



**EXAMEN DE ELECTRONICA 1**  
02/03/05

Resolver cada problema en hojas separadas.  
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.

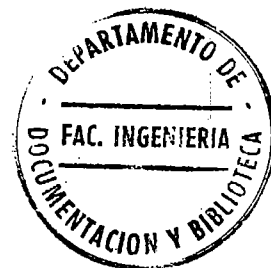
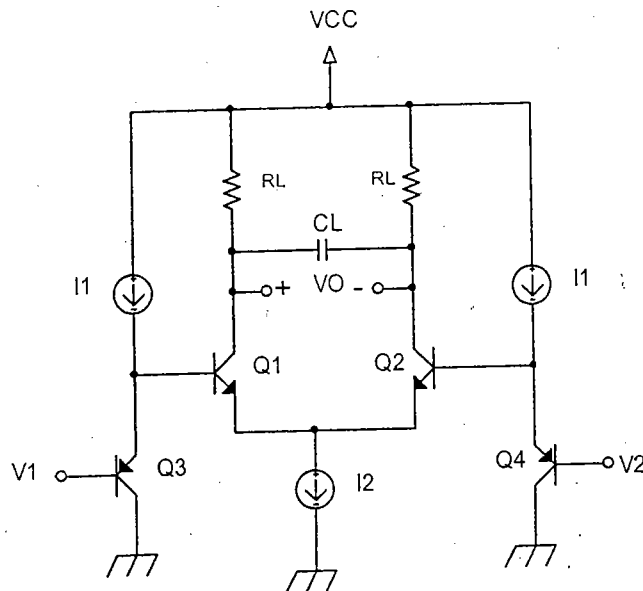
**PROBLEMA 1 (37 puntos)**

En el amplificador de la figura:

- Determinar la ganancia diferencial ( $v_o/(v_1-v_2)$ ) en la banda pasante (zona plana) de la respuesta.
- Determinar el rango de modo común de entrada.
- Determinar la frecuencia de transición y el slew-rate del circuito.

Datos:

- Todos los transistores tienen igual  $\beta \gg 1$  y se cumple que  $2I_1 \gg I_2/\beta$ .
- Q1 y Q2 tienen tensión base - emisor  $V_{BE_n}$  y tensión de saturación  $V_{CESAT_n}$ .
- Q3 y Q4 tienen tensión emisor - base  $V_{EB_p}$  y tensión de saturación  $V_{ECSAT_p}$ .
- Las fuentes de corriente  $I_1$  e  $I_2$  se supondrán con resistencia de salida infinita y operan correctamente si la tensión en bornes es mayor o igual a  $V_{SAT}$ .

