

PARCIAL DE ELECTRONICA FUNDAMENTAL

08/07/2024

Resolver cada **problema en hojas separadas** y **escribiendo de un solo lado de la hoja**.

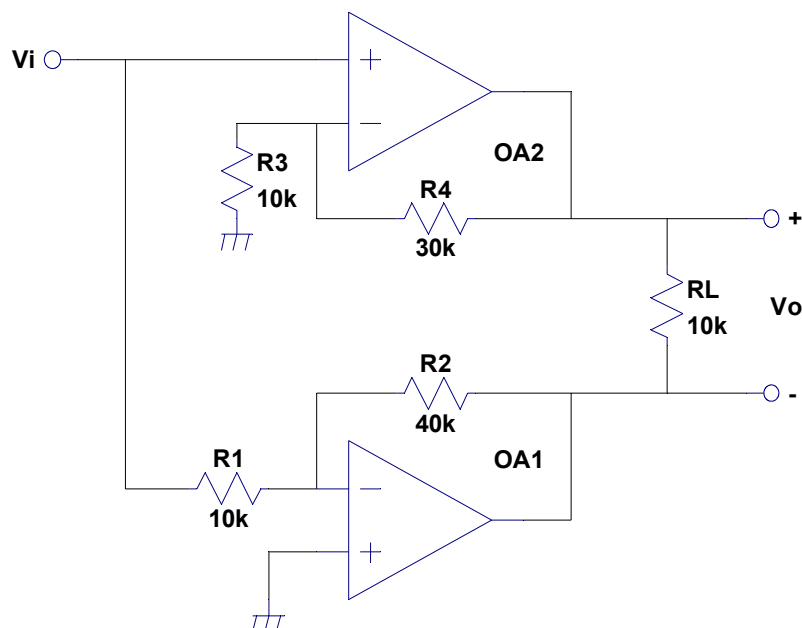
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es **sin** material.

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

PROBLEMA 1 (28 puntos)

El circuito de la figura busca convertir la señal de entrada v_i respecto a tierra en una versión amplificada y aplicada en forma diferencial sobre la resistencia de carga R_L , logrando de esta forma poder manejar una mayor amplitud de señal sobre la resistencia R_L .



Suponer en lo que sigue que la tensión de entrada v_i es una señal sinusoidal con amplitud de pico $A = 1\text{ V}$ y frecuencia $f_i = 1\text{ kHz}$ ($v_i = A \cdot \sin(2\pi f_i t)$). Ambos operacionales son del mismo modelo y están alimentados de $\pm 5\text{ V}$.

- Si los amplificadores se suponen ideales ¿Cuál es la amplitud de pico en la salida v_o ?
- ¿Qué condición debe cumplir el slew rate de los amplificadores operacionales para que no haya distorsión a la salida?
- ¿Qué condición debe cumplir el rango de entrada en modo común y la excursión de salida de los operacionales para que el circuito pueda funcionar como se halló en a)?
- ¿Cuál es la máxima corriente de pico que debe entregar cada uno de los operacionales?
- Si los operacionales tienen tensión de offset máxima V_{offmax} , ¿cuánto vale la máxima corriente dc que puede circular por R_L ?

DATOS: $R_1 = 10\text{ k}\Omega$, $R_2 = 40\text{ k}\Omega$, $R_3 = 10\text{ k}\Omega$, $R_4 = 30\text{ k}\Omega$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$

PROBLEMA 2 (27 puntos)

Se desea conectar la tensión de entrada v_I al capacitor CL a través de una llave. En lo que sigue se desea analizar si la llave funciona correctamente, entendiendo por esto que con la llave conduciendo la tensión de CL (v_O) siga (sea igual) a la tensión de entrada.

