

**Examen de Electrónica 2**  
**04/08/2007**

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 (39 puntos):**

El circuito de la Figura 1 implementa un detector de fase, es decir un circuito que da a la salida una tensión proporcional al desfase entre dos señales.

- a) Indique el rango lineal de las entradas V1 y V2 indicando el criterio utilizado para definir los límites del rango lineal indicado.
- b) En el caso en que: V1 y V2 son dos señales sinusoidales con un desfase de  $\phi$  radianes (ver expresiones abajo) y con amplitudes Vp1 y Vp2 mucho mayores que los rangos de linealidad hallados en i), C vale 0 y se desprecia la tensión de Early de los transistores.
  - i) Graficar la corriente Iout en función del tiempo.
  - ii) Demuestre que la componente continua de la salida Vout varía linealmente con  $\phi$ .
- c) Calcule la corriente de polarización para V1=V2=0 de los transistores M4 a M7.
- d) Suponiendo para esta parte que los transistores MOSFET tienen voltaje de Early V<sub>Amos</sub> y que los transistores Bipolares tienen voltaje de Early V<sub>Abip</sub>, determinar que condición tiene que cumplir C para que el circuito funcione correctamente como detector de fase.

$$V1 = (V1+) - (V1-) = Vp1.SIN(\omega t)$$

$$V2 = (V2+) - (V2-) = Vp2.SIN(\omega t + \phi)$$

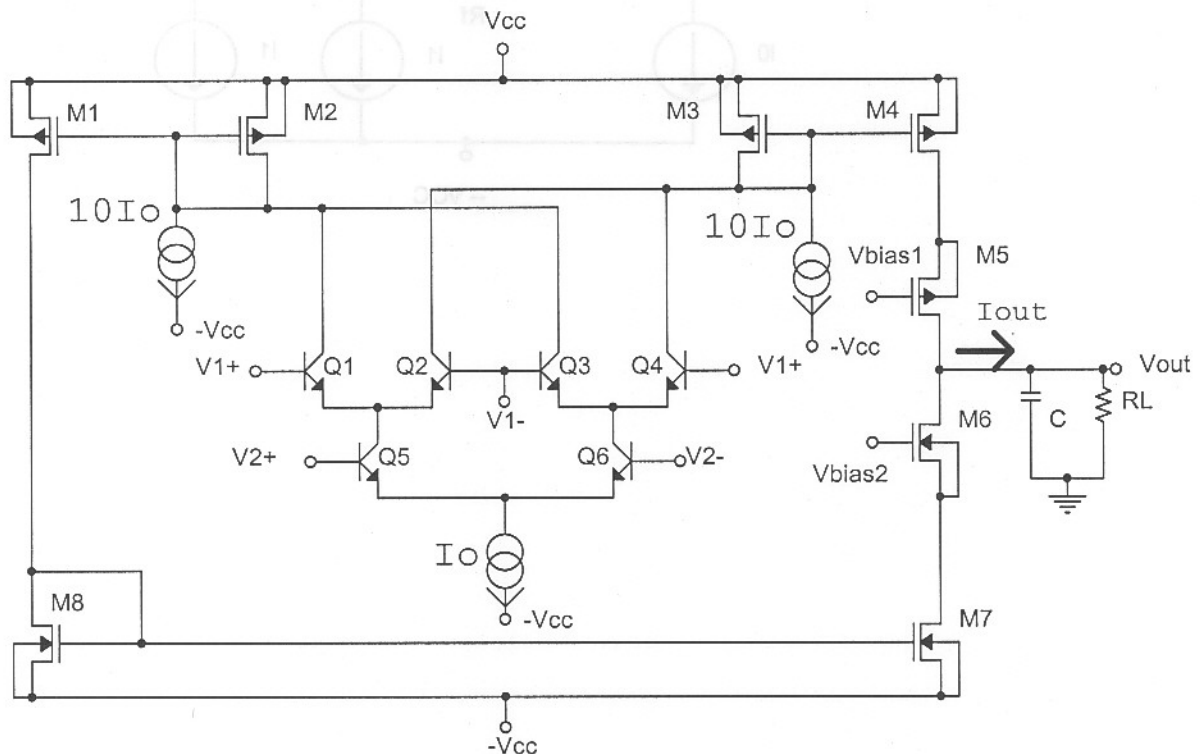


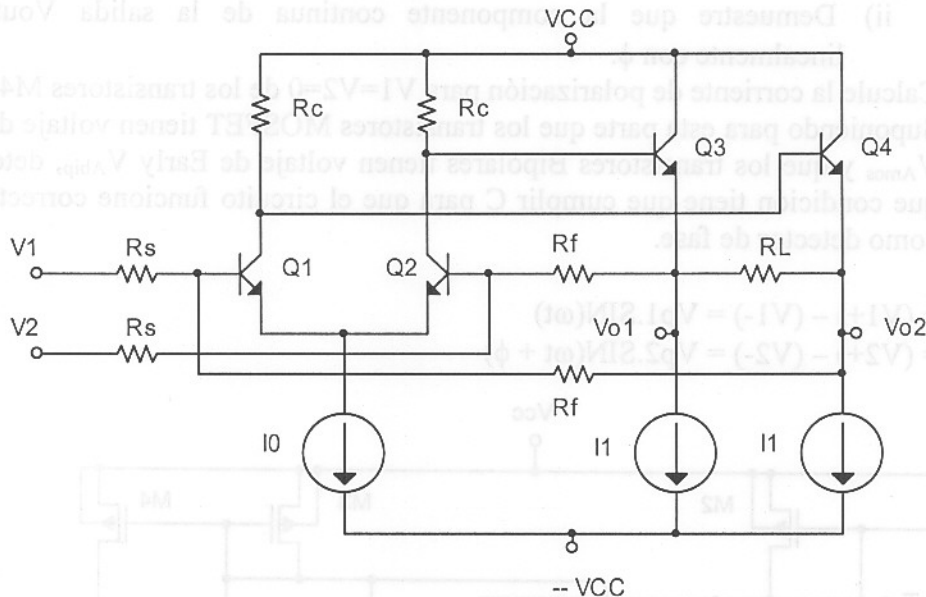
Figura 1

**Problema 2 (39 puntos):**

En el circuito de la figura, los valores de los componentes son tales que:

- los transistores Q3 y Q4 se puede suponer que se comportan a baja frecuencia como seguidores ideales y la corriente de base de Q3 y Q4, tanto en continua como en señal es despreciable,
