

Prueba Final de Electrónica Avanzada 1
30/11/2022

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas.

La prueba es **sin material** e **individual**.

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

Problema 1: (28 puntos)

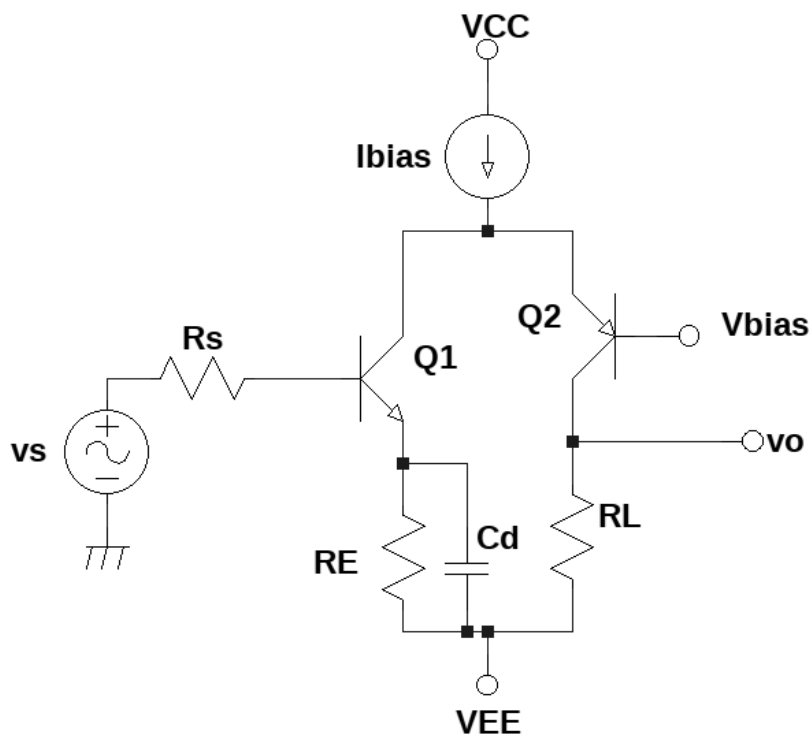
En el circuito de la figura para las partes a) y b) se puede considerar que V_{bias} es tal que todos los transistores funcionan en zona activa.

- Calcular la ganancia v_o/v_s a frecuencias medias.
- Calcular la frecuencia de caída de -3dB de dicha ganancia.
- ¿Cual es el valor máximo que puede tomar V_{bias} manteniendo el correcto funcionamiento del circuito? ¿Cual es la máxima excursión simétrica para ese caso ?

Datos:

Q1 y Q2 : $C_{\mu} = 4 \text{ pF}$, $C_{j_e} = 60 \text{ pF}$, $f_T = 200 \text{ MHz}@I_C = 4 \text{ mA}$, $\beta = 200$, $V_{BEN} = V_{EBP} = 0,7 \text{ V}$, $V_{CESAT} = V_{ECSAT} = 0,3 \text{ V}$.

$R_s = 1 \text{ k}\Omega$, $R_L = 1.5 \text{ k}\Omega$, $R_E = 3.3 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = - (V_{EE}) = 4 \text{ V}$, $I_{bias} = 4 \text{ mA}$ y la tensión mínima en bornes de I_{bias} para su correcto funcionamiento es $V_{I_{bias_mín}} = 1 \text{ V}$. El condensador C_d de desacople se podrá considerar infinito.



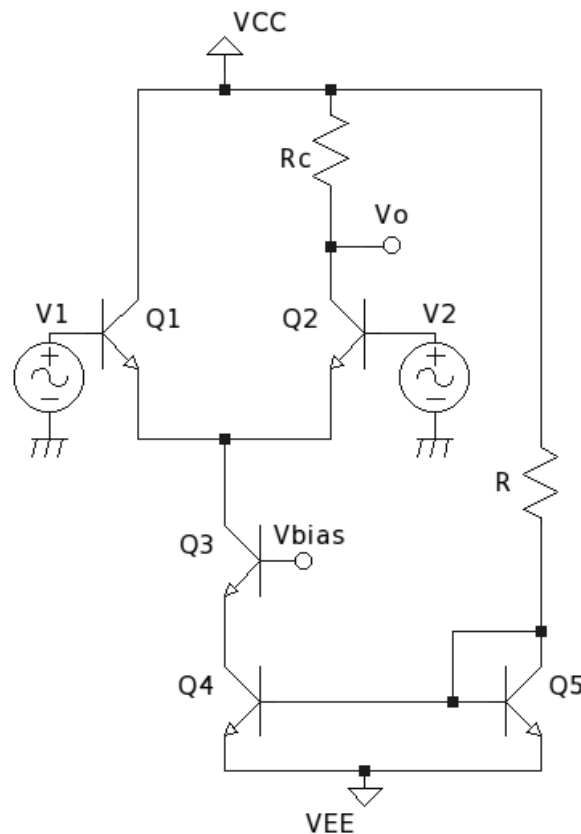
Problema 2: (26 puntos)