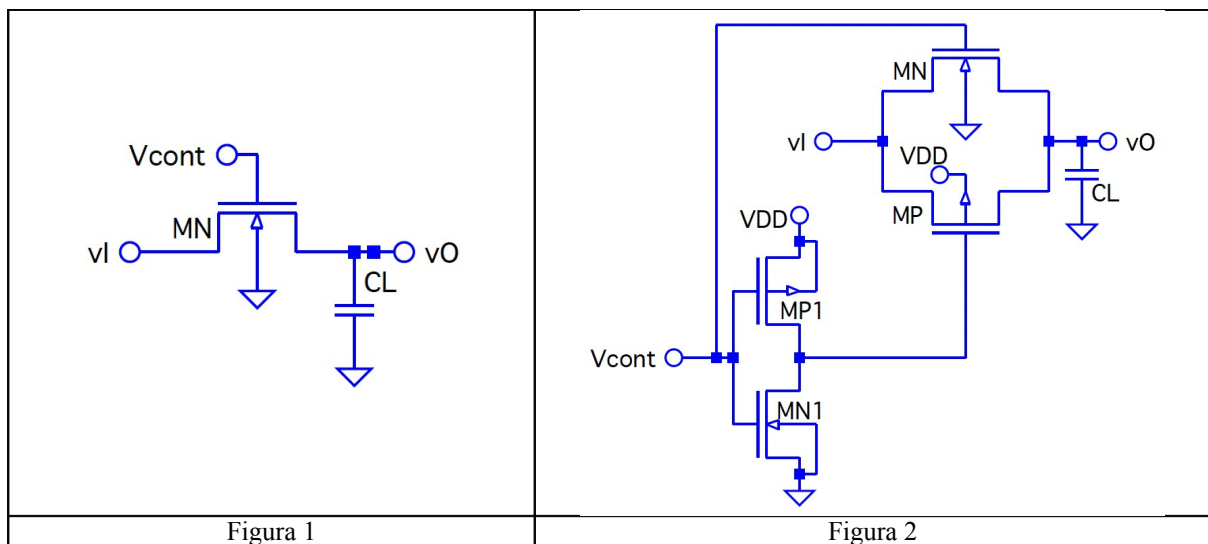
La señal de entrada v_I tiene una componente DC de valor V_I y superpuesta a ella una tensión sinusoidal de frecuencia f y amplitud v_{iamp} . La amplitud v_{iamp} de la senoide se podrá suponer mucho menor a V_I .

La señal V_{cont} se maneja entre 0 y V_{DD} .

a) En el circuito de la Fig. 1, ¿para qué valores de V_I la llave funciona correctamente para algún valor de f ? Asuma que V_I varía entre 0 y V_{DD} .

b) En el circuito de la Fig. 1, si ahora V_I está en el rango 0 a 1.5 V, ¿en qué rango de frecuencias f se puede considerar que la llave funciona correctamente?

c) Para mejorar el desempeño de la llave se usa el circuito de la Fig. 2. ¿En qué rango de frecuencias f se puede considerar que la llave funciona correctamente para cualquier V_I en el rango 0 a V_{DD} ?



DATOS:

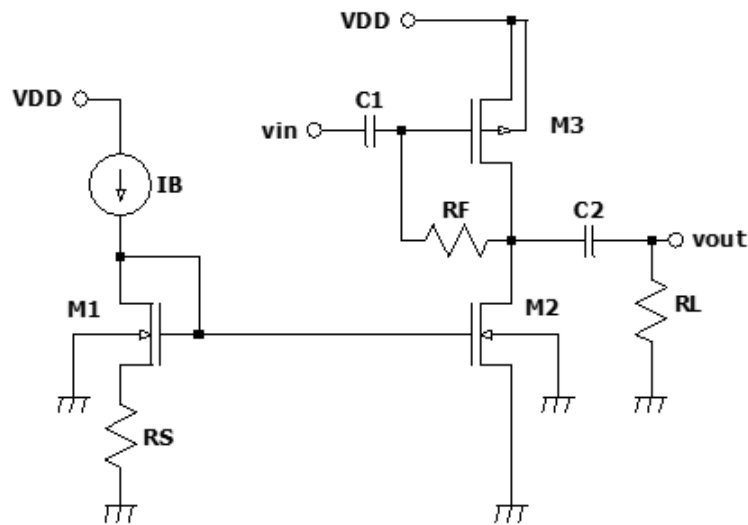
$V_{DD}=5V$

MOS: $\beta_n = \beta_p = 100 \mu A/V^2$, $\delta_n = \delta_p = 0.3$, $V_{t0n} = |V_{t0p}| = 1 V$

$CL = 100 pF$

PROBLEMA 3 (27 puntos)

Para el amplificador de la figura:



- Calcule la corriente continua para cada uno de los transistores M1, M2 y M3.
- Calcule la ganancia v_{out}/v_{in} del circuito.
- Determine C2 para tener una frecuencia de corte inferior de 500 Hz
- Halle la máxima excursión de salida e indique qué efecto la limita.