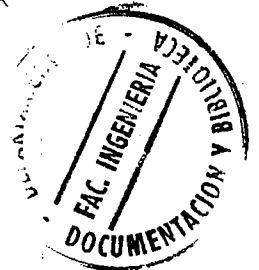
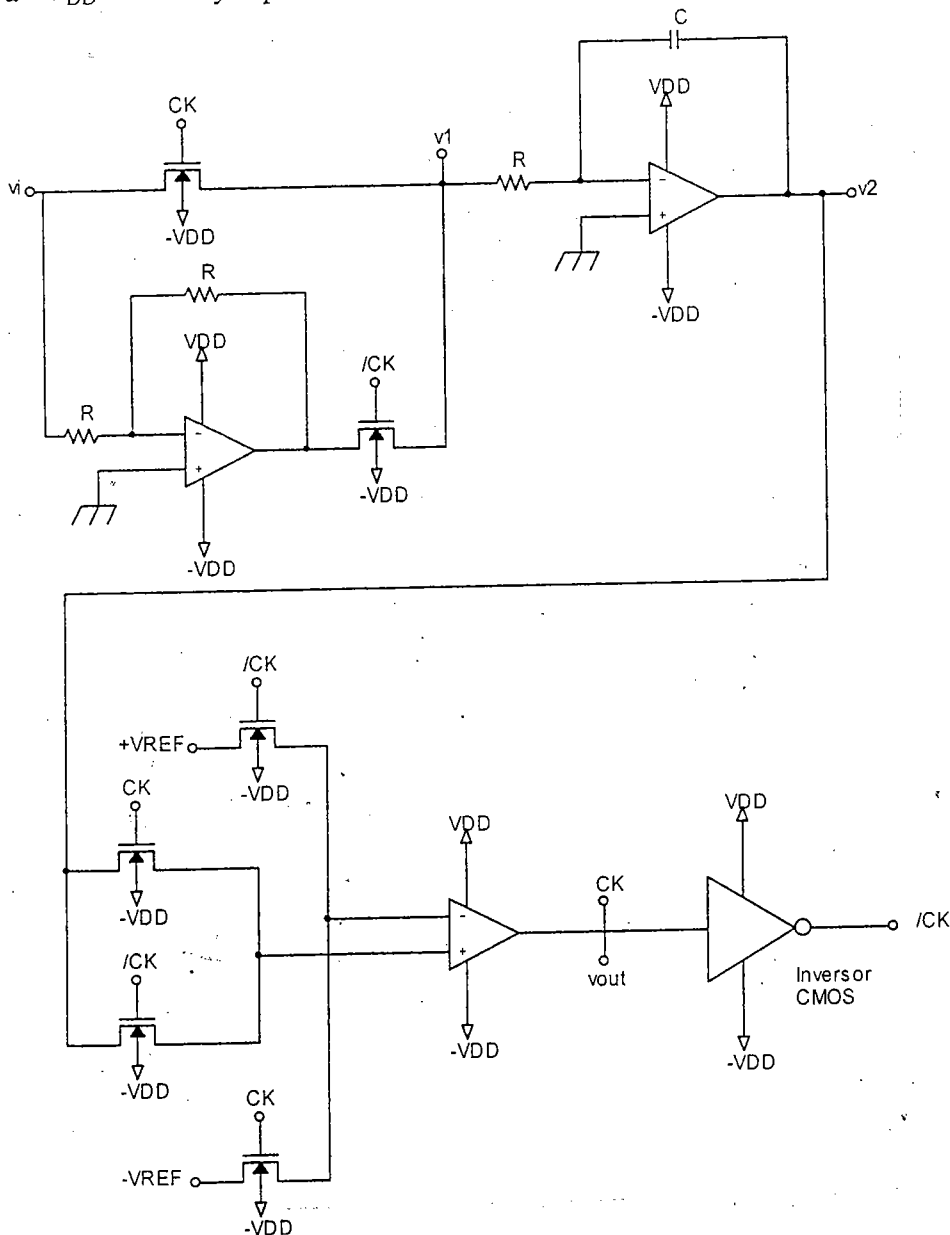


**PROBLEMA 2 (37 puntos)**

El circuito de la figura es un astable que genera una onda cuadrada de salida cuya frecuencia es función de una tensión continua  $v_i$  positiva de entrada.

Se considerará en lo que sigue que las tensiones  $v_i$ ,  $V_{DD}$  y  $V_{ref}$  son tales que aseguran que los transistores MOS operan adecuadamente como interruptores con resistencia despreciable cuando están encendidos.

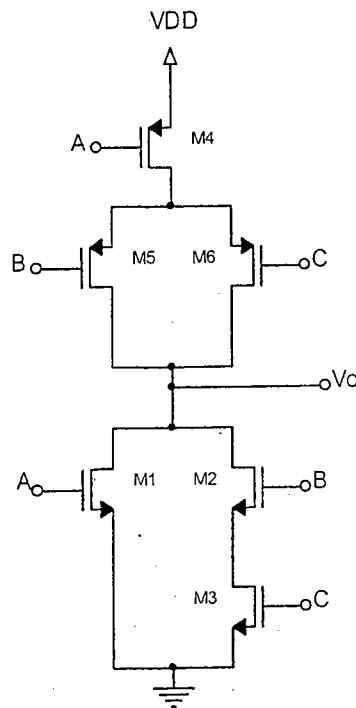
- Si los amplificadores operacionales se consideran ideales, graficar la forma de onda en los puntos V1, V2 y Vout. Determinar el período de la señal de salida en función de  $v_i$ .
- Determinar cómo se modifica en el peor caso el tiempo en que la salida vout está en  $-V_{DD}$  respecto al resultado de la parte a), si para implementar el circuito se utilizan amplificadores reales con tensión offset máxima  $V_{off}$ , corrientes de polarización máxima  $I_B$  (salientes del operacional) y corriente de offset máxima  $I_{off}$ . Nota: Por peor caso se entiende aquel en que el tiempo en que la salida está a  $-V_{DD}$  es lo mayor posible.



