

SEGUNDO PARCIAL DE ELECTRONICA 1 26/06/2010

Resolver cada problema en hojas separadas.
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es sin material.

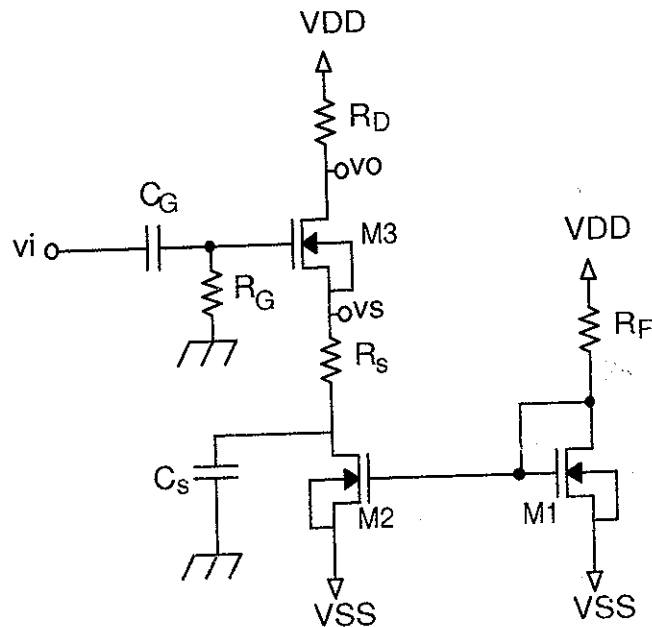
Verifique que la letra que recibió tiene 2 páginas

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

PROBLEMA 1 (33 puntos)

Dado el circuito de la figura:

- Determinar R_F para que la corriente de polarización por M_1 sea 1mA.
- Analizar si para esta corriente de polarización M_2 y M_3 efectivamente operan en zona de saturación.
- Calcular la ganancia v_s / v_i a frecuencias medias.
- Calcular la ganancia v_o / v_i a frecuencias medias.
- Se desea determinar C_G y C_S para tener una cierta frecuencia de corte inferior f_{inf} . Indicar que valores asignaría a los condensadores en función de f_{inf} , fundamentando la elección de la posición del polo asociado a cada condensador.



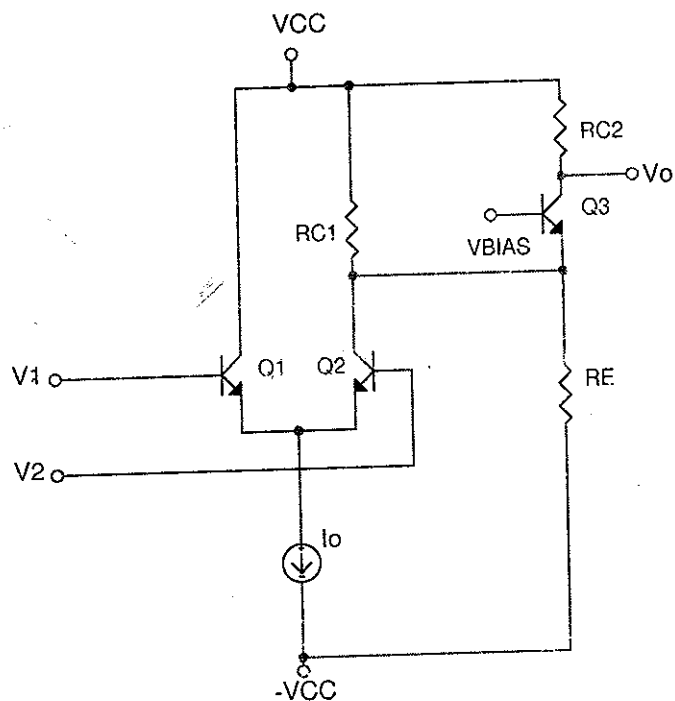
DATOS:

$M_1 = M_2 = M_3$ con: $\beta = 4\text{mA/V}^2$, $V_t = 1\text{V}$, $\delta = 0$ y tensión de Early que se considerará infinita.
 $R_S = 250\Omega$, $R_D = 2.5\text{k}\Omega$, $R_G = 100\text{k}\Omega$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = -5\text{V}$

PROBLEMA 2 (33 puntos)

Dado el circuito de la figura:

- Determinar la corriente de polarización de todos los transistores.
- Calcular la ganancia $V_o / (V_1 - V_2)$ del circuito de la figura.
- Calcular el rango de entrada en modo común si la mínima tensión en bornes de la fuente de corriente lo para su correcto funcionamiento es 0.7V.



DATOS:

$RC_1 = 680\Omega$, $RC_2 = 2,7\text{K}\Omega$,
 $RE = 270\Omega$, $I_o = 20\text{mA}$, $V_{CESAT} = 0.3\text{V}$,
 $V_{BE} = 0.7\text{V}$, $\beta = 100$, $V_{BIAS} = -5\text{V}$,
 $VCC = 10\text{V}$.

PROBLEMA 3 (17 puntos)

Para el circuito de la Figura 3.1 calcular V_o en función de I_1 e I_2 y los parámetros del transistor.
 El transistor Q se representa con el modelo de la Figura 3.2, en la que: el diodo BC tiene una corriente de saturación I_{SC} y el diodo BE tiene una corriente de saturación I_{SE} .

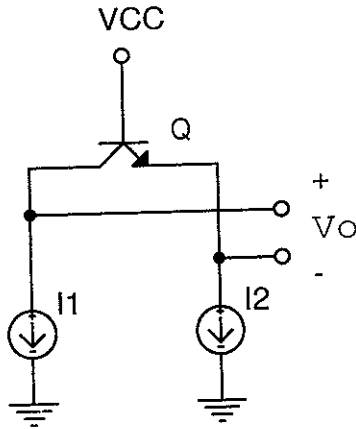


Figura 3.1

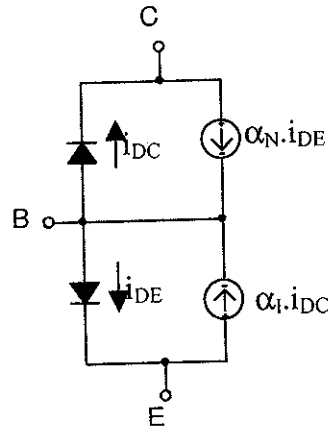
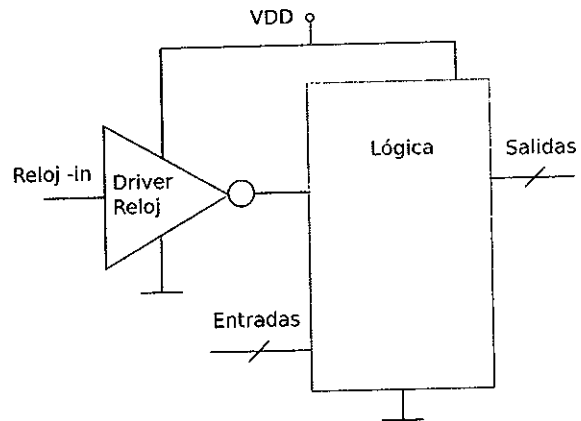


Figura 3.2

PREGUNTA (17 puntos)

Un diseñador tiene un circuito CMOS digital con la estructura mostrada en la Figura: un driver de reloj y la lógica que realiza la función deseada. Se ha determinado que haciendo operar el mismo con una fuente de reloj de frecuencia f_1 con tiempos de subida y bajada tr_1 y tf_1 , respectivamente, el mismo consume una potencia P_1 que se reparte como se muestra en la tabla.