Para el circuito de la figura calcule:

- Corriente de polarización por cada uno de los transistores.
- Resistencia diferencial de entrada.
- Ganancia diferencial $A_d = V_o/(V_1-V_2)$.
- Ganancia en modo común $A_c = V_o/V_{cm}$ y relación de rechazo al modo común, CMRR. Comparar este resultado con el que se tendría si Q3 se sustituye por un cortocircuito.

Datos:

- Todos los transistores idénticos con β , V_{BE} , V_{CESAT} y tensión de Early V_A .
- V_{bias} es tal que Q4 está siempre en zona activa.

**Problema 3: (26 puntos)**

Para el circuito de la figura 1 calcule:

- Valor de R_2 para que el circuito funcione como etapa clase AB.
- Máxima potencia que se puede entregar a la carga sin distorsiones.
- Calcule la eficiencia del circuito para las condiciones de la parte b)

El circuito de la figura 1 se cambia por el de la figura 2.

- Vuelva a realizar los análisis pedidos en a), b) y c) pero para el circuito de la figura 2

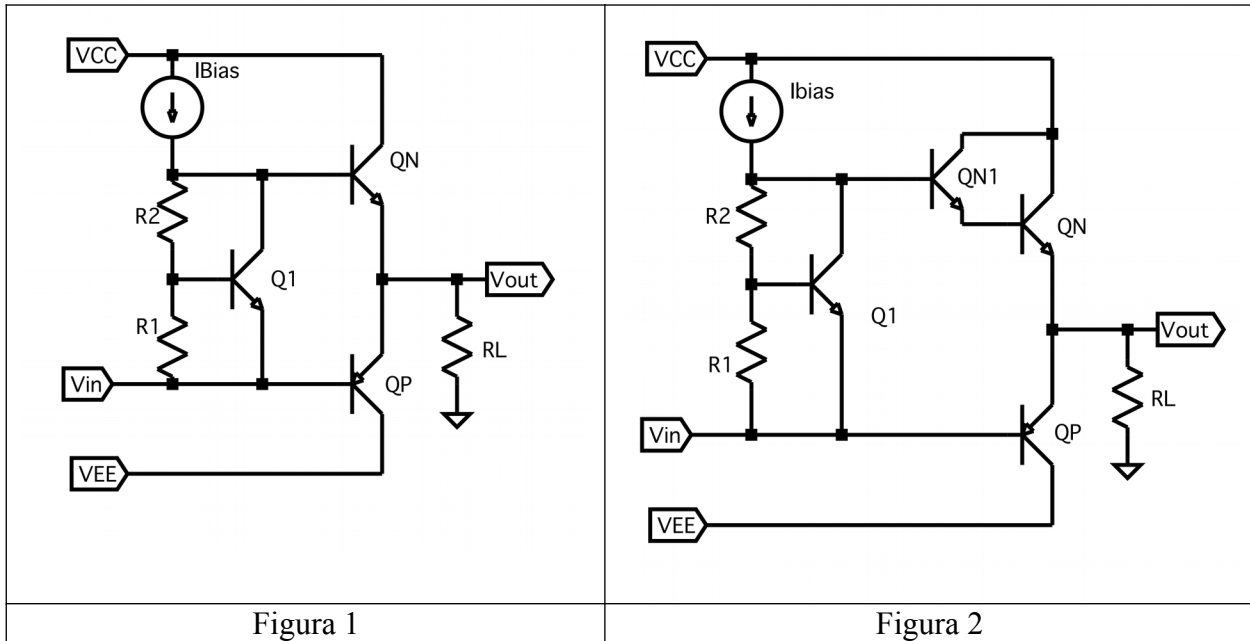


Figura 1

Figura 2

Datos:

$VCC = -VEE = 10 \text{ V}$.