- $g_{m1,2} \cdot R_c \gg 1$ , siendo  $g_{m1,2}$  la transconductancia de los transistores Q1 y Q2.
- los transistores operan en la zona activa.

- a) Calcular la ganancia  $V_{o1} - V_{o2} / V_1 - V_2$  en baja frecuencia.
- b) Considerando que se puede mostrar que el efecto de los condensadores  $c_\pi$  de Q3 y Q4 es despreciable, dar la expresión numérica y literal del polo dominante del circuito si:
  - $I_0 = 10 \text{ mA}$ ,  $I_1 = 8 \text{ mA}$ ,  $R_L = 200 \Omega$ ,  $R_f = 25 \text{ k}\Omega$ ,  $R_c = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_s = 1.5 \text{ k}\Omega$
  - Q1 y Q2 tienen  $f_T = 300 \text{ MHz}$  @  $I_c = 10 \text{ mA}$ ,  $c_\mu = 4 \text{ pF}$  y  $c_{je} = 20 \text{ pF}$ ,  $\beta = 300$  y
  - Q3 y Q4 tienen  $c_\mu = 4 \text{ pF}$



**Pregunta (22pts) :**

a) En los bloques de la Figura 1 calcular la corriente  $i_i$  en función de la corriente  $i_o$  si las tensiones aplicadas son tales que los transistores funcionan en la zona activa.

b) En el circuito de la Figura 2, la fuente de corriente  $I_o$  requiere una tensión mínima en bornes para operar correctamente de valor  $V_{iomin}$ . Determinar la máxima potencia que se puede entregar a la carga  $R_L$  en función de  $I_o$  y  $V_{CC}$ , discutiendo para todo valor positivo de  $I_o$  y  $V_{CC}$ .

c) Si los transistores tienen una tensiones base emisor  $V_{EB1}$ ,  $V_{BE2}$ ,  $V_{BE3}$ ,  $V_{BE4}$  y  $V_{BE5}$ , determinar la relación  $R2/R1$  necesaria para que el circuito opere correctamente en clase AB.

d) Si se usa un preset para  $R1$ , indicar cómo se ajusta el mismo: en qué posición (valor máximo o valor mínimo) debe colocarse inicialmente y cómo se determina que se alcanzó el valor adecuado.