**PREGUNTA (26 puntos)**

Dado el circuito digital de la figura:

- Determinar la función lógica  $V_o(A,B,C)$
- Calcular el tiempo de propagación  $t_{pHL}$  cuando la compuerta tiene una capacidad de carga  $C_L$  y las entradas tienen la siguiente transición:  $ABC=000 \rightarrow ABC=100$ . Asumir que la fracción de  $t_{pHL}$  en que los transistores están en zona lineal es despreciable frente al tiempo que están saturados. Datos:  $V_{DD}$ ,  $(\mu \cdot C_{ox} W/L)_n$ ,  $(\mu \cdot C_{ox} W/L)_p$ ,  $C_L$ ,  $V_{tn}=|V_{tp}|$ ,  $\delta=0$ .



EXAMEN ELECTRO 1 PAR 2005

Problema 1.  
 (1)

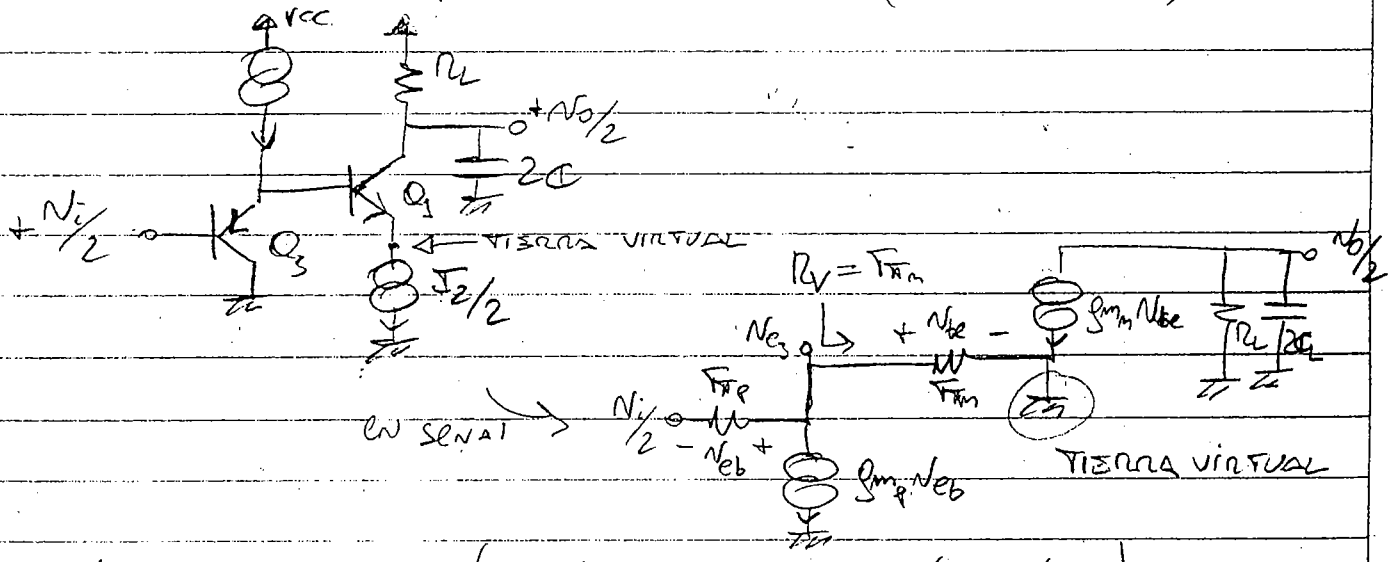
Por simetría  $I_{C1} = I_{C2} = I_2/2$

$$\begin{cases} g_{m1} = g_{m2} = g_{m_n} = \frac{I_2}{2V_T} \\ r_{\pi1} = r_{\pi2} = r_{\pi_n} = \frac{2\beta V_T}{I_2} \end{cases}$$

$I_{B1} = I_{B2} = \frac{I_2}{2\beta} \ll I_1 \rightarrow I_{C4} = I_{C3} = I_1$

$$\begin{cases} g_{m3} = g_{m4} = g_{m_p} = I_1/V_T \\ r_{\pi3} = r_{\pi4} = r_{\pi_p} = \beta V_T/I_1 \end{cases}$$

Por simetría en el medio: ( $N_0 = N_1 - N_2$ )



