

**2do PARCIAL DE ELECTRONICA 1**  
10/07/2015

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 (29 Puntos)**

El circuito de la figura busca amplificar la señal  $v_{in}$  y encender el LED D1 en función del valor de  $v_{in}$ .

- Determinar la ganancia  $v_{c1}/v_{in}$  en banda pasante.
- Determinar la frecuencia de corte inferior.
- Indicar si para  $v_{in}=0$  M1 conduce o está cortado. Fundamente su respuesta.
- Determinar cuánto debe valer la tensión  $v_{c1}$  para que la corriente por el LED D1 sea 2mA.
- En  $v_{in}(t)$  se tiene una señal sinusoidal cuya frecuencia está en la banda pasante de la etapa amplificadora implementada por Q1. Determinar que condición debe cumplir la tensión de pico de  $v_{in}(t)$  para que la corriente de pico por el LED D1 sea mayor o igual a 2 mA.

Datos:

M1:  $\beta_{M1} = 60 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_{tM1} = 1.5 \text{ V}$

Q1:  $\beta_{Q1} = 100$ ;  $V_{CEsat} = 0.3 \text{ V}$ ;  $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

D1:  $V_D = 1.3 \text{ V}$  (@ $I_D = 2 \text{ mA}$ )

$V_{CC} = 5 \text{ V}$

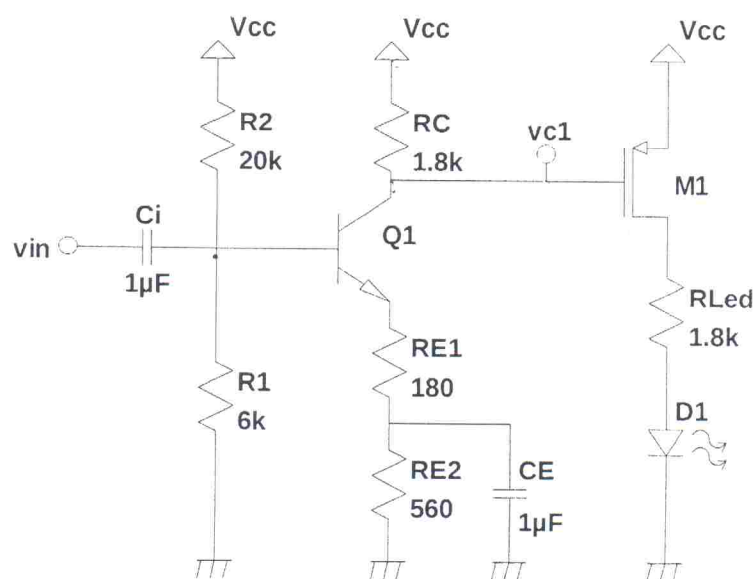


Figura Problema 1

**PROBLEMA 2 (29 puntos)**

En el circuito de la figura:

- Determinar la corriente de drain de M2. Asuma que  $V_{ref}$  es tal que M2 y M3 se encuentran saturados.
- Determine la ganancia  $v_o/v_{in}$ .
- Determine el rango de  $V_{ref}$  en el que el circuito funciona correctamente.

Datos:

M1, M2, M3:  $V_{t0} = 0.9 \text{ V}$ ,  $\beta = 3.4 \text{ mA/V}^2$ ,  $\delta = 0.3$ ,  $V_A$  infinito

