

**EXAMEN DE ELECTRONICA 1****31/07/15**

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 (40 puntos)**

El circuito de la figura utiliza un circuito activo para la polarización.

- Determinar la corriente de colector de ambos transistores
- Determinar la ganancia  $V_{out}/V_{in}$  en la banda pasante
- Determinar la resistencia de entrada.
- Determinar la excursión en  $V_{out}$ . Se supondrá que los valores de los componentes son tales que Q2 no limita la excursión, permaneciendo siempre en zona activa.

Suponer que  $V_{CC}$  y los valores de los componentes son tales que la polarización de los dos transistores asegura que los mismos operen en la zona activa y que la corriente por  $R_{B1}$  y  $R_{B2}$  es mucho mayor que la corriente DC de base de Q2. Los condensadores  $C_d$  se supondrán infinitos. Q1 y Q2 tienen los datos usuales con  $\beta$  mucho mayor a 1 y tensión de Early infinita.

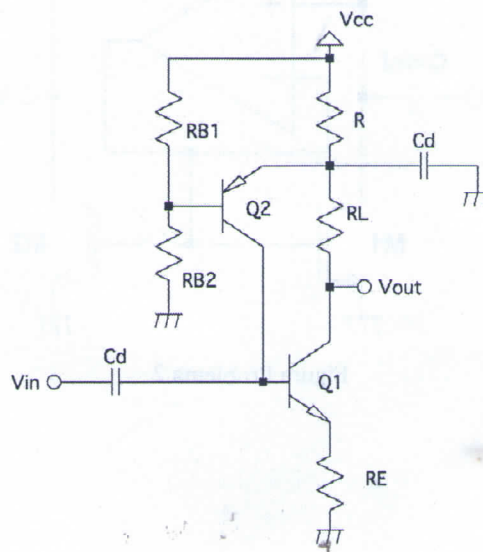


Figura Problema 1

**PROBLEMA 2 (40 puntos)**

En el circuito de la figura el amplificador operacional AO es ideal salvo donde se indique lo contrario. Los transistores M1 y M2 son iguales y tienen los datos usuales con tensión de Early que se podrá suponer infinita. Asuma en todo momento que M1 y M2 están saturados, que la fuente de corriente es ideal y la alimentación VDD es tal que no limita la operación del circuito en ningún sentido.

- Determinar la corriente de drain de M1 y M2 para  $v_i=0$ .
- Determinar la ganancia  $v_o/v_i$
- Indicar como cambia el resultado de a) en un peor caso si el amplificador operacional AO tiene tensión de offset  $V_{offset}$ , corriente de polarización  $I_{BIAS}$  y corriente de offset  $I_{offset}$ .
- Si  $v_i$  tiene amplitud pico a pico  $V_{ipp}$ , ¿ qué rango de entrada en modo común debe tener AO para que el circuito funcione correctamente ?
- ¿ Cuánto vale la frecuencia de corte de -3dB superior del circuito si AO tiene frecuencia de transición  $f_T$  ? Fundamente su respuesta.