DATOS:

$V_{DD} = 5\text{ V}$, $I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$, $R_S = 330\text{ }\Omega$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $R_F = 10\text{ M}\Omega$, $C_1 = \text{inf}$

MOS: $V_{t0n} = |V_{t0p}| = 1.1\text{ V}$, $\beta_n = \beta_p = 2\text{ mA/V}^2$, $\delta_n = \delta_p = 0.4$, $V_{An} = V_{Ap} = 40\text{ V}$

Nota: Considerar que R_F se puede considerar infinita a los efectos del cálculo de la ganancia y de la frecuencia de corte inferior

PREGUNTA (18 puntos)

a) Dar la tabla de verdad de la función lógica $OUT = f(A,B)$ implementada por el circuito de la figura. Indicar para cada fila de la tabla de verdad el estado (en directo o en inverso) de cada uno de los diodos D1 y D2.

A	B	OUT	Estado D1	Estado D2
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			

b) ¿Cuánto vale el margen de ruido en nivel alto y el margen de ruido en nivel bajo a la entrada del inversor INV3? Fundamente su respuesta.

En lo que sigue se considera que B está fija en 1 lógico.

c) A los efectos de evaluar el retardo de la compuerta se desea determinar el tiempo entre el instante en que A cambia instantáneamente de 0 lógico a 1 lógico y el instante en que la entrada de INV3 llega a $VDD/2$. Se supondrá que los inversores tienen tiempo de propagación nulo y que la capacidad vista a la entrada de los mismos es $C_{in} = 10 \text{ pF}$.

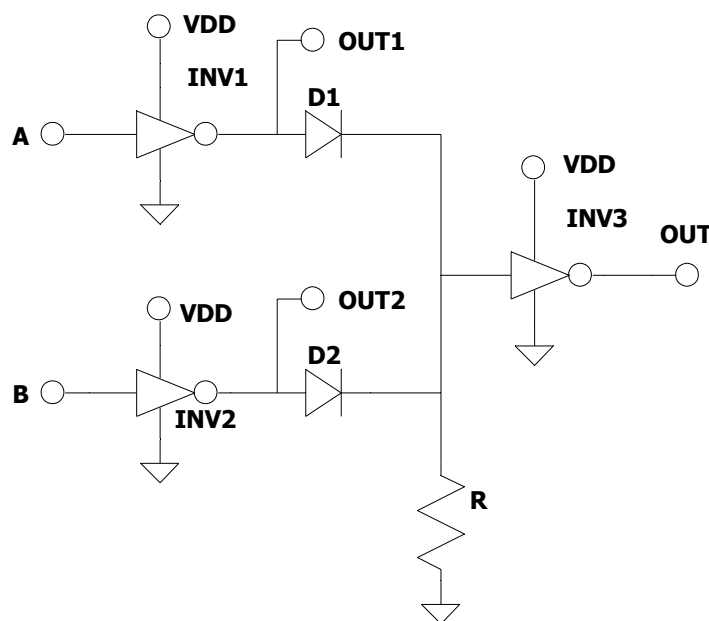
DATOS:

$VDD = 3.3 \text{ V}$

Inversores: $VOL = 0 \text{ V}$, $VOH = VDD$, $VIL = 0.9 \text{ V}$, $VIH = 2.1 \text{ V}$.