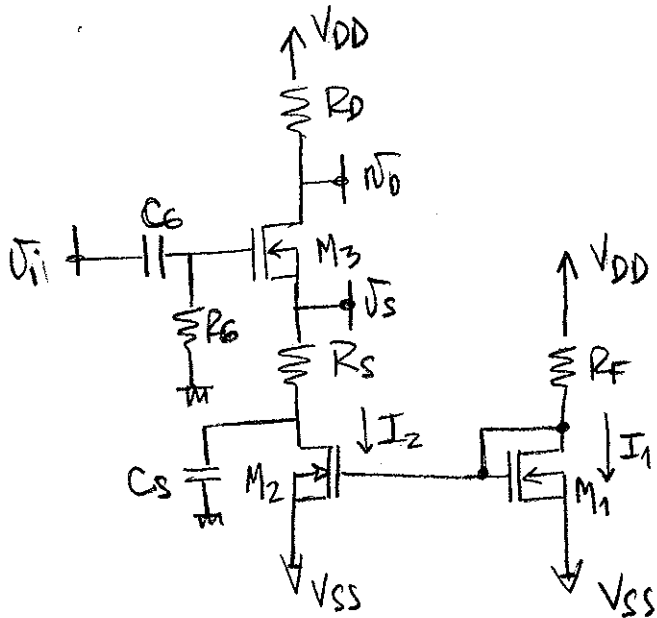
El diseñador tiene la opción de operar el circuito con una frecuencia de reloj $f_2 = f_1/2$, lo que es aceptable para la aplicación, pero esta señal de reloj tiene tiempos de subida y bajada: $tr_2 = 3*tr_1$ y $tf_2 = 3*tf_1$ y se pregunta si ello será conveniente desde el punto de vista de la potencia y la energía consumida. Considerar que el driver de reloj es tal que el consumo dinámico por camino directo VDD – VSS de la lógica sigue siendo despreciable en este caso.

Nº	Tipo de Consumo	Participación en el Total
1	Estático Total	$0.1 \times P_1$
2	Driver de Reloj: consumo dinámico por camino directo VDD - VSS	$0.15 \times P_1$
3	Driver de Reloj: consumo dinámico debido a capacidad de carga CL	$0.45 \times P_1$
4	Lógica: consumo dinámico por debido a capacidad de carga CL	$0.3 \times P_1$
	Lógica: consumo dinámico por camino directo VDD – VSS	0

Se pide:

- ¿Cuánto valen, expresadas en función de P_1 las potencias 1 a 4 de la tabla si se usa la señal de reloj 2?
- Si la operación sobre los datos de entrada que debe realizar la lógica requiere de M ciclos de reloj y luego el sistema se apaga, calcular la energía consumida si se usa la señal de reloj 1 y cuanto vale la misma si se usa la señal de reloj 2.
- Analice si la potencia y la energía con la señal de reloj 2 aumentan, permanecen iguales o disminuyen. Explique cualitativamente el porqué de este resultado.

Problema 1



- $R_S = 250 \Omega$
- $R_D = 2.5 k\Omega$
- $R_G = 100 k\Omega$
- $V_{DD} = 5V = -V_{SS}$

- M_1, M_2, M_3
- $\beta = 4 mA/V^2$
- $V_T = 1V$
- $\lambda = 0$

(a) malla: $R_F I_D + V_{GS} = V_{DD} - V_{SS}$
 $V_{GS} / I_D = \frac{\beta (V_{GS} - V_T)^2}{2(1+\lambda)}$ con $I_D = 1 \mu A$.

$\rightarrow R_F = \frac{(V_{DD} - V_{GS}) - (V_T + \sqrt{\frac{2(1+\lambda) I_D}{\beta}})}{I_D}$
 $\rightarrow R_F = 8.3 k\Omega$

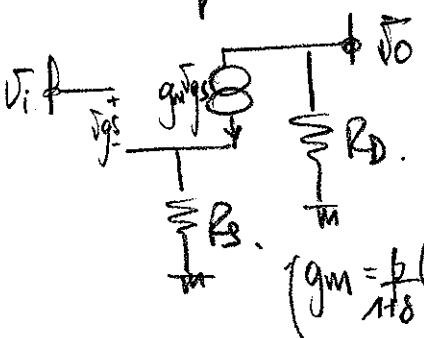
(b) $I_1 = I_2 = I_D = 1 \mu A$
 $\rightarrow V_{GS1} = V_{GS2} = V_{GS3} = 1.7 V = V_{GS}$