$R1 = 680 \Omega$ ,  $R_L = 68 \text{ k}\Omega$ ,  $C$  infinito

$V_{DD} = 5 \text{ V}$ ,  $I_B = 1 \text{ mA}$

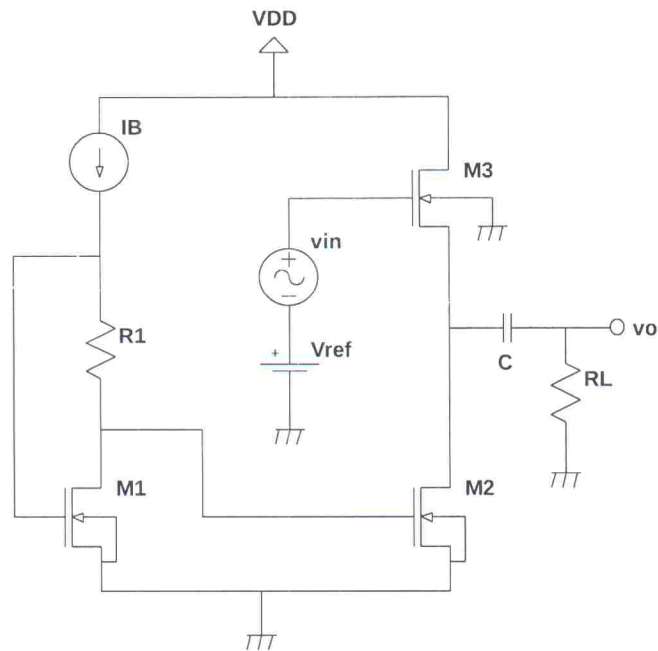


Figura Problema 2

**PROBLEMA 3 (24 puntos)**

- (a) Hallar la resistencia vista R del circuito de la Figura 1  
 (b) Calcular la transferencia  $V_o/V_i$  del circuito de la Figura 2.

Notas:

- i) Se supondrá que todos los transistores operan en zona activa.
- ii) Se supondrá que todos los transistores tienen el mismo  $\beta \gg 1$ .
- iii) Se supondrá que todos los transistores tienen el mismo Voltaje de Early  $V_A$ .
- iv) A los puntos  $V_{bias1}$  y  $V_{bias2}$  se conectan fuentes de continua para polarizar los transistores.

Sugerencia: Para la parte (b) se sugiere calcular en primer lugar el equivalente de Norton del circuito, y a partir de éste, calcular la transferencia solicitada.

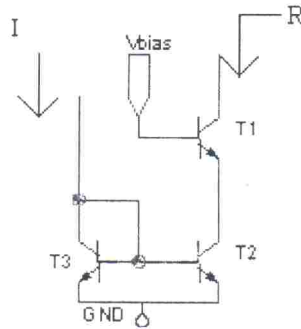


Figura 1 Problema 3

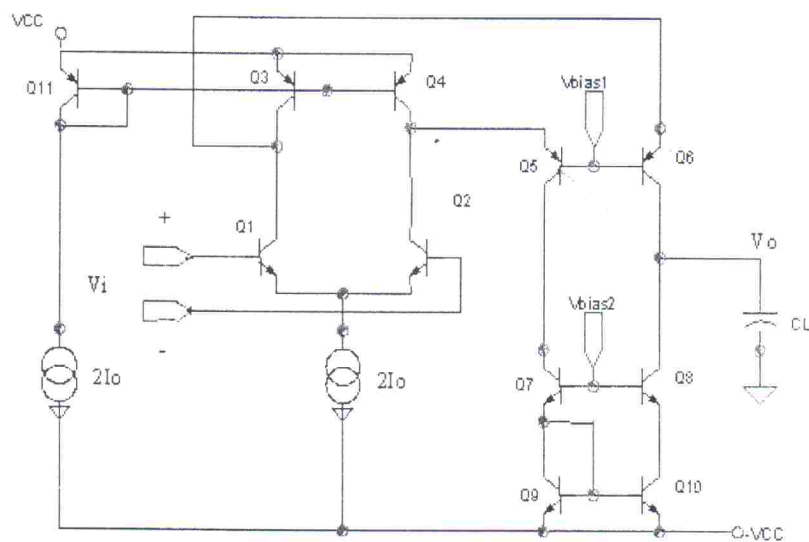


Figura 2 Problema 3

**PREGUNTA (18 puntos)**

Un circuito digital CMOS tiene un consumo de 12 W operando a 120 MHz alimentado de 3.3 V, el cuál se reparte en 30% de consumo estático y 70% de consumo dinámico. La potencia disipada por camino directo entre VDD y VSS se supone despreciable.

En esta situación, el camino crítico (máximo retardo), tiene un retardo que corresponde a medio período de reloj, mientras que el retardo máximo admisible es de un período de reloj. Se desea reducir el consumo operando con una menor tensión de alimentación.