Diodos: $V_{\gamma} = 0.7 \text{ V}$

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



$$v_I = A \sin(2\pi f_i t)$$

$$f_i = 1 \text{ kHz}$$

$$V_{DD} = 5V$$

$$A = 1V$$

$$V_{SS} = -5V$$

a) * OA2 conectado como no inversor: $v_{OA2} = \left(\frac{R_4}{R_3} + 1\right) v_I = 4v_I$

* OA1 conectado como inversor: $v_{OA1} = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) v_I = -4v_I$

$$v_O = v_{OA2} - v_{OA1} = 4v_I - (-4v_I) = 8v_I \Rightarrow \boxed{A_{out} = 8V}$$

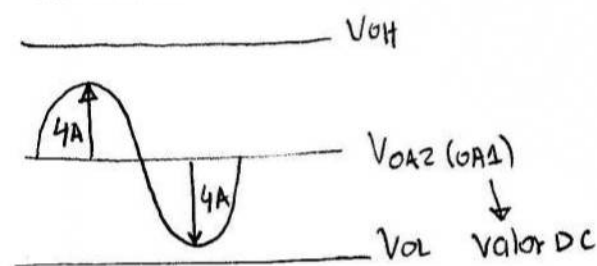
b) Para que no haya distorsión: $SR_{OA1(OA2)} > \max\left(\frac{dv_{OA1(OA2)}}{dt}\right) = v_{OA1p(OA2p)} (2\pi f_i)$

$$\Rightarrow \boxed{SR > (4V)(2\pi)(1 \text{ kHz}) = 25 \frac{V}{ms}}$$

c) $v_{cm1} = 0 \Rightarrow \boxed{0 \in I_{cmROA1}}$

$$v_{cm2} = v_I \Rightarrow \boxed{[-1, 1] \in I_{cmROA2}}$$

Excursion



Se debe cumplir:

$$\begin{cases} v_{OH} - v_{OA2(OA1)} > 4V = 4V \\ v_{OA2(OA1)} - v_{OL} > 4V \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_{OH} > 4V + v_{OA2(OA1)} \\ v_{OL} < v_{OA2(OA1)} - 4V \end{cases}$$

Si no hay offset $v_{OA2(OA1)} = 0$

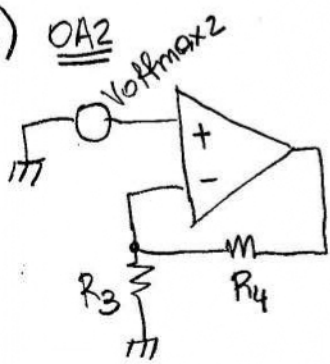
$$\Rightarrow \boxed{v_{OH} > 4V} \quad \boxed{v_{OL} < -4V}$$

d) $i_{OA2} = i_L + i_{R4} = \frac{v_O}{R_L} + \frac{v_{OA2}}{R_4 + R_3}$

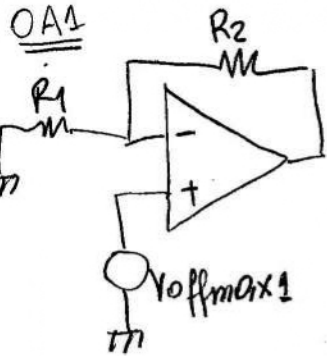
$$i_{OA2}^{max} = \frac{v_{Op}}{R_L} + \frac{v_{OA2p}}{R_4 + R_3} = \frac{8V}{10k\Omega} + \frac{4V}{40k\Omega} \Rightarrow \boxed{i_{OA2}^{max} = 900\mu A}$$

$$i_{OA1} = i_L + i_{R2} = \frac{v_O}{R_L} + \frac{v_{OA1}}{R_2} \Rightarrow i_{OA1}^{max} = \frac{v_{Op}}{R_L} + \frac{v_{OA1p}}{R_2} = \frac{8V}{10k\Omega} + \frac{4V}{40k\Omega} \Rightarrow \boxed{i_{OA1}^{max} = 900\mu A}$$

e) OA2



$$V_{OA2} |_{v_I=0} = V_{offmax2} \left(\frac{R_4}{R_3} + 1 \right) = 4 V_{offmax}$$



$$V_{OA1} |_{v_I=0} = V_{offmax1} \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) = 5 V_{offmax}$$

$$V_o |_{v_I=0} = 4 V_{offmax2} - 5 V_{offmax1} \quad // \quad |V_{offmax2}| = |V_{offmax1}| = |V_{offmax}|$$

peor caso: $V_{offmax1} = -V_{offmax2}$

$$V_o |_{v_I=0} = 9 |V_{offmax}| \Rightarrow \boxed{I_L^{max} = \frac{9 |V_{offmax}|}{R_L}}$$

ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL - PARCIAL 2024

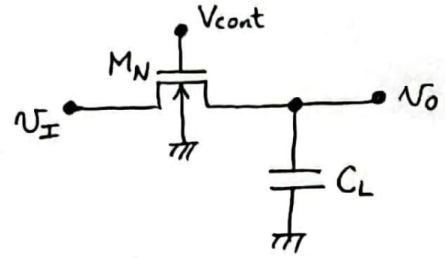
PROBLEMA

a) NO CORTE DE M_N si $V_{cont} = V_{DD}$:

$$V_I < \frac{V_{DD} - V_{ton}}{1 + \delta_n} = \frac{5V - 1V}{1 + 0,3} = 3,08V$$

$$V_I \gg V_{iamp} \Rightarrow V_I = V_I + V_{iamp} \sin(2\pi ft) \approx V_I$$

$$\Rightarrow \boxed{V_I < 3,08V}$$



b) PARA QUE C_L PUEDA SEGUIR A V_I :

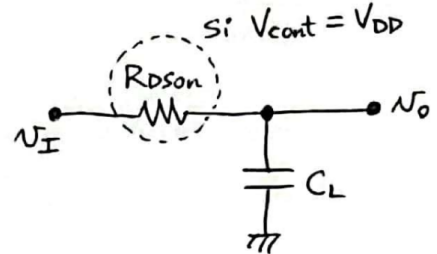
$$f \ll f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_{Dson} C_L} = \frac{g_{Dson}}{2\pi C_L}$$

$$g_{Dson} = \beta_n (V_{DD} - V_{ton} - (1 + \delta_n) V_I) \Rightarrow \begin{cases} g_{Dson} @ V_I = 0V: 400 \mu S \\ g_{Dson} @ V_I = 1,5V: 205 \mu S \end{cases}$$

TOMO CRITERIO 10 VECES MENOR:

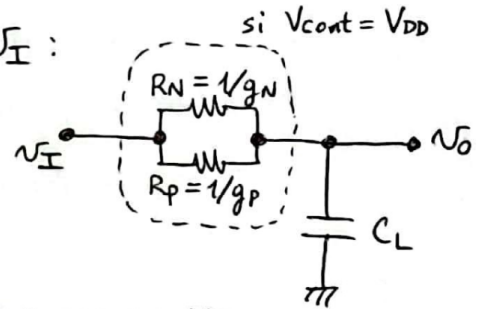
$$f < \frac{g_{Dson}}{20\pi C_L} = \begin{cases} \frac{(400 \mu S)}{20\pi(100pF)} = 63,7 \text{ kHz } (V_I = 0V) \\ \frac{(205 \mu S)}{20\pi(100pF)} = \boxed{32,6 \text{ kHz } (V_I = 1,5V)} \end{cases}$$

CASO MÁS RESTRICTIVO



c) PARA QUE C_L PUEDA SEGUIR A V_I :

$$f < \frac{g_{Dson}}{20\pi C_L} = \frac{g_N + g_P}{20\pi C_L}$$



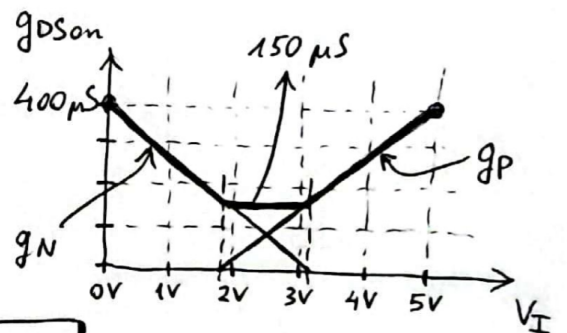
$$g_N = \begin{cases} \beta_n (V_{DD} - V_{ton} - (1 + \delta_n) V_I) \\ 0 \text{ SINO} \end{cases}$$