Q1: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $V_{CEsat} = 0.3 \text{ V}$; β muy grande, $I_{Cmin} = 0.5 \text{ mA}$,

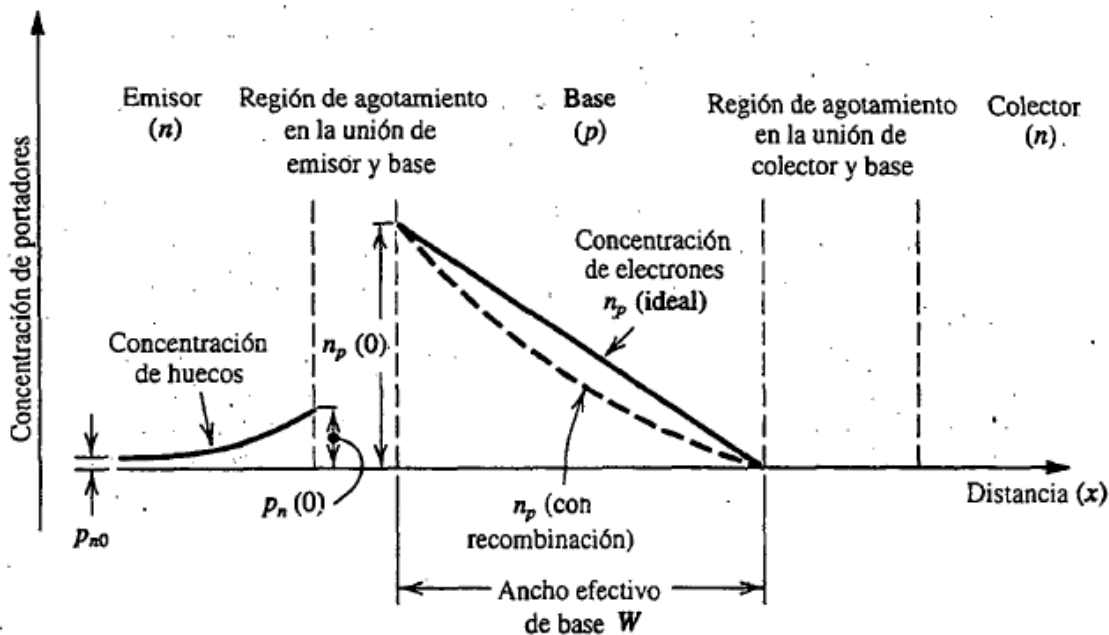
IBias: $I = 4 \text{ mA}$, $V_{min} = 0.3 \text{ V}$,

QN, QP, QN1: $V_{BE} = V_{EB} = 1 \text{ V}$, $V_{CEsat} = V_{ECsat} = 0.5 \text{ V}$; $\beta = 20$;

$R1 = 1 \text{ k}\Omega$, $RL = 8 \Omega$.

Asuma que V_{in} es una fuente de tensión ideal.

Pregunta : (20 puntos)



La figura muestra un esquema de la concentración de portadores minoritarios en la base y en el emisor de un transistor bipolar tipo NPN polarizado en Zona Activa.

- a) ¿Qué condición se debe cumplir en la fabricación del transistor para que se pueda asumir que $n_p(0) \gg p_n(0)$?
- b) ¿Por qué la concentración de electrones en el borde entre la base y la zona de deplexión de la juntura Base-Colector es cero ($n_p(W)=0$)?
- c) ¿Cuál es la hipótesis que se asume típicamente para considerar que la recombinación de electrones en la base es despreciable y que por lo tanto la distribución de los mismos será lineal entre $n_p(0)$ y $n_p(W)$?

Estas y otras consideraciones permiten deducir la siguiente expresión para la corriente de colector en Zona Activa:

$$i_C = I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}, I_S = A_E q \frac{D_n n_i^2}{W N_A^B}$$

- d) Identifique cada una de las variables y constantes físicas que definen la corriente I_S .
- e) En la práctica, si la tensión v_{CE} aumenta, la corriente de colector también aumenta. Este efecto, conocido como Efecto Early, no es capturado por la expresión que se muestra arriba. Explique cualitativamente por qué se da este efecto.