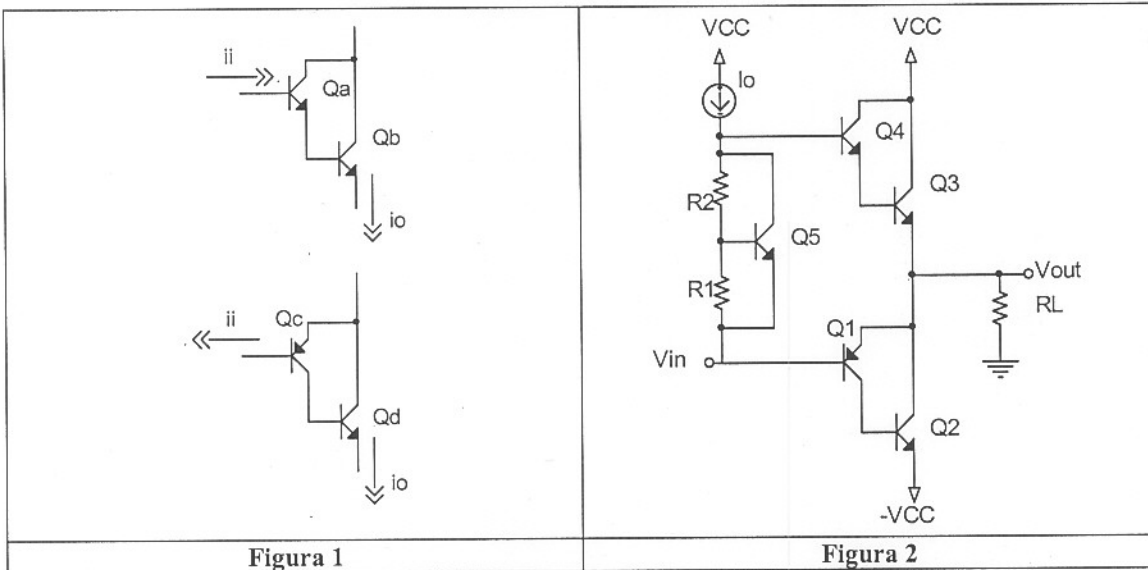


Figura 1

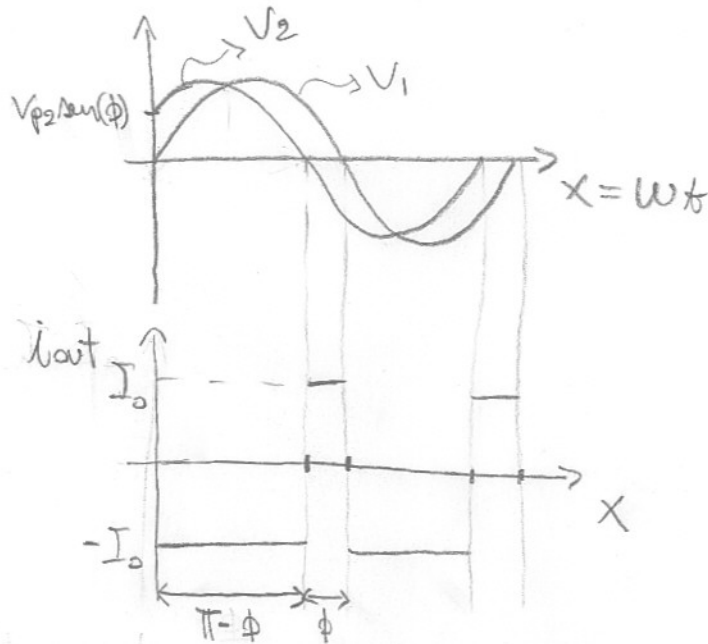
Figura 2

# Probleme 1

a)

$$V_1, V_2 \ll 2V_T$$

b) i)



$$V_{p2} \sin(x + \phi) = 0 \Rightarrow x + \phi = \pi \Rightarrow x = \pi - \phi$$

$$ii) N_{out} = R_L i_{out} \Rightarrow N_{out}^{DC} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} R_L i_{out} dx$$

$$= \frac{R_L}{\pi} \left[ \int_0^{\pi-\phi} (-I_0) dx + \int_{\pi-\phi}^{\pi} I_0 dx \right] = \frac{R_L}{\pi} \left[ -I_0(\pi-\phi) + I_0\phi \right]$$