Se supondrá que la tensión de alimentación es en todos los casos mucho mayor que la tensión umbral de los transistores de la tecnología.

¿Cuál es la mínima potencia que se puede consumir y con que tensión de alimentación se alcanzaría si se supone que el consumo de potencia estático es proporcional a la tensión de alimentación ?

Fundamente claramente su respuesta.

# Ejercicio 1

②

asumiendo  $I_{B1} \ll I_{R1}$

$$I_{C1} = \frac{V_{ce} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - V_{BEON}}{R_{E1} + R_{E2}} \approx 613 \mu A \Rightarrow f_{\pi 1} \approx 4,2 \text{ KHz}$$

$$g_{m1} \approx 24 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$\left( I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta} \approx 6 \mu A \ll 192 \mu A = \frac{V_{ce}}{R_1 + R_2} = I_{R1, R2} \right)$$

$$\frac{N_{c1}}{N_{in}} = - \frac{g_m R_c}{g_m R_{E1} + 1} = -8,12 \text{ V/V}$$

③

asumo que  $C_E$  impone el polo de bajo

$$f_{PC1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_v} \Rightarrow$$

$$\text{con } R_v = R_1 \parallel R_2 \parallel [f_{\pi 1} + (\beta + 1)(R_{E1} + R_{E2})] = 4,4 \text{ K}\Omega$$

$$\Rightarrow f_{PC1} \approx 36 \text{ Hz}$$

si se cumple que  $g_{m1} R_{E1} \gg 1 \Rightarrow$

$$f_{PCE} = \frac{1}{2\pi R_{E1} \parallel R_{E2} \cdot C_E} = 1,2 \text{ KHz}$$

nota: en este caso  $g_{m1} R_{E1} = 4,3 \Rightarrow$

$$\frac{N_{c1}(j\omega)}{N_{in}} = \frac{g_m R_c}{g_m Z_E + 1}$$

$$Z_E = R_{E1} + \frac{R_{E2}}{R_{E2} C_E j\omega + 1}$$

$$\Rightarrow \frac{N_{c1}}{N_{in}} = \frac{R_c (R_{E2} C_E j\omega + 1)}{1 + \left( \frac{1}{g_m} + R_{E1} \right) \parallel R_{E2} \cdot j\omega C_E} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f_{PCE} = \frac{1}{2\pi \left( \frac{1}{g_m} + R_{E1} \right) \parallel R_{E2} C_E} = 1 \text{ KHz}$$

$$f_{\omega 0} = \frac{1}{2\pi R_E 2C_E} = 234 \text{ Hz.}$$

si  $f_{PCE} \gg f_{\omega 0}, f_{p_{ci}} \Rightarrow f_{\text{corte, inferior}} = f_{PCE} = 1,2 \text{ kHz}$

③ si  $V_{in} = 0 \Rightarrow V_{c1} = V_{cc} - R_C \cdot I_{c1} \cong 3,9 \text{ V}$   
 $V_{SG} = 5 - 3,9 = 1,1 < 1,5 = V_t$

M1 no conduce.

④  $V_{c1} / I_{DM1} = 2 \text{ mA}$

Asumo M1 en zona lineal

$$I_{DM1} = \beta \left[ (V_{SG} - V_t) V_{SD} - \frac{1+\beta}{2} V_{SD}^2 \right] \Rightarrow$$

si  $\frac{1+\beta}{2} V_{SD} \ll V_t \Rightarrow$

$$I_{DM1} = \beta (V_{SG} - V_t) V_{SD} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{SG} = \frac{I_{DM1}/\beta}{V_{SD}} + V_t \rightarrow \Rightarrow$$

por otro lado  $V_{SD} = V_{cc} - (I_{DM1} R_{Lcd} + V_{\gamma}) = 100 \text{ mV}$

$$\Rightarrow V_{SG} = 1,8 \text{ V}$$

$$V_G = V_{cc} - V_{SG} = 3,2 \text{ V} = V_{c1}$$

$$\textcircled{e} \quad S_1 \quad V_G \downarrow \Rightarrow V_{SG} \uparrow \Rightarrow I_D \uparrow \Rightarrow$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{C1 \min} = V_{G \min} \leq 3,2 \text{ V} \\ V_{C1 \text{ DC}} = 3,9 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow N_{C1P} > 700 \text{ mV}$$

$$\Rightarrow N_{ip} > \frac{N_{C1P_{\text{DC}}}}{G} = 86 \text{ mV} \quad \perp$$