(M2): $V_{DS2} = -V_{GS3} - R_S I_D - V_{SS} = 3V > 0.71V = \frac{V_{GS} - V_T}{1+\lambda}$

(M3): $V_{DS3} = V_{DD} - R_D I_D - V_S = 4.2V > 0.71V = \frac{V_{GS} - V_T}{1+\lambda}$

\rightarrow Tanto M2 como M3 en saturación.

Modelo en pequeña señal a frecuencias medias



$v_{gs} = v_i - R_S g_m v_{gs}$
 $\Rightarrow v_{gs} = \frac{v_i}{1 + R_S g_m}$

(c) $v_s = R_S g_m v_{gs}$
 $\rightarrow \frac{v_s}{v_i} = \frac{R_S g_m}{1 + g_m R_S} = 0.41 \frac{V}{V}$

(d) $v_o = -R_D g_m v_{gs}$
 $\Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_D g_m}{1 + g_m R_S} = -4.1 \frac{V}{V}$

(e) (CG): $\omega_{p6} = \frac{1}{R_G C_6}$ ($R_G = 100 k\Omega$)

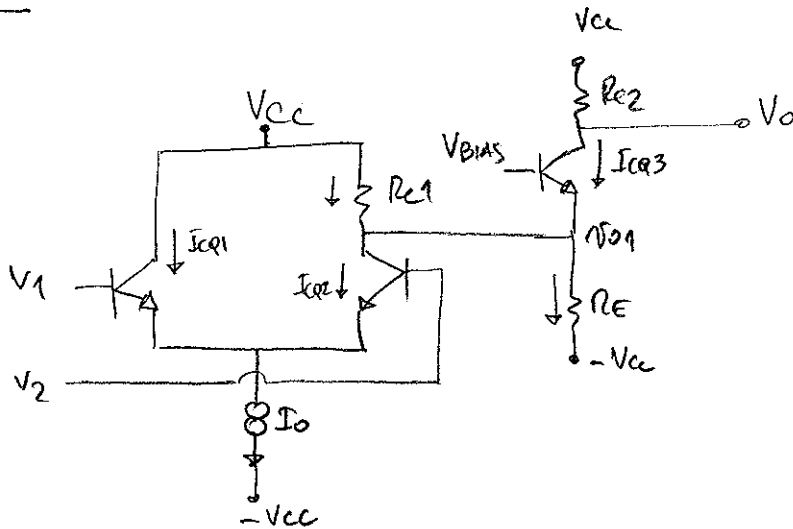
(CS): $v_{gs} = \frac{v_i}{1 + (R_S + 1/C_S) g_m} \Rightarrow \omega_{ps} = \frac{g_m}{C_S (1 + R_S g_m)}$ ($\frac{1 + R_S g_m}{g_m} = 604 \Omega$)

se quiere una frecuencia $-3dB$ (f_{inf}) bien definida, el criterio es definir la a partir de uno de los polos, mientras que el otro fijarlo una década por debajo, la elección se lleva a cabo estudiando la resistencias asociadas a las constantes de tiempo, la resistencia más chica define la f_{inf} .

