



Datos:  $V_{SS}=V_{DD}$

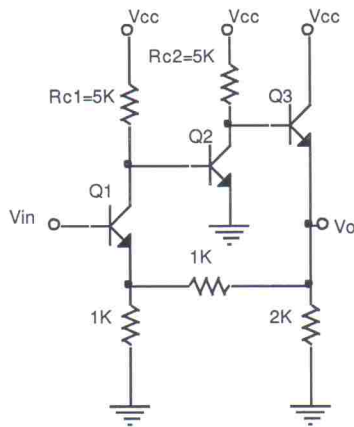
M1 a M8: Todos los transistores tienen parámetros:  $\beta$ ,  $V_T$ ,  $\delta=0$  y se desprecia la tensión de Early y sus capacidades parásitas.

Mr1 y Mr3: tienen parámetros  $\beta$ ,  $V_T$ ,  $\delta=0$ ,  $C_{ox}$  ( $F/\mu m^2$ ),  $C_{gsov} = C_{gdov}=0$ , ancho  $W(\mu m)$ , largo  $L(\mu m)$  y se desprecia la tensión de Early.

Mr2 es equivalente a M transistores Mr1 en paralelo como se indica en la figura

Mr4 es equivalente a N transistores Mr3 en paralelo como se indica en la figura

**Problema 2: (39 puntos)**



Para el circuito de la Figura determine:

- a) La ganancia  $V_o/V_{in}$  del circuito
- b) Las resistencias de entrada y salida
- c) Si se coloca un condensador  $C=1nF$  en paralelo con  $RC2$ , calcule la frecuencia de corte superior del circuito.

DATOS: La tensión continua en  $V_{in}$  es tal que las corrientes de polarización valen:  $I_{CQ1}=1.9mA$ ,  $I_{CQ2}=0.5mA$  e  $I_{CQ3}=5.8mA$ . Todos los transistores son idénticos  $\beta=100$ ,  $V_{BE}=0.7V$  y tensión de Early infinito. Se desprecian las capacidades parásitas de todos los transistores.

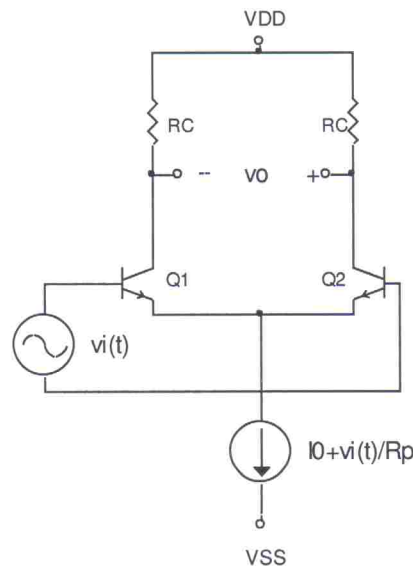
**Problema 3: (22 puntos)**

En el par diferencial de la Figura acoplamientos parásitos entre la entrada de señal  $v_i$  y el circuito de generación de la corriente  $I_0$  hacen que esta fuente de corriente tenga superpuesta una componente alterna que varía como la señal de entrada  $v_i$ .