(A) Punto de operación:

(2) ASUMO $I_{B1} \cdot R_S \ll V_{BE1} - V_{BE2}$

$\Rightarrow V_{BE1} - V_{BE2} = -V_{BE2} - V_{BE2}$

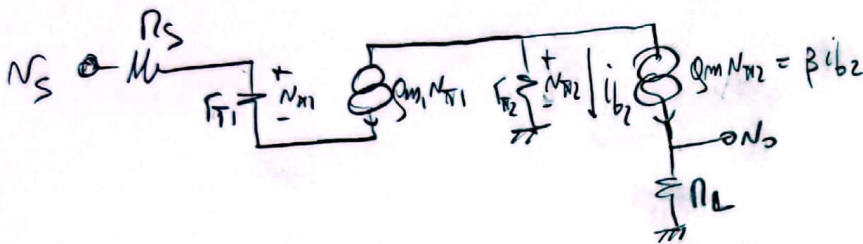
$\Rightarrow I_{C1} = \frac{-V_{BE2} - V_{BE2}}{R_S} = 1 \text{ mA}$

$\Rightarrow I_{B1} = 5 \mu\text{A} \Rightarrow I_{B1} \cdot R_S = 5 \text{ mV} \ll V_{BE1} - V_{BE2}$

$\Rightarrow I_{C2} = I_{E2} - I_{C1} = 3 \text{ mA}$

$\left. \begin{aligned} g_{m1} &= 38,6 \text{ mA/V} \\ r_{\pi 1} &= 5,18 \text{ k}\Omega \end{aligned} \right\}$

$\left. \begin{aligned} g_{m2} &= 115,8 \text{ mA/V} \\ r_{\pi 2} &= 1,73 \text{ k}\Omega \end{aligned} \right\}$



$N_S = -\frac{r_{\pi 1}}{R_S + r_{\pi 1}} \cdot g_{m1} \frac{\beta}{\beta + 1} \cdot R_L \cdot N_S$

$\Rightarrow G = \frac{N_S}{N_S} = -\frac{r_{\pi 1}}{R_S + r_{\pi 1}} g_{m1} R_L$

$G = -48 \text{ V/V}$

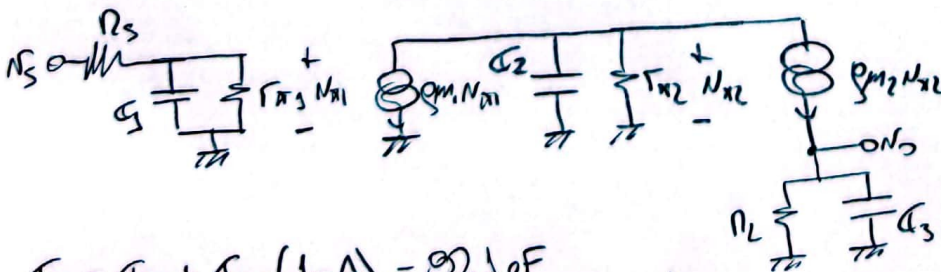
(b) $C_{\mu 1} = C_{\mu 2} = 4 \text{ pF}$

$f_T @ 4 \text{ mA} = \frac{g_m @ 4 \text{ mA}}{2\pi (C_{\mu 1} + C_{\mu 2})} \Rightarrow C_{\pi} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_{\mu} = 118,9 \text{ pF}$

$g_m @ 4 \text{ mA} = 154,4 \text{ mA/V}$

$\Rightarrow C_{de} @ 4 \text{ mA} = C_{\pi} @ 4 \text{ mA} - C_{\mu} = 58,9 \text{ pF}$

$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} C_{de} @ 3 \text{ mA} &= 14,7 \text{ pF} \\ C_{de} @ 3 \text{ mA} &= 44,2 \text{ pF} \end{aligned} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} C_{\pi 1} &= 74,7 \text{ pF} \\ C_{\pi 2} &= 104,2 \text{ pF} \end{aligned} \right.$