$\Rightarrow C_6 = \frac{10}{\dots}$ $C_S = \frac{g_m}{\dots}$

Problem 2

a)



$$I_{CQ1} = I_{CQ2} = \frac{I_o}{2} \Rightarrow \boxed{I_{CQ1} = I_{CQ2} = 10 \text{ mA}}$$

$$\frac{V_{cc} - (V_{BIAS} - V_{BE})}{R_{c1}} + I_{CQ3} = I_{CQ2} + \frac{(V_{BIAS} - V_{BE}) + V_{cc}}{R_E} \Rightarrow \boxed{I_{CQ3} = 2,8 \text{ mA}}$$

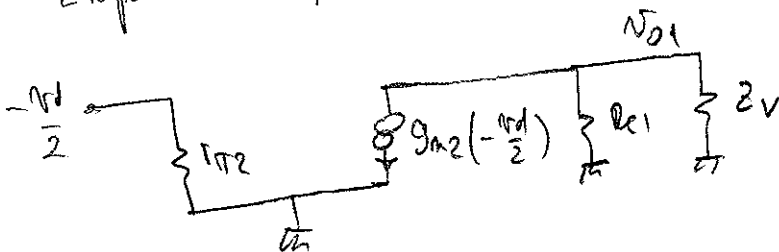
$$V_o = V_{cc} - R_{c2} I_{CQ3} \Rightarrow V_o = 2,44 \text{ V}$$

$$V_{EQ3} = V_{BIAS} - V_{BE} \Rightarrow V_{EQ3} = -5,7 \text{ V}$$

$$b) \quad g_{m1} = \frac{I_{CQ1}}{V_T} = 0,384 \text{ } \Omega^{-1} = g_{m2}$$

$$g_{m3} = \frac{I_{CQ3}}{V_T} = 0,108 \text{ } \Omega^{-1}$$

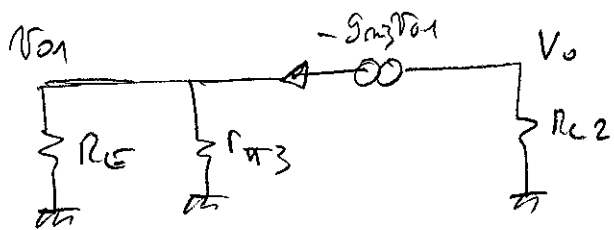
Etape 1: Par différentiel ; $v_d = V_1 - V_2$



$$\Rightarrow \frac{v_{o1}}{v_d} = + \frac{g_{m2} \cdot R_{c1} // Z_V}{2} \quad \left. \vphantom{\frac{v_{o1}}{v_d}} \right\} \Rightarrow$$

$$Z_V = R_E // \frac{1}{g_{m3}} // r_{\pi 3}$$

$$\Rightarrow \frac{v_{o1}}{v_d} = \frac{1}{2} g_{m2} \cdot R_{c1} // R_E // \frac{1}{g_{m3}} // r_{\pi 3} \Rightarrow \frac{v_{o1}}{v_d} = \frac{g_{m2}}{2g_{m3}}$$



$$-\frac{v_o}{R_{e2}} = -g_{m3}v_{o1} \Rightarrow \frac{v_o}{v_{o1}} = g_{m3}R_{e2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left| \frac{v_o}{v_{o1} - v_{o2}} = \frac{1}{2} g_{m2} R_{e2} \right| \Rightarrow \left| \frac{v_o}{v_{o1} - v_{o2}} = 518 \frac{V}{V} \right|$$

$$\text{Verifico: } R_{e1} \parallel R_E \parallel \frac{1}{g_{m3}} \parallel r_{\pi 3} \stackrel{?}{=} \frac{1}{g_{m3}}$$

$$\frac{1}{g_{m3}} = 9 \Omega$$

$$r_{\pi 3} = \frac{\beta}{g_{m3}} = 926 \Omega$$

$$R_E = 270 \Omega$$

$$R_{e1} = 680 \Omega$$

\Rightarrow se verifica $\frac{1}{g_{m3}}$ es mucho más chico que el resto.

$$c) V_{CM,MIN} - V_{BE} \geq -V_{CC} + 0,7 \Rightarrow V_{CM,MIN} \geq -8,6V \quad (\text{para no matar fuente de corriente})$$