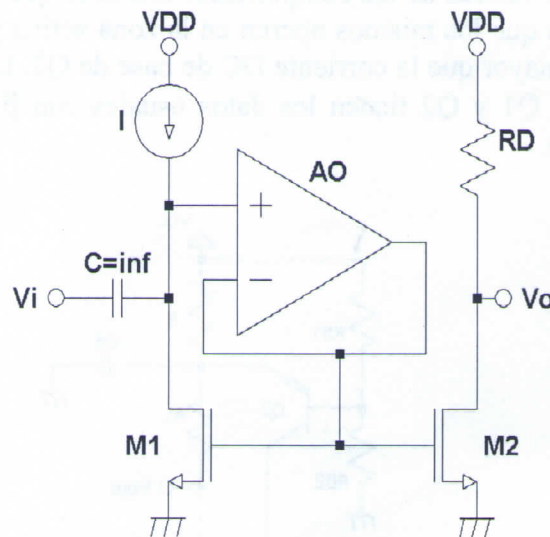


Figura Problema 2

**PREGUNTA (20 puntos)**

El par diferencial de la Figura 1 amplifica la señal de salida de un sensor representada por  $V_{sensor}$ . Entre la tierra del par diferencial y la tierra del sensor hay un ruido representado en la Figura 1 como  $V_{ruido}$ . Para evitar amplificar la señal de ruido se utiliza la configuración que se muestra. Se desea analizar la influencia del apareo de los transistores  $Q1$  y  $Q2$  y de la resistencia de salida  $R_{out}$  de la fuente de corriente  $I0$  en la anulación de la señal de ruido. La salida del par diferencial se puede ver en forma “single-ended” en  $V_{o1}$  o en forma diferencial en  $V_{o2}$ . Indique en las dos tablas que se muestran los casos en que la señal de ruido es anulada (con un “SI”) y los casos en que no lo es (con un “NO”). Fundamente claramente sus respuestas (de completarse solamente las tablas sin fundamentación el problema no tendrá valor). Se supondrá que la tensión de Early de  $Q1$  y  $Q2$  es  $\infty$ .

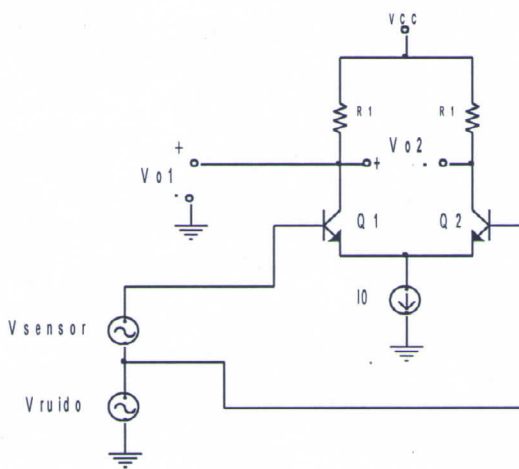


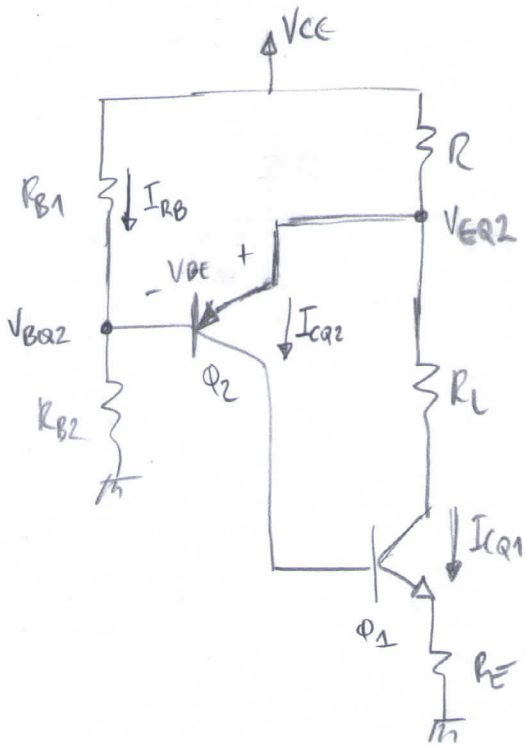
Figura 1

$V_{o1}$	$Q1 \equiv Q2$	$Q1 \neq Q2$
I0 ideal ( $R_{out} = \infty$ )		
I0 real ( $R_{out} \neq \infty$ )		
$V_{o2}$	$Q1 \equiv Q2$	$Q1 \neq Q2$
I0 ideal ( $R_{out} = \infty$ )		
I0 real ( $R_{out} \neq \infty$ )		

# Problema 1

ELECTRÓNICA 1, Julio 2015

(a) En DC Cd son circuitos abiertos.