$C_1 = C_{\pi 1} + C_{\mu 1} (1 - A) = 80,3 \text{ pF}$

$C_2 = C_{\pi 2} + C_{\mu 2} (1 - 1/A) = 120,2 \text{ pF}$

$C_3 = C_{\mu 2} = 4 \text{ pF}$

$A = \frac{N_{\pi 2}}{N_{\pi 1}}$

$A: \frac{N_{\pi 2}}{N_{\pi 1}} + N_{\pi 2} (g_{m2} + 1/r_{\pi 2}) = 0$

$\Rightarrow \frac{N_{\pi 2}}{N_{\pi 1}} \approx -\frac{g_{m1}}{g_{m2}} \Rightarrow A = -1/3$

$$\frac{N_0}{N_S} = \frac{N_{M1}}{N_S} \cdot \frac{N_{M2}}{N_{M1}} \cdot \frac{N_0}{N_{M2}}$$

$$\frac{N_{M1}}{N_S} = \frac{C_1 // R_{M1}}{R_S + C_1 // R_{M1}} = \frac{R_{M1}}{R_S(C_1 R_{M1} S + 1) + R_{M1}} = \frac{R_{M1}}{R_S + R_{M1}} \cdot \frac{1}{C_1(R_S // R_{M1})S + 1} \rightarrow \left[f_{P1} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{C_1(R_S // R_{M1})} \right]$$

$$\frac{N_{M2}}{N_{M1}} = g_{m2} v_{M1} + N_{M2} \left(g_{m2} + \frac{1}{R_{M2}} + C_2 S \right) = 0$$

$\approx g_{m2}$

$$\rightarrow \frac{N_{M2}}{N_{M1}} = - \frac{g_{m1}}{g_{m2} + C_2 S} = - \frac{g_{m1}/g_{m2}}{1 + C_2 S/g_{m2}}$$

$$\rightarrow \left[f_{P2} = \frac{1}{2\pi} \frac{g_{m2}}{C_2} \right]$$

$$\frac{N_0}{N_{M2}} = g_{m2} \frac{R_L}{R_L C_3 S + 1} \rightarrow \left[f_{P3} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{R_L C_3} \right]$$

$$f_{P1} = 2,33 \text{ MHz}$$

$$f_{P2} = 153,4 \text{ MHz}$$

$$f_{P3} = 26,5 \text{ MHz}$$

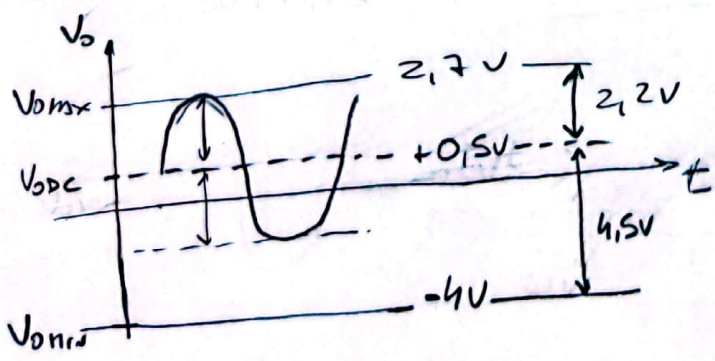
$\rightarrow \left[f_{-3dB} = 2,33 \text{ MHz} \right]$

(c) $V_{B_{max}} < V_{CC} - V_{D_{max}} - V_{BE} = 2,3 \text{ V}$

$$V_{D_{max}} = V_{B_{max}} + V_{BE} - V_{CE_{sat}} = 2,7 \text{ V}$$

$$V_{D_{min}} = V_{E3} = -4 \text{ V}$$

$$V_{O_{DC}} = V_{E3} + R_L \cdot I_{C2} = 0,5 \text{ V}$$



MÁXIMA EXCURSIÓN SINUSOÍDICA: $\pm 2,2 \text{ V}$

Problema 2 :

a)

$$I_{CS} = \frac{V_{CC} - (V_{BE} + V_{EE})}{R}$$

$$I_{C3} = I_{C4} = I_{CS}$$

$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_{CS}}{2} \Rightarrow g_{m_{1,2}} = \frac{I_{CS}}{2V_T}$$

b)

$$r_{idif} = r_{\pi 1} + r_{\pi 2} = 2r_{\pi} = 2 \cdot \frac{\beta}{g_{m_{1,2}}}$$

c)