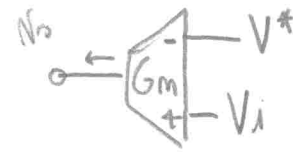
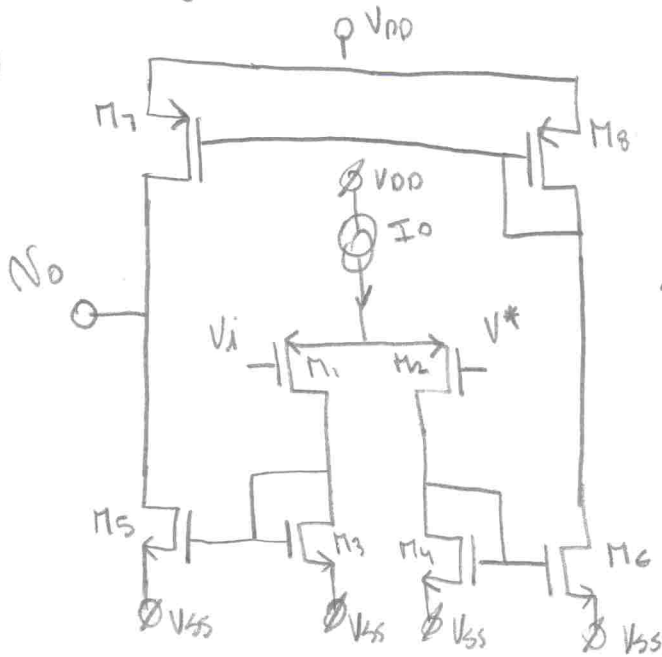
La señal de entrada  $v_i$  es de la forma:  $A \cdot \cos(\omega t)$ , con  $A \ll V_T$  y la señal de alterna que aparece superpuesta a la corriente  $I_0$  es  $(A/R_p) \cos(\omega t)$ , siendo  $R_p$  tal que  $(A/R_p) = (I_0/10)$ .

Si se observa el espectro de la señal a la salida  $v_o$ , indicar:

- a) las componentes de frecuencia (incluyendo DC) que aparecen a la salida  $v_o$ , fundamentar la respuesta.
- b) el valor de cada una de estas componentes.



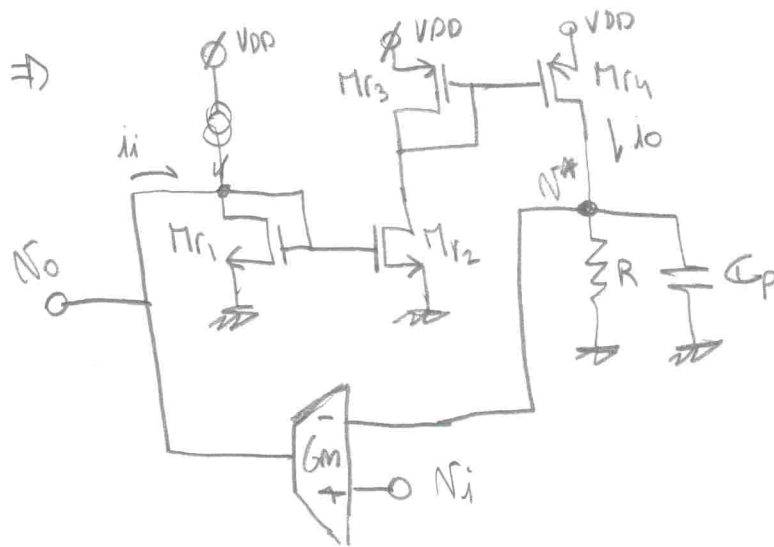
2



donde:  $G_m = g_{m1,2}$

$g_{m1,2} = \sqrt{2 \cdot I_0 / 2 \cdot \beta}$

$\Rightarrow G_m = \sqrt{I_0 \beta}$



$$\left. \begin{aligned} i_i &= G_m (N_i - N^*) \\ N^* &= i_i \cdot M \cdot N \cdot R \end{aligned} \right\} \Rightarrow i_i = G_m (N_i - i_i MNR) \Rightarrow$$

$$\left. \begin{aligned} \Rightarrow i_i &= \frac{G_m N_i}{1 + G_m R M N} \\ N_o \cdot g_{m1} &= i_i \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_o = \frac{G_m / g_{m1} \cdot N_i}{1 + G_m R M N} \Rightarrow$$

