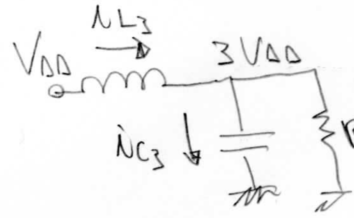
$$\Rightarrow \frac{V_{DD}T_1}{L} - \frac{2V_{DD}T_3}{L} + \cancel{I_{03}} = \cancel{I_{03}} \Rightarrow \frac{\cancel{V_{DD}}T_1}{\cancel{L}} = \frac{2\cancel{V_{DD}}T_3}{\cancel{L}} \Rightarrow T_3 = \frac{T_1}{2}$$

$$\Rightarrow \boxed{T_3 = \frac{T}{4}} \qquad T_4 = T - T_3 - T_1 = T - \frac{T}{4} - \frac{T}{2} = \frac{4T - T - 2T}{4} \Rightarrow \boxed{T_4 = \frac{T}{4}}$$

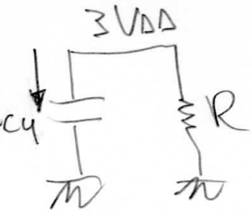
$$\int_0^T i_C(t)\,dt = \emptyset \Rightarrow \int_0^{T_1} i_{C_1}(t)\,dt + \int_0^{T_3} i_{C_3}(t')\,dt' + \int_0^{T_4} i_{C_4}(t'')\,dt'' = \emptyset$$

$\underline{T_1} \Rightarrow$ 

$\Rightarrow i_{C_1}(t) = -\frac{3V_{DD}}{R}$

$\underline{T_3} \Rightarrow$ 

$\Rightarrow i_{C_3}(t') = i_{L_3}(t') - \frac{3V_{DD}}{R}$

$\underline{T_4} \Rightarrow$ 

$\Rightarrow i_{C_4}(t'') = -\frac{3V_{DD}}{R}$

$$\Rightarrow \int_0^{T_1} -\frac{3V_{DD}}{R}\,dt + \int_0^{T_3}\left[-\frac{2V_{DD}t'}{L} + \overbrace{\frac{V_{DD}T_1}{L}}^{I_{03}} - \frac{3V_{DD}}{R}\right]dt' + \int_0^{T_4} -\frac{3V_{DD}}{R}\,dt'' = \emptyset$$

$$\Rightarrow -\frac{3V_{DD}}{R}T_1 + \left[-\frac{V_{DD}}{L}T_3^2 + \frac{V_{DD}}{L}T_1T_3 - \frac{3V_{DD}}{R}T_3\right] - \frac{3V_{DD}}{R}T_4 = \emptyset$$

$$\frac{3V_{DD}}{R}\underbrace{(T_1+T_3+T_4)}_{T} = -\frac{V_{DD}}{L}T_3^2 + \frac{V_{DD}}{L}T_1T_3 = -\frac{V_{DD}}{L}\frac{T^2}{16} + \frac{V_{DD}}{L}\frac{T}{2}\frac{T}{4}$$

$$\frac{3\cancel{V_{DD}}\cancel{T}}{R} = \frac{\cancel{V_{DD}}}{L}T^{\cancel{2}}\left[\frac{1}{8}-\frac{1}{16}\right] = \frac{T}{L\cdot 8}\left[1-\frac{1}{2}\right] = \frac{T}{8L}\cdot\frac{1}{2} = \frac{T}{16L}$$

$$\frac{3}{R} = \frac{T}{16L} \Rightarrow L = \frac{R.T}{3.16} \Rightarrow \boxed{L = 167\,\mu H}$$