# 2do parcial ELECTRONICA I, 2015

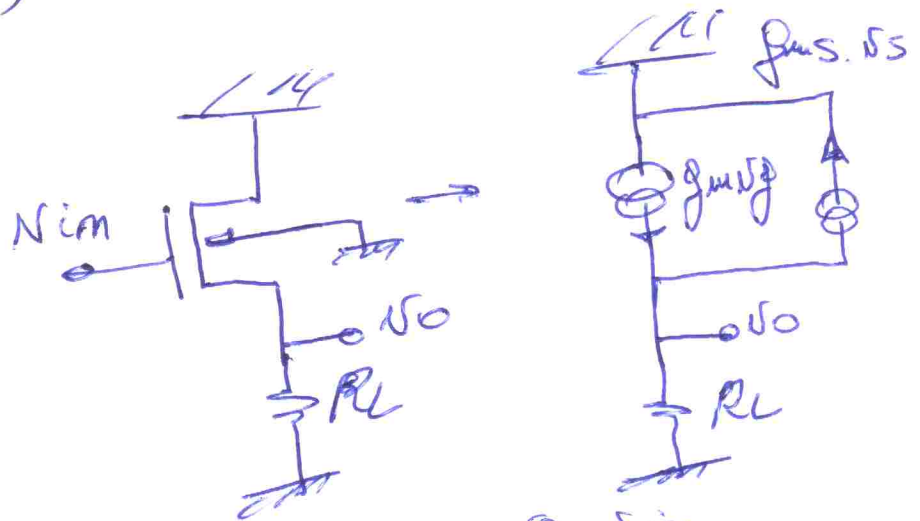
PROBLEMA 2:  $I_{D1} = I_B \Rightarrow$

$$e) V_{G1} = V_{to} + \sqrt{\frac{2(1+\delta) I_B}{\beta}} = 1.77V \quad \rightarrow V_{DSAT1} = \frac{V_{G1} - V_{to}}{(1+\delta)} = 0.67V$$

$$\Rightarrow V_{G2} = V_{G1} - R_1 \cdot I_B = 1.09V = V_{DS1} > V_{DSAT1} \checkmark$$

$$\Rightarrow I_{D2} = \frac{\beta}{2(1+\delta)} (V_{G2} - V_{to})^2 = 48.5 \mu A$$

b) En señal:



$$\Rightarrow \frac{N_o}{N_{in}} = \frac{g_m \cdot R_L}{1 + g_m R_L}$$

$$= \frac{g_m \cdot R_L}{1 + (1+\delta) g_m R_L}$$

$$g_m = \sqrt{\frac{2\beta}{(1+\delta)} \frac{I_{D3}}{I_{D2}}} = 0.51 \text{ mS}$$

$$(1+\delta) \cdot g_m \cdot R_L = 45 \Rightarrow 1$$

$$\Rightarrow \frac{N_o}{N_{in}} \cong \frac{1}{(1+\delta)} = 0.77$$



(c) M2 está saturado si  $V_{D2} > \frac{V_{G2} - V_{EO}}{1+\delta}$

$$V_{D2} = V_{S3} \Rightarrow I_{D3} = \frac{\beta}{2(1+\delta)} (V_{G3} - V_{EO} - (1+\delta)V_{S3})^2$$

conviene usar notación referida  
a sustrato

$$I_{D3} = I_{D2} \Rightarrow V_{D2} = V_{S3} = \frac{V_{REF} - V_{EO} - \sqrt{\frac{2(1+\delta)}{\beta} I_{D2}}}{1+\delta}$$