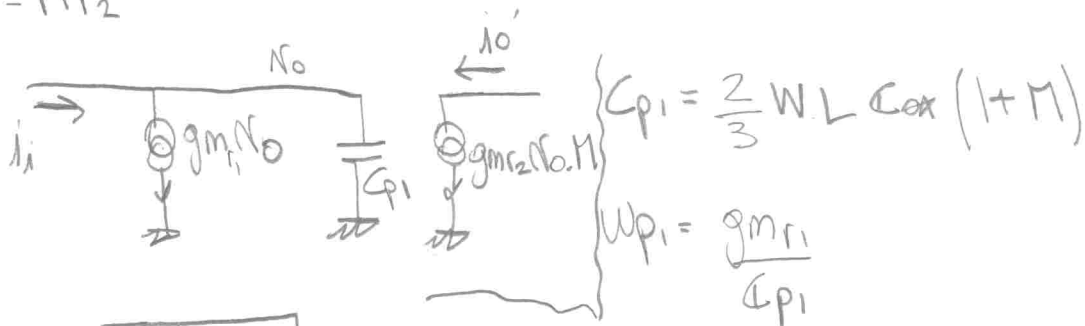
$$G_m = \sqrt{I_0 \beta}$$

$$g_{m1} = \sqrt{2 I_{cont} \beta}$$

$$\Rightarrow \frac{N_o}{N_i} = \frac{\sqrt{I_0 / 2 I_{cont}}}{1 + MNR \sqrt{I_0 \beta}}$$

(b)

i) \* Mr<sub>1</sub> - Mr<sub>2</sub>



$$w_{p1} = \frac{\sqrt{2 I_{cont} \beta}}{\frac{2}{3} W L C_{ox} (1+M)}$$

$$\frac{i_{0'}}{i_1}(j\omega) = \frac{M}{1 + j\omega/w_{p1}}$$

\* Idem Mr<sub>3</sub> - Mr<sub>4</sub>

$$C_{p2} = \frac{2}{3} W L C_{ox} (1+N)$$

$$w_{p2} = \frac{\sqrt{2 I_{cont} M \beta}}{\frac{2}{3} W L C_{ox} (1+N)}$$

$$\frac{i_{0'}}{i_1} = \frac{N}{1 + j\omega/w_{p2}}$$

$$\frac{i_{0'}}{i_1} = \frac{M \cdot N}{(1 + j\omega/w_{p1})(1 + j\omega/w_{p2})}$$

ii)  $N_i = 0$  (x letra)  $\Rightarrow i_1 = -N_i^* G_m$

$$i_{0'} \cdot \frac{R}{1 + R C_p j\omega} = N_i^*$$



$$\Rightarrow A_{ol} = \frac{M N \cdot G_m R}{(1 + j\omega/w_{p1})(1 + j\omega/w_{p2})(1 + C_p R j\omega)}$$

(b) ii) cont

se compte que  $\text{Im}(A_{ol}(W_{osc})) = 0$

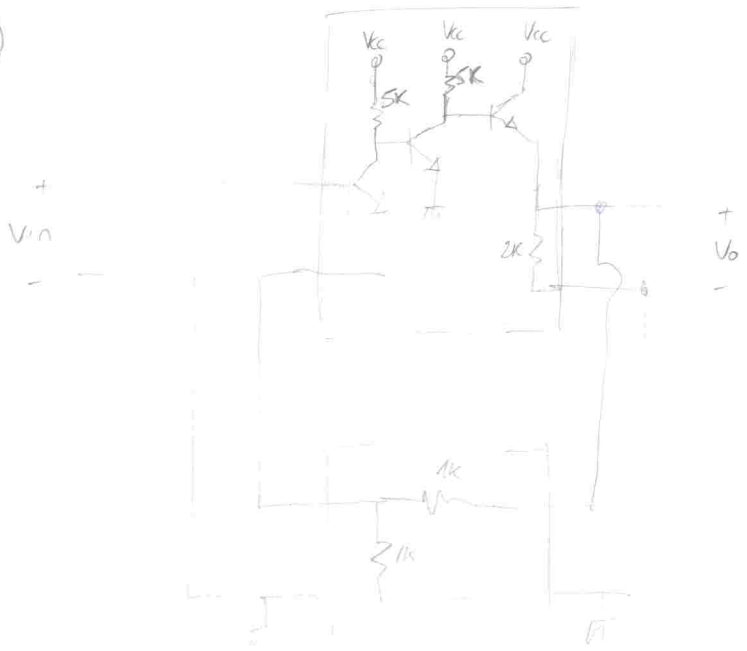
$$\Rightarrow \text{Im} \left| (1 + j\omega/\omega_{p1})(1 + j\omega/\omega_{p2})(1 + C_p R j\omega) \right| = 0$$