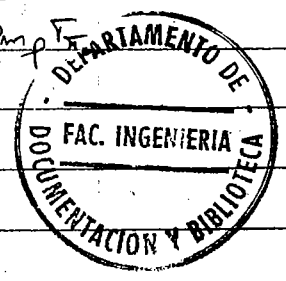
$$N_{e3} = N_{ben} = - \left( g_{m_p} (N_{e3} - N_0/2) + \frac{N_{e3} - N_0/2}{r_{\pi_p}} \right) r_{\pi_n}$$

$$\Rightarrow N_{e3} \left( 1 + \left( \frac{g_{m_p} r_{\pi_p} + 1}{r_{\pi_p}} \right) r_{\pi_n} \right) = \left( \frac{g_{m_p} r_{\pi_p} + 1}{r_{\pi_p}} \right) r_{\pi_n} \frac{N_0}{2}$$

$$\left( \frac{g_{m_p} r_{\pi_p} = \beta}{\beta} \right) \frac{N_{e3}}{N_0} = \frac{1}{2} \frac{(\beta+1) r_{\pi_n}}{r_{\pi_p} + (\beta+1) r_{\pi_n}} \approx \frac{1}{2} \frac{g_{m_p} r_{\pi_n}}{1 + g_{m_p} r_{\pi_n}}$$

$$g_{m_p} r_{\pi_n} = \frac{I_1}{V_T} \frac{2\beta V_T}{I_2} = \frac{2\beta I_1}{I_2/\beta} \gg 1$$

$$\Rightarrow \frac{N_{e3}}{N_0} \approx \frac{1}{2}$$



Papirón

EN LA BANDA PASANTE  $C$  NO AFECTA

$$\Rightarrow \frac{N_o}{z} = -g_{mm} R_L N_{ken} = -g_{mm} R_L N_{e3}$$

$$\Rightarrow \frac{N_o}{N_i} = -2g_{mm} R_L = \frac{1}{2} \Rightarrow \boxed{\frac{N_o}{N_i} = -g_{mm} R_L}$$

(b)  $N_1 = N_2 = V_{CH}$

HACIA ABAJO:  $\left\{ \begin{array}{l} V_{CH} > V_{SAT2} + V_{RESM} - V_{EBP} \\ V_{CH} > V_{EE_{SAT}} - V_{EBP} \end{array} \right.$

EL LIMITE LO FIJA EL MAYOR

HACIA ARRIBA:  $\left\{ \begin{array}{l} V_{CH} < V_{CC} - V_{SAT1} - V_{EBP} \\ V_{CH} < V_{CC} - \frac{R_L I_2}{2} - V_{EE_{SAT}} + V_{RESM} - V_{EBP} \end{array} \right.$

EL LIMITE LO FIJA EL MENOR

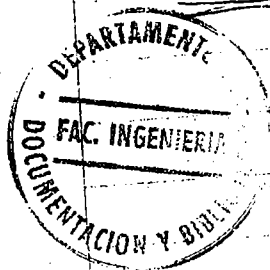
(c)  $f_{3dB} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{R_L C_L} \Rightarrow f_T = \frac{1}{2\pi} \frac{g_{mm} R_L}{R_L C_L}$

$$\Rightarrow \boxed{f_T = \frac{1}{2\pi} \frac{g_{mm}}{C_L}}$$

SR

Ante un escalon mayor al rango lineal del pñ  
 $\Rightarrow$  el mismo se dobla la carga  $\rightarrow$  toda la corriente  
 $I_2$  circula por uno solo de los transistores ( $Q_1$  o  $Q_2$ )  
 y carga (o descarga) la capacidad  $C_L$

$$\Rightarrow \boxed{SR = \frac{I_2}{C_L}}$$



EXAMEN ELECTRO I MAR/2005

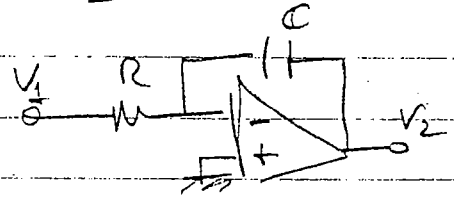
Problema 2

(a)