Notación:  $V_{BE1ON} = V_{BE2ON} = V_{BE}$

• Nudo en  $V_{CEQ2}$ :  $\frac{V_{CC} - V_{CEQ2}}{R} = I_{CQ2} + I_{CQ1}$

• Asumo  $I_{RB} \gg I_{BQ2} \Rightarrow V_{BEQ2} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$

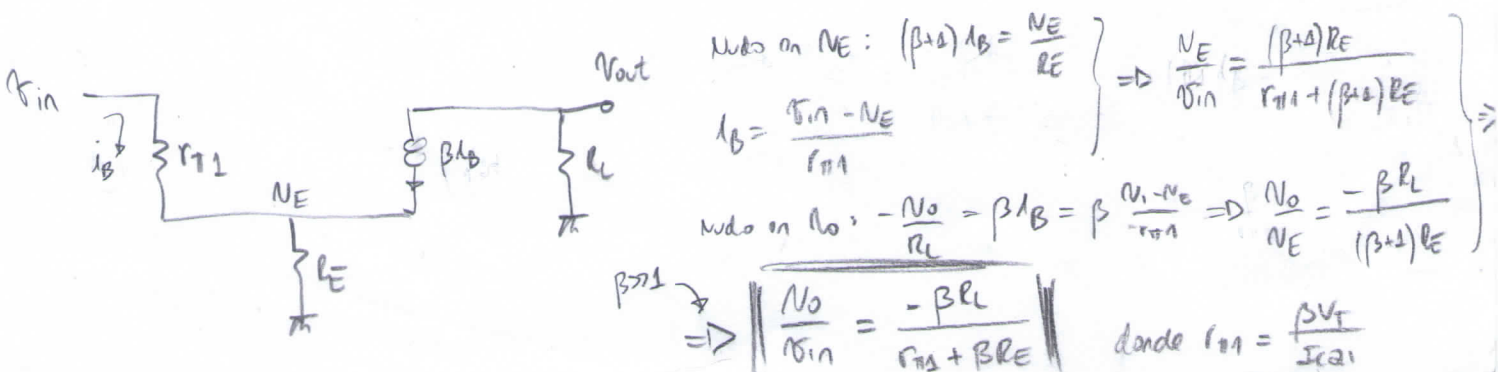
•  $V_{EQ2} - V_{BEQ2} = V_{BE} \Rightarrow V_{EQ2} = V_{BE} + V_{BEQ2}$

•  $I_{CQ1} = \beta I_{CQ2}$

$\Rightarrow \frac{V_{CC} - \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} - V_{BE}}{R} = I_{CQ2} + \beta I_{CQ2} \Rightarrow I_{CQ2} = \frac{-V_{BE}}{(\beta+1)R} + \frac{V_{CC}}{(\beta+1)R} \left( \frac{R_{B1}}{R_{E1} + R_{B2}} \right)$

$\Rightarrow I_{CQ2} = \left( \frac{R_{B1} \cdot V_{CC}}{(R_{B1} + R_{B2})} - V_{BE} \right) \frac{1}{\beta R} \Rightarrow I_{CQ1} = \frac{R_{B1} \cdot V_{CC}}{(R_{B1} + R_{B2}) \cdot R} - \frac{V_{BE}}{R}$

(b) En banda pasante los Cd son cables  $\Rightarrow$  base y colector de  $Q_2$  quedan a tierra y como  $r_{o2} = \infty$ ,  $Q_2$  no interviene en el circuito en señal.