$$\text{Además: } V_{G2} = \sqrt{\frac{2(1+\delta)}{\beta} I_{D2}} + V_{EO}$$

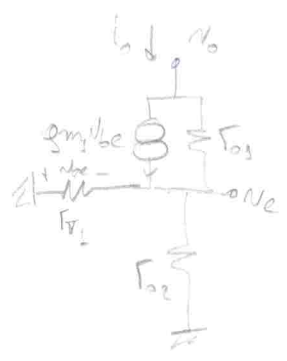
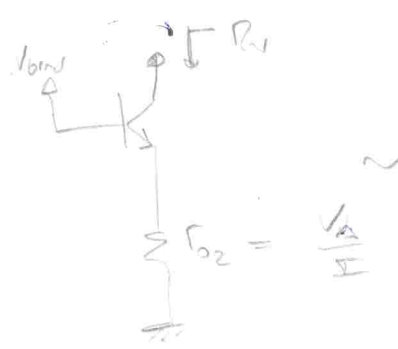
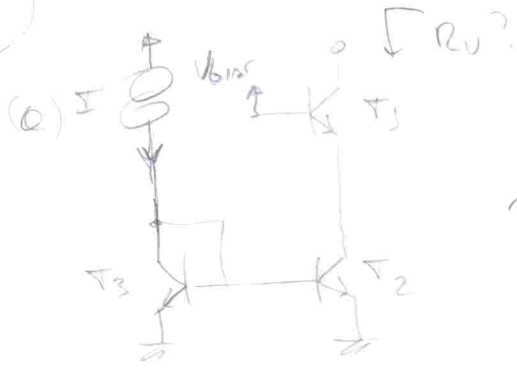
$$\Rightarrow \frac{V_{REF} - V_{EO} - \sqrt{\frac{2(1+\delta)}{\beta} I_{D2}}}{(1+\delta)} > \frac{\sqrt{\frac{2(1+\delta)}{\beta} I_{D2}} + V_{EO} - V_{EO}}{(1+\delta)}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} V_{REF} > V_{EO} + 2 \sqrt{\frac{2(1+\delta)}{\beta} I_{D2}} \\ V_{REF} > 1,29 \text{ V} \end{array} \right\}$$

M3 está saturado si  $V_{D3} > \frac{V_{G3} - V_{EO}}{1+\delta}$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} V_{REF} < V_{DD} (1+\delta) + V_{EO} \\ V_{REF} < 7,4 \text{ V} \end{array} \right\}$$

(3)



$$r_{o1} - r_{o2} = \frac{V_A}{I}$$

$$r_{o1} = \beta \frac{V_A}{I}$$

$$g_m = \frac{I}{V_T}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} i_o = g_m v_{be} + v_o - v_e \frac{1}{r_o} \\ v_e = i_o (r_{o1} \parallel r_o) \end{cases}$$

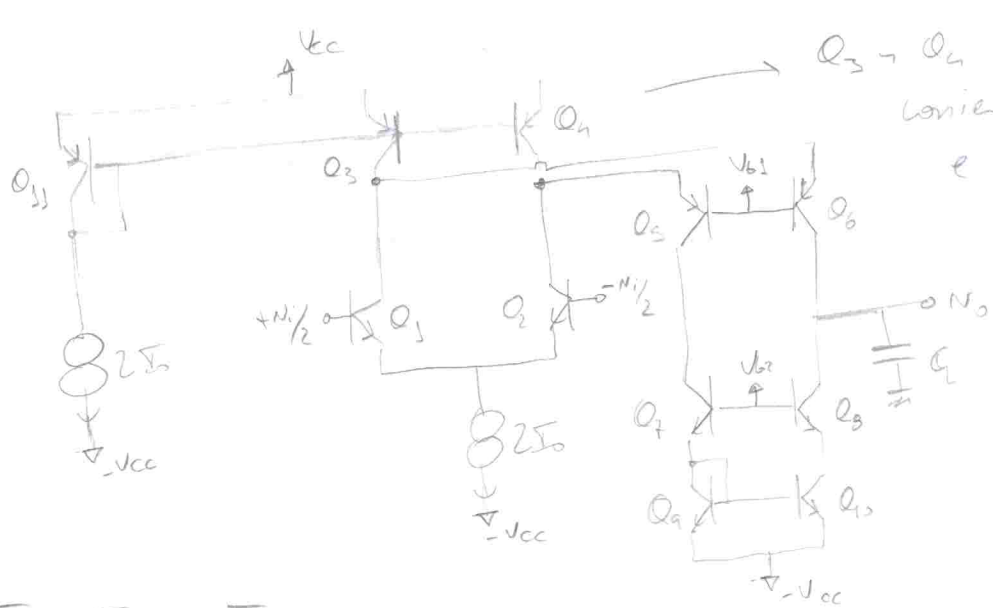
$$\rightarrow i_o = \frac{v_o}{r_o} - i_o (r_{o1} \parallel r_o) (g_m + \frac{1}{r_o})$$