$\underline{V_1} : \underline{ck = 1} \quad V_1 = V_i$

$\underline{ck = 0} \quad V_1 = -\frac{R_1}{R_2} V_i = -V_i$

$\underline{V_2} :$



$V_2(s) = -\frac{V_1}{R} \rightarrow V_2(s) = -\frac{V_1}{RCS}$

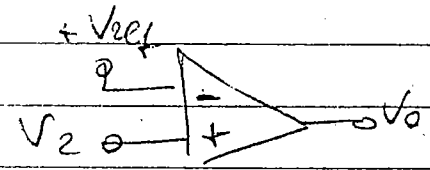
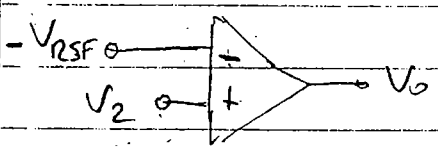
$\Rightarrow \underline{ck = 1} : V_2(t) = -\frac{V_i}{RC} t$

$\underline{ck = 0} : V_2(t) = +\frac{V_i}{RC} t$

$\underline{V_{out}}$

$\underline{ck = 1} \quad (V_o = +V_{DD})$

$\underline{ck = 0} \quad (V_o = -V_{DD})$

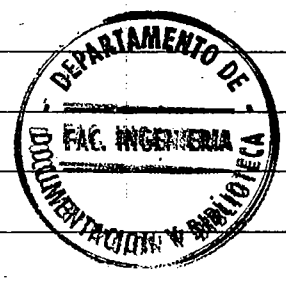
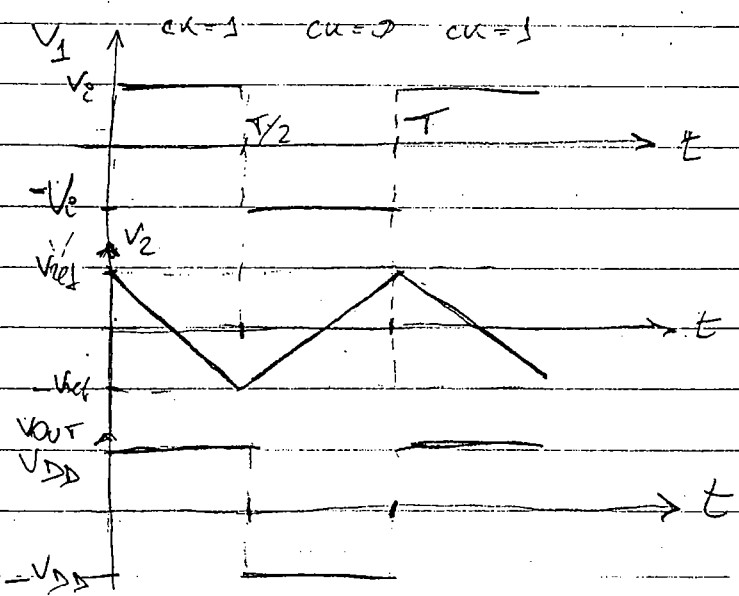


$V_o$  pasa de  $+V_{DD} \rightarrow -V_{DD}$

$V_o$  pasa de  $-V_{DD} \rightarrow +V_{DD}$

cuando  $V_2 < -V_{ref}$

cuando  $V_2 > +V_{ref}$

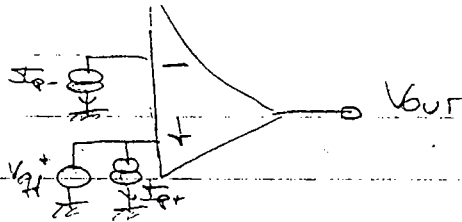


Repiron

$$V_2(t/2) = V_{ref} - \frac{V_0}{RC} \frac{t}{2} = -V_{ref}$$

$$\Rightarrow \boxed{T = \frac{4V_{ref}RC}{V_0}}$$

(b)