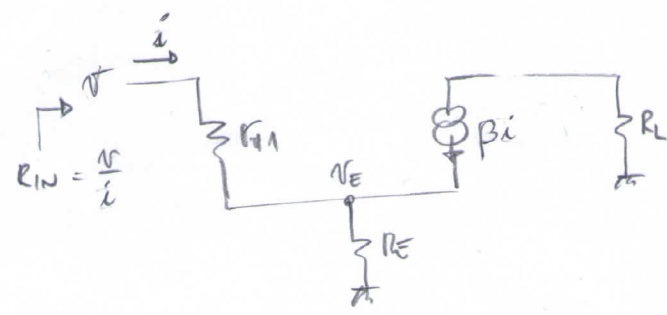
Nudo en  $V_E$ :  $(\beta+1)i_B = \frac{V_E}{R_E} \Rightarrow \frac{V_E}{v_{in}} = \frac{(\beta+1)R_E}{r_{pi1} + (\beta+1)R_E}$

Nudo en  $v_o$ :  $-\frac{v_o}{R_L} = \beta i_B = \beta \frac{v_i - v_e}{r_{pi1}} \Rightarrow \frac{v_o}{v_e} = \frac{-\beta R_L}{(\beta+1)R_E}$

$\Rightarrow \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{-\beta R_L}{r_{pi1} + \beta R_E}$  donde  $r_{pi1} = \frac{\beta V_T}{I_{CQ1}}$



(c)



donde  $r_{\pi 1} = \frac{\beta V_T}{I_{Q1}}$

Nudo en  $N_E$ :  $(\beta+1)i = \frac{N_E}{R_E} \Rightarrow N_E = (\beta+1)R_E i$

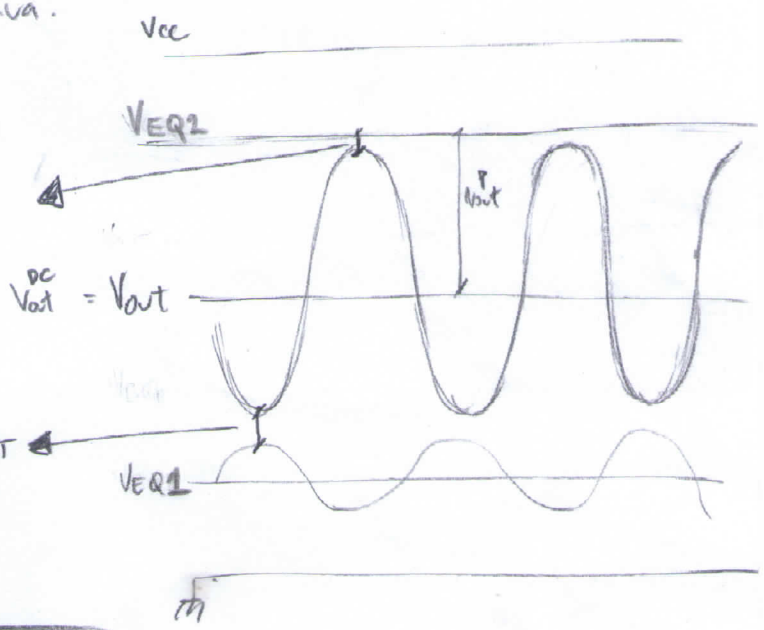
$i = \frac{N - N_E}{r_{\pi 1}}$

$\Rightarrow i r_{\pi 1} = N - (\beta+1)R_E i$

$\Rightarrow \frac{N}{i} = r_{\pi 1} + (\beta+1)R_E \rightarrow R_{in} = r_{\pi 1} + \beta R_E$

(d) por letra Q2 siempre en zona activa.

La excursión en  $v_{out}$  viene dada por "corte" cuando corta el transistor y "por abajo" cuando satura.



Corte:  $V_{out}^{DC} + V_{out}^P < V_{EQ2}$

$V_{out}^{DC} = V_{EQ2} - R_L I_{Q1} + V_{out}^P < V_{EQ2} \Rightarrow$

$\Rightarrow V_{out}^P < R_L I_{Q1} \Rightarrow V_{out}^P < \frac{R_L}{R} \left( \frac{R_{B1} V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}} - V_{BE} \right)$

SAT:  $V_{out}^{DC} - V_{out}^P - \left( V_{EQ1} + \frac{V_{out}^P}{|G|} \right) > V_{CESAT}$  donde  $G = \frac{-\beta R_L}{r_{\pi 1} + \beta R_E}$