$$= \frac{R_L}{\pi} \left[ 2I_0\phi - I_0\pi \right] = \left( \frac{2R_L I_0}{\pi} \right) \phi - R_L I_0$$

$$N_{out}^{DC} = \left( \frac{2R_L I_0}{\pi} \right) \phi - R_L I_0$$

# Problema 1

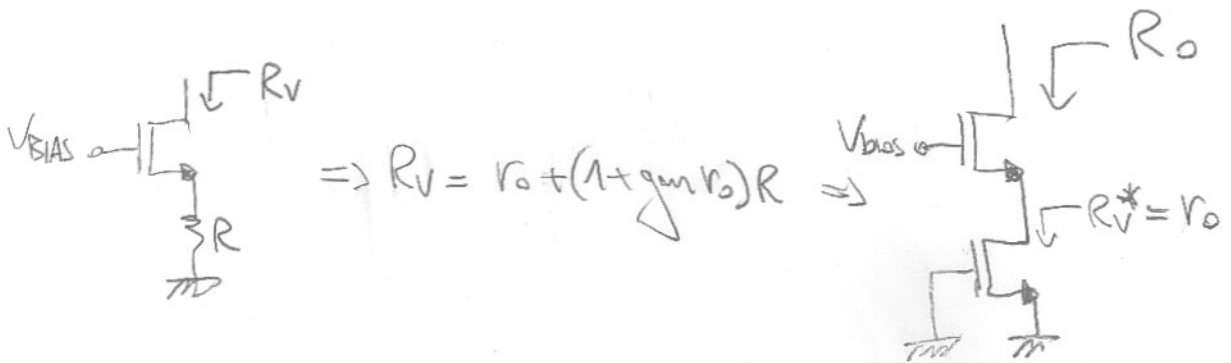
c)  $I_{M2} = I_{M2} = 10I_0 + \frac{I_0}{2} = \frac{21}{2} I_0$

$I_{M6} = I_{M7} = I_{M8} = I_{M4} = I_{M9} = \frac{21}{2} I_0$

$I_{M5} = I_{M4} = I_{M3} = \frac{21}{2} I_0$

$\Rightarrow$   $M_4, M_5, M_6$  y  $M_7$  tienen  $I = \frac{21}{2} I_0$

d)



$\Rightarrow R_o = r_o + (1 + g_m r_o) r_o = r_o + r_o + g_m r_o^2 = r_o (2 + g_m r_o)$

donde  $r_o = \frac{V_{A_{mos}}}{I_{source}} = \frac{2 V_{A_{mos}}}{21 I_0}$

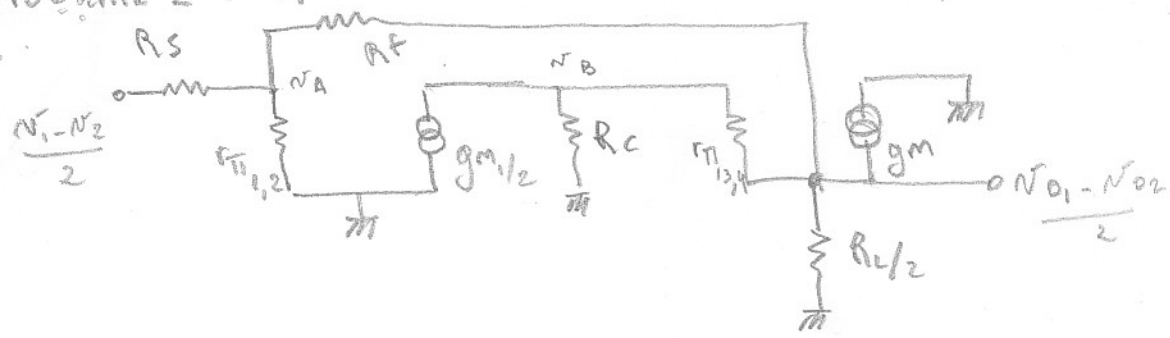
$\Rightarrow R_o^{tot} = R_{VM6} \parallel R_{VM5} \parallel R_L = \frac{R_{VM6}}{2} \parallel R_L$  con  $R_{VM6} = r_o (2 + g_m r_o)$

y  $r_o = \frac{2 V_{A_{mos}}}{21 I_0}$

La frecuencia de corte es  $\omega_{cut} = 2\omega$

$\Rightarrow \omega_p = \frac{1}{C R_o^{tot}} \ll 2\omega \Rightarrow \left( \gg \frac{1}{2 R_o^{tot} \omega} \right)$