$$\Rightarrow 0 = \frac{\omega}{\omega_{p1}} + \frac{\omega}{\omega_{p2}} + C_p R \omega - \frac{\omega^3}{\omega_{p1} \omega_{p2} C_p R}$$

$$\Rightarrow \omega = \left[ \omega_{p1} \omega_{p2} C_p R \left( \frac{1}{\omega_{p1}} + \frac{1}{\omega_{p2}} + C_p R \right) \right]$$

$$\Rightarrow \omega_{osc} = \left[ \omega_{p1} \omega_{p2} + \omega_{p1} C_p R + \omega_{p2} C_p R \right]$$

(a) y (b)



$$g_{m1} = \frac{I_{CQ1}}{V_T} = 0,076 \Omega^{-1}$$

$$r_{\pi 1} = \beta / g_{m1} = 1,3 k\Omega$$

$$g_{m2} = \frac{I_{CQ2}}{V_T} = 0,020 \Omega^{-1}$$

$$r_{\pi 2} = \beta / g_{m2} = 4,9 k\Omega$$

$$g_{m3} = \frac{I_{CQ3}}{V_T} = 0,232 \Omega^{-1}$$

$$r_{\pi 3} = 430 \Omega$$

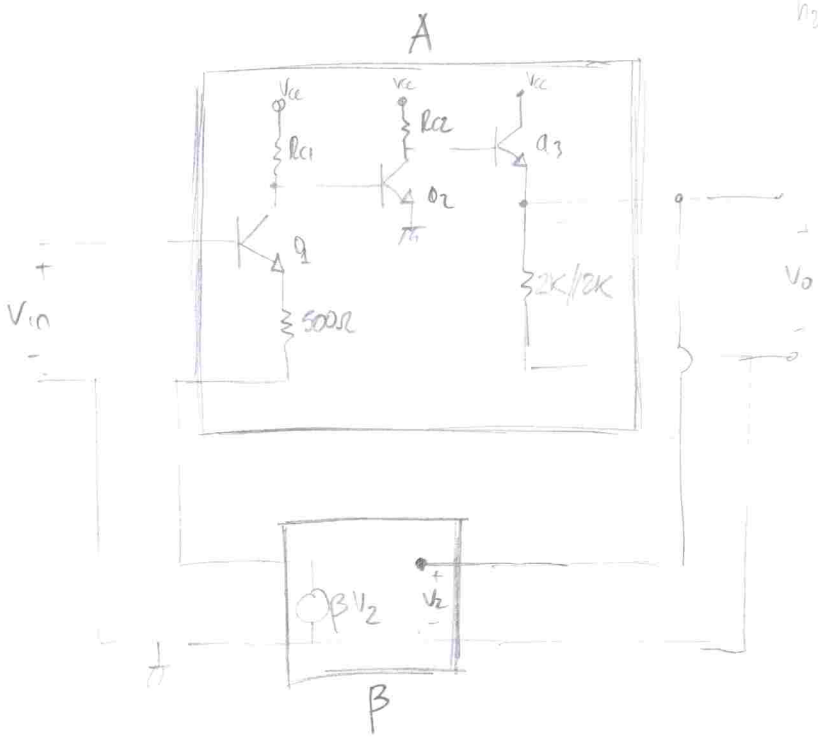


$$h_{11} = \frac{V_1}{I_1} \Big|_{V_2=0} \Rightarrow h_{11} = 1k / 1k = 500 \Omega$$

$$\beta = h_{12} = \frac{V_1}{V_2} \Big|_{I_1=0} \Rightarrow \beta = \frac{1}{2}$$

$$h_{22} = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{I_1=0} \Rightarrow h_{22} = 2k$$