$V_{out}^{DC} = V_{EQ2} - R_L I_{Q1} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} - V_{BE} - R_L I_{Q1}$

$V_{EQ1} = R_E I_{Q1}$

$\Rightarrow \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} - V_{BE} - R_L I_{Q1} - R_E I_{Q1} - V_{CESAT} > V_{out}^P \left( 1 + \frac{1}{|G|} \right)$

$$\Rightarrow V_{out}^P < \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta}} \cdot \left[ \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC} - V_{BE} - V_{CE(sat)} - (R_E + R_B) I_{CO1} \right]$$

II

La máxima excursión de  $V_{out}$  será el mínimo de I y II.



## Problema 2

2) La corriente de drain DC por  $M_1$  esta impuesta por la fuente de corriente  $\Rightarrow$

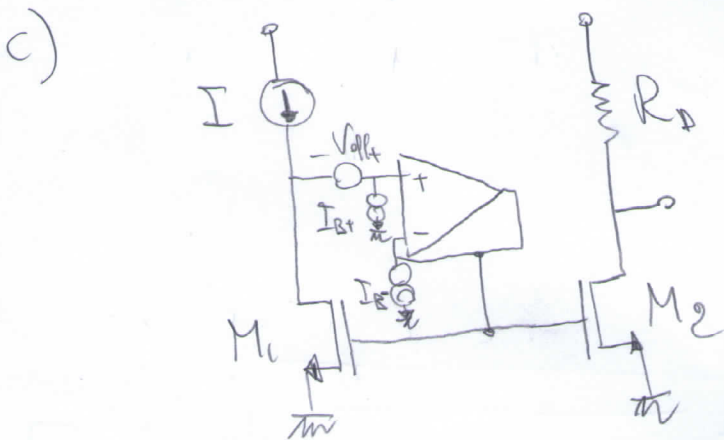
$$\boxed{I_{D1} = I}$$

Como  $V_{GS1} = V_{GS2}$  y  $M_1 \equiv M_2$

$$\Rightarrow I_{D1} = I_{D2} \Rightarrow \boxed{I_{D2} = I}$$

b)

$$\left. \begin{aligned} N_o &= -g_{m2} R_D N_{gs2} \\ N_{gs2} &= N_i \\ &\text{AO seguidor} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{N_o}{N_i} = -g_{m2} R_D \Rightarrow \boxed{\frac{N_o}{N_i} = \sqrt{2\beta I} R_D}$$



$V_{off}$  no afecta porque no incide sobre el  $V_{GS}$ ,  $I_{B-}$  tampoco porque es entregada por el AO.  $\Rightarrow$

$$I_{D1} = I - I_{B+}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{D1} = I - I_{B1AS} - \frac{I_{off}}{2}}$$

$$\Downarrow$$

$$I_{D2} = I_{D1}$$

$$\boxed{I_{D2} = I - I_{B1AS} - \frac{I_{off}}{2}}$$

d)

$$\left. \begin{aligned} V_{ICM} &= V_{GS1} \\ I &= \frac{\beta}{2} (V_{GS1} - V_A)^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_{ICM} = V_A + \sqrt{\frac{2I}{\beta_1}}$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} ICMR^- &< V_A + \sqrt{\frac{2I}{\beta_1}} - \frac{V_{iPP}}{2} \\ ICMR^+ &> V_A - \sqrt{\frac{2I}{\beta_1}} + \frac{V_{iPP}}{2} \end{aligned}$$

e)

$$\frac{N_o}{N_i} = \underbrace{\frac{N_{o\Delta 1}}{N_i}}_{H_1} \cdot \underbrace{\frac{N_o}{N_{o\Delta 2}}}_{H_2} = H_{\text{sequidor}} \cdot (-g_{m2} R_o)$$

$$\Rightarrow f_{-3dB}^{\text{sequidor}} = f_T$$

$$\Rightarrow f_{-3dB} = f_T$$