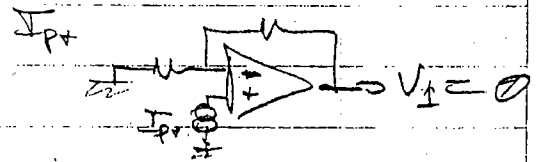
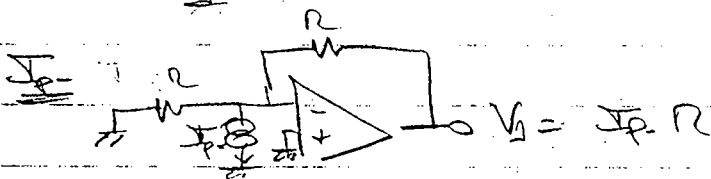
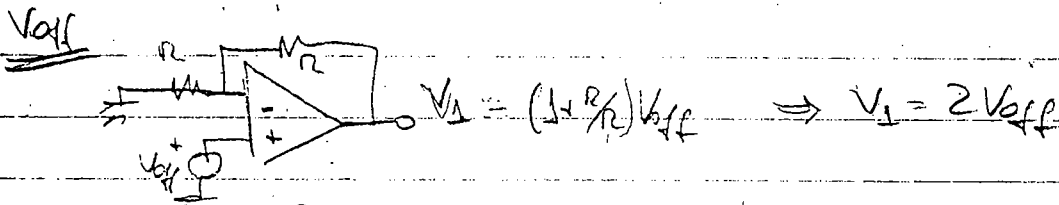
$$I_{p+} = \frac{I_B + \frac{I_{off}}{2}}$$

$$I_{p-} = I_B + \frac{I_{off}}{2}$$

A1

CASO  $C_k = 0$

USO SUPERPOSICIÓN:

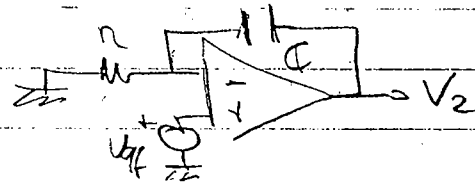


TOTAL Ck = 0 :  $V_1 = 2V_{off} + I_{p-}R - V_0$

A2

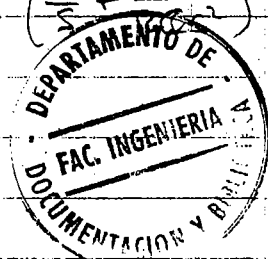
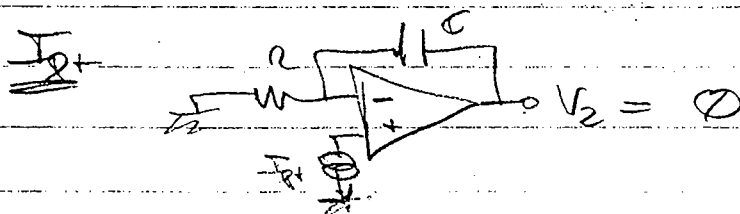
Superposición

Voff



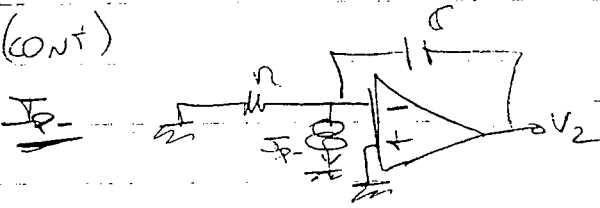
$$\frac{V_{off}}{sR} = (V_2(s) - \frac{V_{off}}{s}) Cs \Rightarrow V_2(s) = V_{off} \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{sRC} \right)$$

$$\Rightarrow V_2(t) = V_{off} \left( 1 + \frac{t}{RC} \right)$$



(No afecta)

(b) (cont)



$$V_2(s) = \frac{I_p}{s} \frac{1}{RC}$$

$$\Rightarrow V_2(t) = \frac{I_p}{C} t$$

TOTAL

Caso CK = 1

$$V_2(t) = V_{20} - (V_1/RC)t + V_{off2}(1 + t/RC) + I_{p2}R' t/RC$$

$$\equiv V_{20} + V_{off2} + \left( \frac{-V_1 + V_{off2} + I_{p2}R}{RC} \right) t$$

$$V_1 = -V_2 + 2V_{off1} + I_{p1}R$$

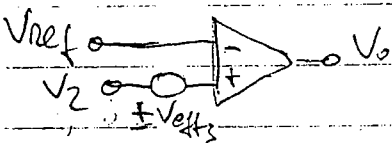
$$\Rightarrow V_2(t) = V_{20} + V_{off2} + \left( \frac{V_1 + V_{off2} - 2V_{off1} + I_{p2}R - I_{p1}R}{RC} \right) t$$

por caso:  $\left\{ \begin{array}{l} V_{off2} - 2V_{off1} = \pm 3V_{off} \text{ (ver nota 1 al final)} \\ I_{p2} - I_{p1} = \pm I_B \text{ (ver nota 2 al final)} \end{array} \right.$

$$\Rightarrow V_2(t) = V_{20} \pm V_{off} + \left( \frac{V_1 \pm 3V_{off} \pm I_B R}{RC} \right) t$$