$$\rightarrow \frac{v_o}{i_o} = r_o \left( 1 + \frac{g_m r_o + 1}{r_o} (r_{o1} \parallel r_o) \right) = R_U$$

$$g_m r_o \gg 1 \quad (v_{be} \gg V_T) \Rightarrow R_U \approx r_o \left( 1 + g_m (r_{o1} \parallel r_o) \right)$$

Approx. no. confirmed:  $r_o \gg r_{o1} \rightarrow R_U \approx r_o (1 + g_m r_{o1}) \Rightarrow \boxed{R_U \approx \beta r_o}$

(b)



$Q_3 \rightarrow Q_4$  are sources of current to value  $2I_0$  e impedances  $r_o/2$

$$r_o = V_A / I_0$$

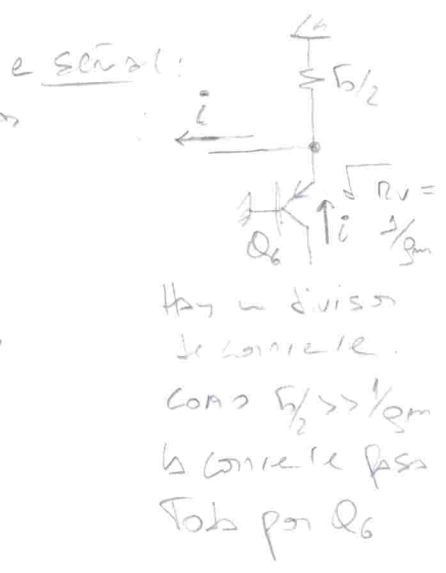
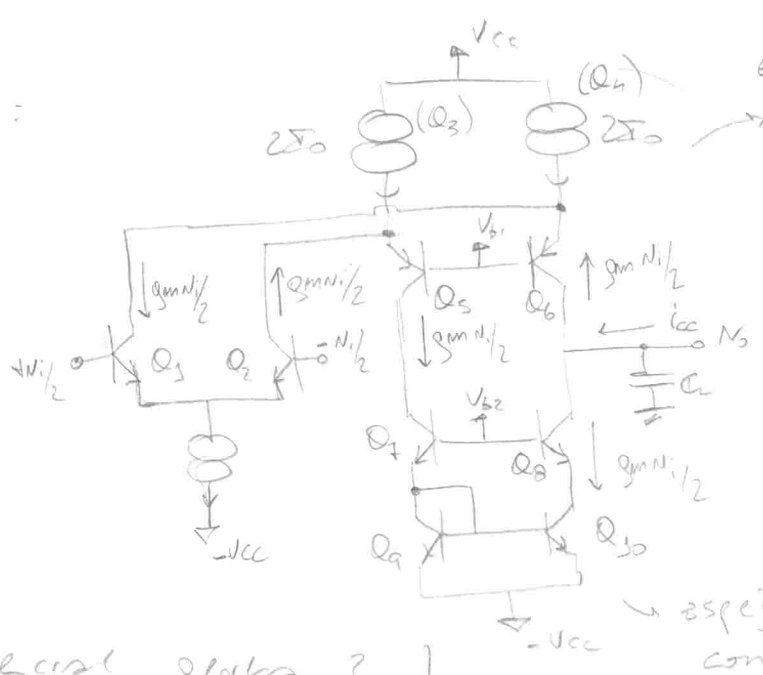
$$r_{o1} = \beta I_0 / I_0$$

$$g_m = I_0 / V_T$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_{C1} = I_{C2} = I_0 \\ I_{C3} = I_{C4} = I_{C5} = I_{C6} = I_{C7} = I_{C8} = I_{C9} = I_{C10} = I_0 \end{cases}$$