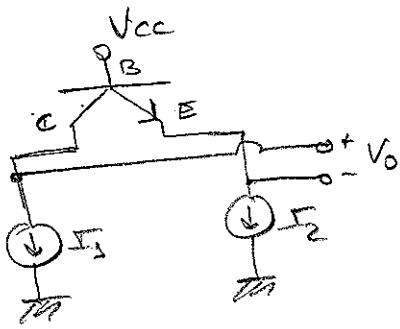
$V_{CM,MAX}$:

$$Q1: V_{CM} - V_{BE1} \leq V_{CC} - V_{CESAT} \Rightarrow V_{CM} \leq 10,4V \quad \left. \vphantom{Q1} \right\} \Rightarrow V_{CM,MAX} \leq -5,3V$$

$$Q2: V_{CM} - V_{BE2} \leq V_{OA} - V_{CESAT} \Rightarrow V_{CM} \leq -5,3V$$

$$\therefore \boxed{ICMR = [-8,6V ; -5,3V]}$$

3



$$i_E = -I_2$$

$$i_C = -I_1$$

$$N_{BE} - N_{BC} = N_0$$

Ebers - Pöll:

$$i_C = -i_{DC} + \alpha_N i_{DE} \quad \left| \quad i_{DE} = I_{SC} (e^{\frac{N_{BE}}{V_T}} - 1) \right.$$

$$i_E = -i_{DE} + \alpha_E i_{DC} \quad \left| \quad i_{DE} = I_{SE} (e^{\frac{N_{BE}}{V_T}} - 1) \right.$$

Notação alternativa:

$$i_C = -\alpha_N i_E - I_{CO} (e^{\frac{N_{BE}}{V_T}} - 1)$$

$$i_E = -\alpha_E i_C - I_{EO} (e^{\frac{N_{BE}}{V_T}} - 1)$$

$$I_{CO} = (1 - \alpha_N \alpha_E) I_{SC}$$

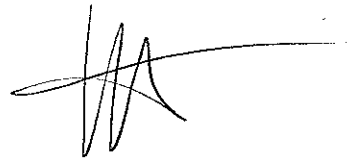
$$I_{EO} = (1 - \alpha_N \alpha_E) I_{SE}$$

4) Ambas junções a diretto: $N_{BE}, N_{BC} \gg V_T$

$$\Rightarrow \begin{cases} -I_1 = +\alpha_N I_2 - I_{CO} e^{\frac{N_{BE}}{V_T}} \\ -I_2 = +\alpha_E I_1 - I_{EO} e^{\frac{N_{BE}}{V_T}} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_{BC} = V_T L \left[\frac{\alpha_N I_2 + I_1}{I_{CO}} \right] \\ N_{BE} = V_T L \left[\frac{\alpha_E I_1 + I_2}{I_{EO}} \right] \end{cases}$$

$$\Rightarrow \boxed{N_0 = V_T L \left[\frac{I_{CO} \cdot \frac{\alpha_E I_1 + I_2}{I_{EO}}}{I_1 + \alpha_N I_2} \right]}$$



a)

Nº	POTENCIA CON f_2
1	$0,1 \times P_1$
2	$\frac{3 \times 0,15}{2} \times P_1$
3	$\frac{0,45}{2} \times P_1$
4	$\frac{0,3}{2} \times P_1$

$$\sum P_i = 0,7 \times P_1$$

b)

$$E_1 = \frac{P_1 \cdot M}{f_1}$$

$$E_2 = \frac{P_2 \cdot M}{f_2} = \frac{0,7 \times P_1 \cdot M}{f_1/2} = 1,4 \times E_1$$

c) LA POTENCIA DISMINUYE: DEBIDO A QUE SI BIEN HAY UN AUMENTO EN EL CONSUMO POR CAMINO DIRECTO, ESTE ES MENOR QUE LA REDUCCIÓN EN EL CONSUMO DINAMICO DEBIDO A C_L .

LA ENERGÍA AUMENTA: YA QUE EN EL CASO 2 LA ENERGÍA DEL CONSUMO ESTÁTICO Y LA DEL CAMINO DIRECTO SON MAYORES.