A3: Las \$R\$'s se hallan \$\rightarrow\$ 1 \$\Rightarrow\$ \$I\_B\$ e \$I\_{off}\$ NO AFECTAN

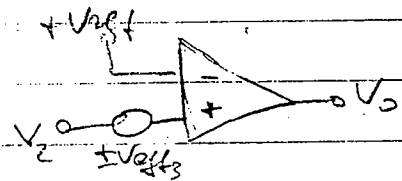
CK = 1 (\$V\_0 = V\_{DD}\$)



$$V_0 = -V_{DD}$$

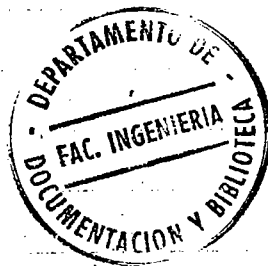
Cuando \$V\_2 < -V\_{ref} \pm V\_{off} = V\_{en-}\$

CK = 0 (\$V\_0 = -V\_{DD}\$)



$$V_0 = V_{DD} \text{ cuando}$$

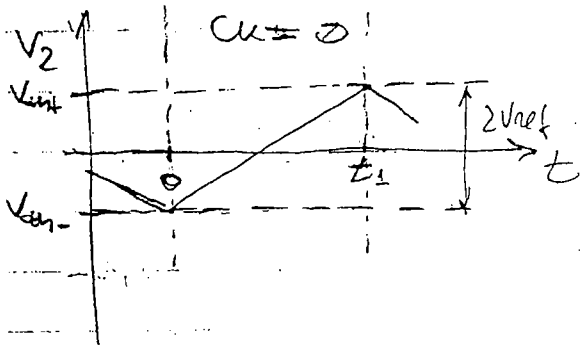
\$V\_2 > V\_{ref} \pm V\_{off} = V\_{en+}\$





Como es el mismo AMPLIFICADOR, la Tensión de offset tiene el mismo signo y magnitud en c/tensión  $V_{th}$

$$\Rightarrow V_{th+} - V_{th-} = 2V_{ref} \mp V_{off} \pm V_{off} = 2V_{ref}$$



$$V_2(t_1) = V_{th-} \pm V_{off} + \left( \frac{V_i \pm 3V_{off} \pm I_B R}{R_C} \right) t_1 = V_{th+}$$

$$\Rightarrow t_1 = \left( \frac{V_{th+} - V_{th-} \mp V_{off}}{V_i \pm 3V_{off} \pm I_B R} \right) R_C = \left( \frac{2V_{ref} \mp V_{off}}{V_i \pm 3V_{off} \pm I_B R} \right) R_C$$

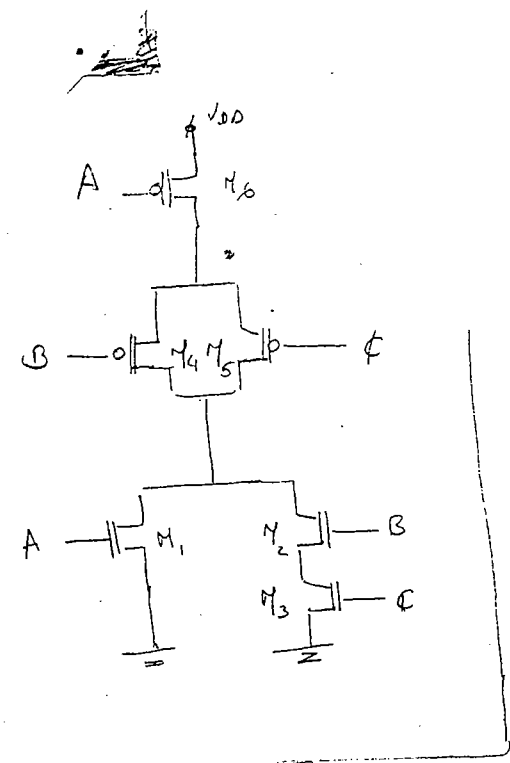
por caso se ↓ con  $NUM \uparrow$  y den ↓

$$\Rightarrow \left| t_1 \right|_{\text{por caso}} = \left( \frac{2V_{ref} + 3V_{off}}{V_i - 3V_{off} - I_B R} \right) R_C$$