$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1} \Big|_{V_2=0} = \frac{1}{\beta}$$



ganancia del bloque A:

$$|A| = \frac{R_{C1} // r_{\pi 2}}{\beta g_{m1} + 500} \cdot g_{m2} \cdot R_{C2} // \underbrace{\left( r_{\pi 3} + \beta \cdot 1k \right)}_{\approx R_{C2}} \cdot \frac{g_{m3} \cdot 1k}{1 + g_{m3} \cdot 1k}$$

$500 \gg \frac{1}{g_{m1}}$   
 $g_{m3} \cdot 1k \gg 1$

$$\Rightarrow |A| = \frac{5k // r_{\pi 2}}{500} \cdot (g_{m2} \cdot 5k) \Rightarrow |A| = 505 \frac{V}{V} \Rightarrow \underline{1 + \Delta\beta = 253}$$

$$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{A}{1 + \Delta\beta} \approx \frac{1}{\beta} = 2 \Rightarrow \left| \frac{V_0}{V_{in}} \right| = 2$$

$$R_{in} = (1 + \Delta\beta) \cdot (r_{\pi 1} + \beta \cdot 500) \Rightarrow R_{in} = 13 M\Omega$$

$$R_{out} = (1k // \frac{r_{\pi 3} + R_{C2}}{\beta}) // (1 + \Delta\beta) \Rightarrow R_{out} = 0,2 \Omega$$



(C) Considerando que  $C$  está en paralelo con  $R_2$  rescribo la ecuación hallada en la parte anterior:

$$A(s) = \frac{R_{c1}/r_{r2}}{500} \cdot g_{m2} \cdot R_{c2} // \frac{1}{Cs} = \frac{R_{c1}/r_{r2}}{500} g_{m2} \left( \frac{1}{R_{c2}} + Cs \right)^{-1} = \frac{R_{c1}/r_{r2}}{500} g_{m2} \cdot \frac{R_{c2}}{1 + R_{c2}Cs}$$

$$\rightarrow A(s) = \frac{R_{c1}/r_{r2}}{500} \cdot \frac{g_{m2}R_{c2}}{1 + R_{c2}Cs} \quad \Rightarrow \quad \omega_{polo} = \frac{1}{R_{c2}C} \quad (\text{sist. no realimentado}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \omega_{polo} = \frac{1}{R_{c2}C} (1 + A\beta) \quad (\text{sist. realimentado}) \Rightarrow \boxed{f_{polo} = 8 \text{ MHz}}$$

Verifico condiciones de unidireccionalidad:

$$h_{12A} = \frac{V_1}{V_2} \Big|_{I_1=0} = 0 \ll \frac{1}{2} = h_{12B} \quad \checkmark$$

$$h_{21A} = \frac{I_2}{I_1} \Big|_{V_2=0} \gg \frac{1}{2} = h_{21B} \quad \checkmark$$

J

$$N_o = R_c g_m N_i = R_c \frac{(I_o + N_i/R_p) \cdot N_i}{2V_T}$$

$$N_o = \frac{R_c}{2V_T} \left[ I_o A \cos \omega_i t + \frac{I_o A}{10} \cos^2 \omega_i t \right]$$

$$\cos^2 \omega_i t = \frac{1 + \cos 2\omega_i t}{2}$$

$$N_o = \frac{R_c}{2V_T} A I_o \left[ \cos \omega_i t + \frac{1}{20} + \frac{\cos 2\omega_i t}{20} \right]$$

Debido a que el par diferencial actúa como un amplificador a la salida además de la frecuencia de entrada se tiene la frecuencia doble y una componente de continua, con las amplitudes que se muestran en la expresión anterior.