Pablo Castro



$$\frac{N_{O1} - N_{O2}}{2} = N_B$$

↑  
por letra

$$N_B = N_A \cdot g_{m_{1,2}} \cdot R_C \parallel (r_{\pi_{3,4}} + (\beta + 1) R_L/2)$$

$$g_{m_{1,2}} = \frac{I_{O/2}}{V_T} = \frac{5 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0,19$$

$$r_{\pi_{1,2}} = 1,58 \text{ k}\Omega$$

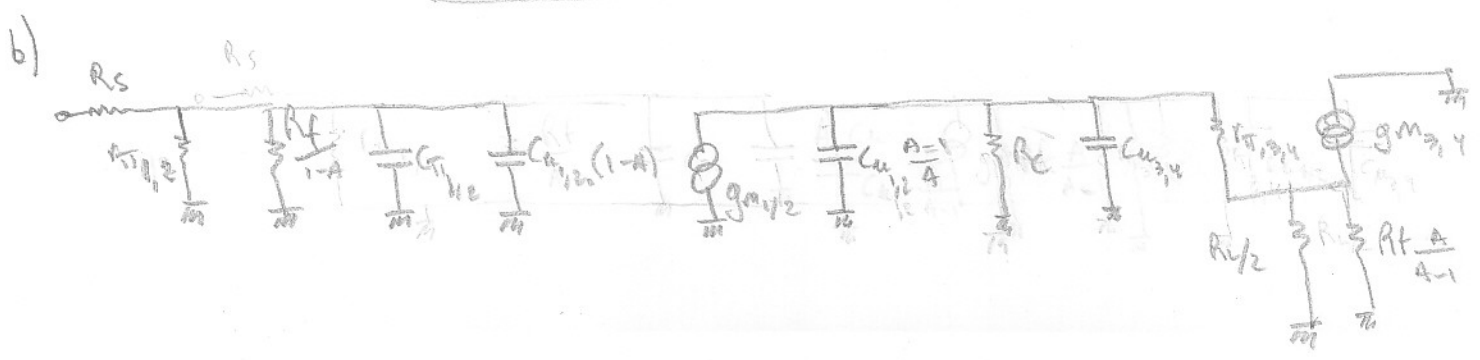
$$g_{m_{3,4}} = \frac{I_{1,A}}{V_T} = \frac{8 \text{ }\mu\text{A}}{26 \text{ mV}} = 0,31$$

$$r_{\pi_{3,4}} = 975 \Omega$$

$$A = \frac{N_B}{N_A} = -g_{m_{1,2}} R_C = -190$$

$$\frac{N_{O1} - N_{O2}}{2} = \frac{N_1 - N_2}{2} \cdot \frac{R_F}{R_S + \frac{R_F}{-A}} \cdot (-A) = \frac{N_1 - N_2}{2} \cdot \frac{R_F \cdot (-A)}{R_S}$$

$$\Rightarrow \frac{N_{O1} - N_{O2}}{N_1 - N_2} = \frac{R_F}{R_S} = -16,7$$



$$\omega_{p1} = \frac{1}{\frac{R_f}{1-A} \parallel r_{\pi,1,2} \parallel R_s \cdot (C_{\pi,1,2} + C_{u,1,2} \cdot (1-A))}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{R_c (C_{u,1,2} + C_{u,3,4})}$$

$$f_T = 300 \text{ MHz} \quad @ \quad I_c = 10 \text{ mA} \quad \Rightarrow \quad \frac{g_m}{2\pi(C_{\pi} + C_u)} = 300 \text{ MHz}$$

$$\frac{\frac{10 \text{ mA}}{26 \text{ mV}}}{2\pi(C_{\pi} + C_u)} = 300 \text{ MHz} \Rightarrow C_{\pi} + C_u = 204 \text{ pF}$$

$$\Rightarrow C_{\pi} = 200 \text{ pF} = C_{je} + K \cdot I \Rightarrow K = 18 \text{ pF/mA}$$

$$C_{\pi} \quad @ \quad I_c = 5 \text{ mA} = 200 \text{ pF} + 18 \frac{\text{pF}}{\text{mA}} \cdot 5 \text{ mA} = 110 \text{ pF}$$

$$f_{p1} = 1,6 \text{ MHz}$$

$$f_{p2} = 19,9 \text{ MHz}$$



LINDER REYES