NOTA 1: La Tensión de offset se debe a procesos aleatorios por lo que la máxima diferencia es la suma de los módulos

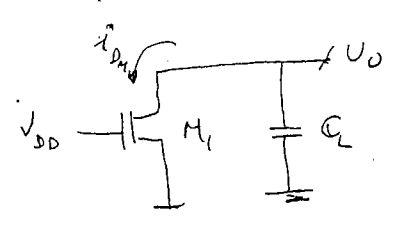
NOTA 2: En un mismo amplificador la máxima diferencia de sus corrientes de polarización es  $I_{off}$ . Sin embargo, para 2 amplificadores distintos (aunque del mismo tipo) esto no se mantiene ya que las corrientes de bias no tienen x/q ser iguales. Entónces consideramos que el peor caso es  $\pm I_{bias}$  (e decir: uno tiene el mayor  $I_p$  posible y el otro el menor  $\approx 0$ )



e)  $f_o = \overline{A+BC}$

b) En la transición  $ABC \rightarrow 100$

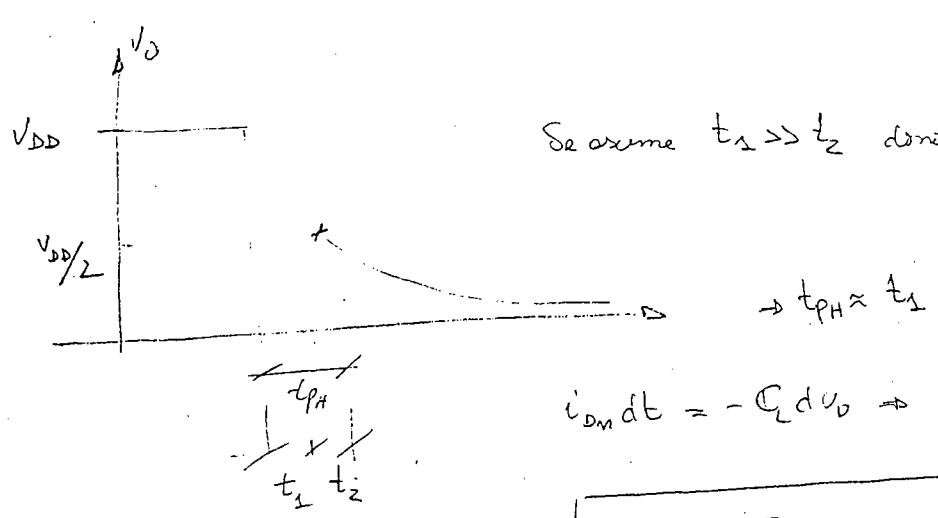
$M_1$  on  
 $M_2$  off  $M_3$  off,  $M_{4,5,6}$  off.



$$i_{Dn} = \frac{1}{2} k_n \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{DS} - V_T)^2$$

$$(k_n = \mu_n C_{ox})$$

$$(\lambda = 1 + \delta = 1)$$



Se asume  $t_1 \gg t_2$  donde  $t_1$ : tiempo MOS saturado  
 $t_2$ : tiempo MOS en no-lineal.

$$i_{Dn} dt = -C_L dU_o \Rightarrow -\frac{1}{2} k_n \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{DD} - V_T)^2 t_{PH} = -C_L \left[V_{DD} - \frac{V_{DD}}{2}\right]$$

$$\Rightarrow t_{PHL} \approx \frac{C_L V_{DD}}{k_n \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{DD} - V_T)^2}$$

Otra como alternativa puede ser calcular el tiempo en el que el MOS esta saturado

$$-\frac{1}{2} k_n \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{DD} - V_T)^2 \cdot t_{sat} = -C [V_{DD} - V_{DSsat}]$$

$$\hookrightarrow \frac{V_{DD} - V_T}{\lambda}$$

si  $t_{sat} \approx t_{PHL}$

$$t_{PHL} = \frac{2 C_L V_T}{k_n \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{DD} - V_T)^2}$$

Note: Estrictamente son iguales si  $V_{DD} = 2V_T$ , pero los dos tiempos son buenas aproximaciones.