3

(b) Redibujos:



Hay un divisor de corriente. Como  $r_{pi}/2 \gg 1/g_m$  la corriente pasa todo por  $Q_6$

→ El par diferencial genera 2 corrientes de señal iguales y opuestas  $\pm g_m i_i/2$   
 → ambas corrientes de señal pasan por  $Q_5$  y  $Q_6$  (nada va hacia los otros 2 puentes para  $Q_3$  y  $Q_4$ )

→ Norton:

$$i_{cc} = i_o \Big|_{N_o=0} = g_m N_i$$

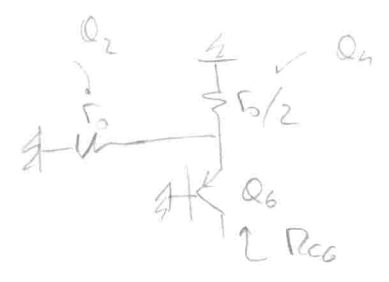
$$R_o = \frac{N_o}{i_o} \Big|_{N_i=0}$$

→ Cálculo de  $R_o$ :  $R_o = R_{c3} \parallel R_{c6}$

$R_{c3}$ :  $\Delta v_{ce3} \approx \Delta v_{be}$

$$R_{c3} = r_o (1 + g_m (r_{pi} \parallel r_{e3}))$$

$R_{c6}$ :



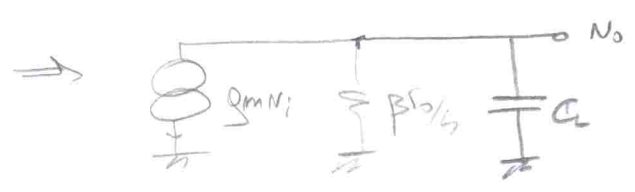
Por parte (a):

$$R_{c6} = r_{o3} \left( 1 + g_m (r_{pi} \parallel r_{e3}) \right)$$

si suponemos  $r_{pi} \ll r_{e3}$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{c3} \approx \beta r_o \\ R_{c6} \approx \beta r_{o3} \end{array} \right\} \rightarrow R_o = \beta r_{o3} / 4$$

CIRCUITO NORTON completo



$$\frac{N_o}{N_i} = - \frac{g_m \beta r_{o3} / 4}{1 + \beta r_{o3} \frac{C}{4} s}$$

## 2do parcial Electrónica I, 2015

Preguntas:

$$\textcircled{\bullet} 3.3V \Rightarrow P_{din} = 8.4W$$

$$P_{estat} = 3.6W$$

$$t_d \propto \frac{1}{V_{DD}}$$

Si se puede duplicar  $t_d$

$\Rightarrow$   $V_{DD}$  se puede reducir a la mitad

$$\Rightarrow V_{DD\text{ bajo}} = 1.65V$$

$$\Rightarrow P_{din} = f \cdot C \cdot V_{DD}^2 \rightarrow P_{din} \propto V_{DD}^2$$

$$\rightarrow P_{din\text{ bajo}} = P_{din} \cdot \left(\frac{1.65}{3.3}\right)^2 = \frac{P_{din}}{4} = \underline{2.1W}$$

$$P_{estat} \propto V_{DD} \rightarrow P_{estat\text{ bajo}} =$$

$$= 3.6 \cdot \frac{1.65}{3.3} = \frac{3.6}{2} = 1.8W$$

$$\Rightarrow P_{mínima} = \underline{3.9W}$$

$$\textcircled{\bullet} 1.65V = V_{DD}$$