NO CORTE DE M_N
 si $V_I < \frac{V_{DD} - V_{ton}}{1 + \delta_n} = 3,08V$

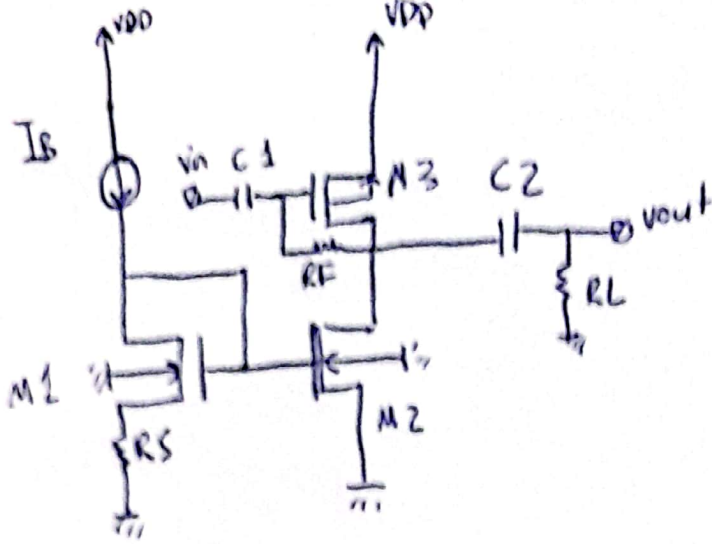
$$g_P = \begin{cases} \beta_p (V_{DD} - |V_{top}| - (1 + \delta_p)(V_{DD} - V_I)) \\ 0 \text{ SINO} \end{cases}$$

si $V_I > V_{DD} - \frac{V_{DD} - |V_{top}|}{1 + \delta_p} = 1,92V$
 NO CORTE DE M_P

V_I	g_N	g_P	g_{Dson}
0V	400 μS	0 μS	400 μS
1,92V	150 μS	0 μS	150 μS
3,08V	0 μS	150 μS	150 μS
5V	0 μS	400 μS	400 μS



$$f < \frac{(150 \mu S)}{20\pi(100pF)} \Rightarrow \boxed{f < 23,9 \text{ kHz}}$$



$$a) \quad I_{M1} = I_B = 500 \mu A$$

Asumo M_2 saturada:

$$I_{M2} = \frac{\beta_n}{2(1+\delta)} (V_{GB2} - v_{ton})^2; \quad V_{GB2} = V_{GB1}$$

M_1 saturada

$$I_{M1} = I_B = \frac{\beta_n}{2(1+\delta)} (V_{GB1} - v_{ton} - (1+\delta)v_{SB1})^2$$

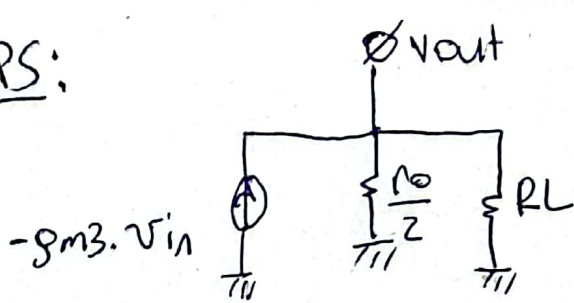
$$v_{SB1} = R_S \cdot I_B = 165 \text{ mV}$$

$$V_{GB1} = \sqrt{\frac{I_B \cdot 2(1+\delta)}{\beta_n}} + v_{ton} + (1+\delta) \cdot v_{SB1} = 2,17 \text{ V}$$

$$\Rightarrow \underline{I_{M2} = 814 \mu A}$$

$$\underline{I_{M3} = I_{M2} = 814 \mu A}$$

b) MPS:



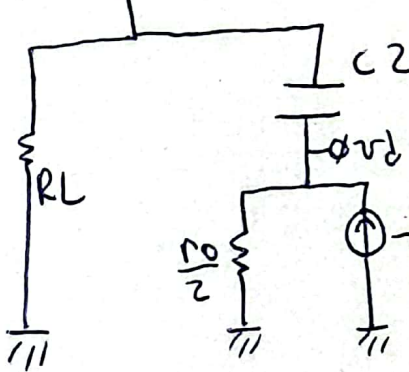
$$r_{o2} = r_{o3} = r_o = \frac{V_A}{I_{D_{23}}} = 49 \text{ k}\Omega$$

$$r_{o2} \parallel r_{o3} = \frac{r_o}{2} = 24,6 \text{ k}\Omega$$

$$g_{m3} = \sqrt{\frac{2 \beta_P I_{D3}}{1 + \delta}} = 1,5 \text{ mS}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_{m3} \left(\frac{r_o}{2} \parallel R_L \right) = -10,7 \text{ V/V}$$

c) v_{out}



$$(I) v_{out} = \frac{v_d \cdot R_L}{R_L + 1/g_s} \Rightarrow v_d = \frac{v_{out} \left(\frac{1}{C_2 s} + R_L \right)}{R_L}$$

$$(II) g_{m3} \cdot v_{in} + \frac{2v_d}{r_o} = \frac{v_o - v_d}{1/C_2 \cdot s}$$

$$(I) \rightarrow (II): g_{m3} \cdot v_{in} + v_o \left(\frac{2}{r_o} + C_2 \cdot s \right) \left(\frac{R_L + 1/C_2 s}{R_L} \right) = v_{out} \cdot C_2 s$$

$$v_{out} \cdot \left(C_2 \cdot s - \frac{2}{r_o} - C_2 \cdot s - \frac{1}{C_2 \cdot s \cdot R_L \cdot \frac{r_o}{2}} - \frac{1}{R_L} \right) = v_{in} \cdot g_{m3}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{g_{m3}}{r_o \left(2 + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{C_2 \cdot s \cdot R_L \cdot \frac{r_o}{2}} \right)}$$

$$500 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi \cdot C_2 \left(R_L + \frac{r_o}{2} \right)}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot 500 \cdot \left(R_L + \frac{r_o}{2} \right)} = 9,12 \text{ nF}$$

d) M2:

I) No corte: $V_{GB2} \geq V_{to}$ $V_{GB2} = 2,17V \geq 1,1V \checkmark$

II) No z. lineal: $\frac{V_{GB2} - V_{to}}{1+s} \leq V_{DB2}$

$$\frac{V_{GB2} - V_{to}}{1+s} = 0,76V$$

$$V_{BG3} = V_{BG2} = 2,17V \\ \Rightarrow V_{G3} = 5 - V_{BG3} = 2,8V$$

$$V_{DB2} = V_{G3} - \hat{v}_{op} \approx 0,76$$

$$\Rightarrow \hat{v}_{op} \leq 2,8 - 0,76 = \underline{2,1V}$$

M3:

I) No corte:

$$V_{BG3} - \frac{\hat{v}_{op}}{G} \geq V_{to} \Rightarrow \hat{v}_{op} < (V_{BG3} - V_{to}) \cdot G$$

$$G = 10,7V/V \Rightarrow \hat{v}_{op} < \underline{11,4V}$$

II) No z. lineal:

$$\frac{V_{BG3} + \hat{v}_{in} - V_{to}}{1+s} \leq V_{DB} - \hat{v}_{op}$$

$$\frac{V_{BG3} - V_{to}}{1+s} + \frac{\hat{v}_{op}}{G(1+s)} \leq V_{DB} - \hat{v}_{op}$$

0,76V

$$V_{D3} = 5 - V_{G3} = 2,2V$$

$$\Rightarrow v_{\hat{o}e} < \frac{V_{D3} - \left(\frac{V_{B_{G3}} - v_{t\delta}}{1 + \delta} \right)}{1 + \frac{1}{G(1 + \delta)}} = \underline{1,3V}$$

\Rightarrow Limita la entrada en zona lineal de $M3$, y la máxima excursión de salida es de $1,3V$