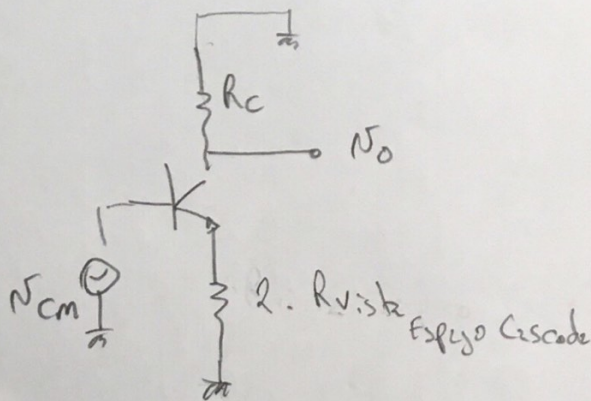
$$N_0 = g_{m_{1,2}} \cdot \frac{N_i}{2} \cdot R_C = g_{m_{1,2}} \cdot \left(\frac{N_1 - N_2}{2} \right) R_C \Rightarrow$$

$$G = \frac{N_0}{N_1 - N_2} = g_{m_{1,2}} \frac{R_C}{2}$$

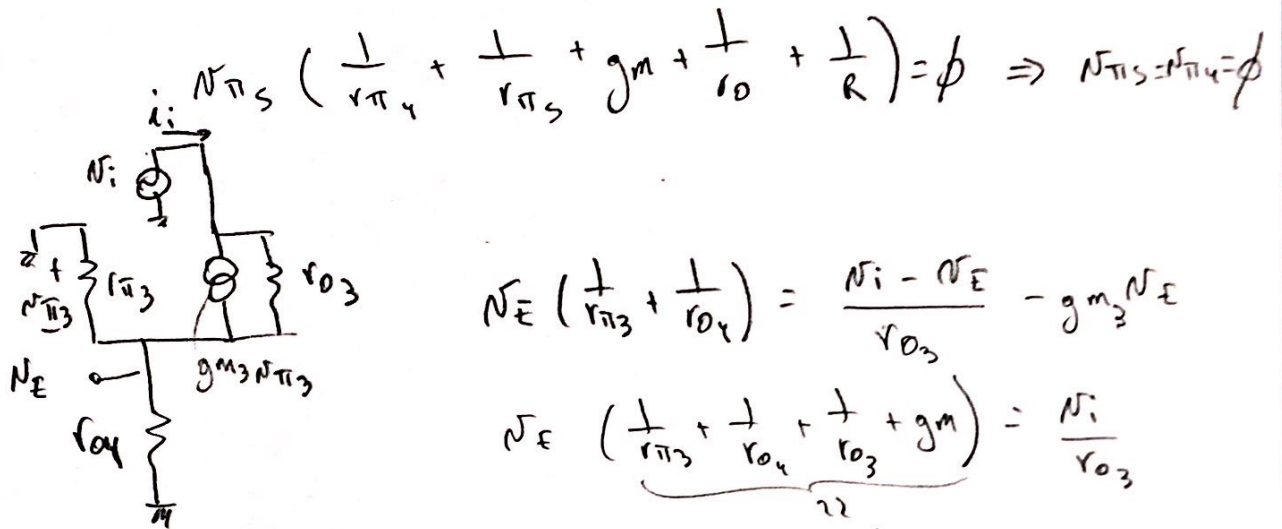
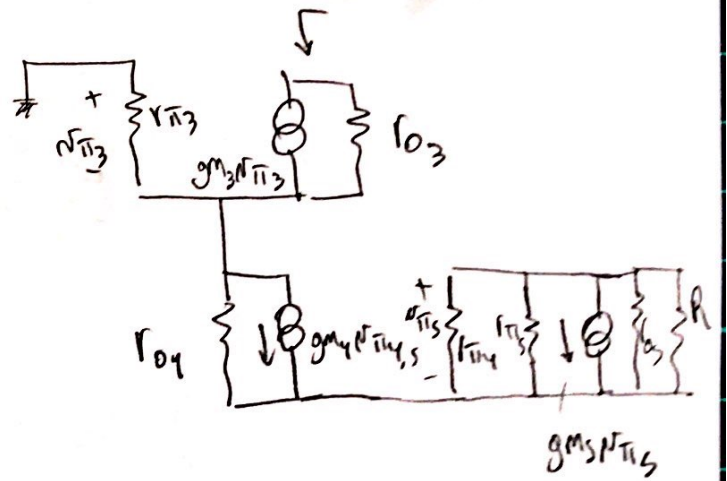
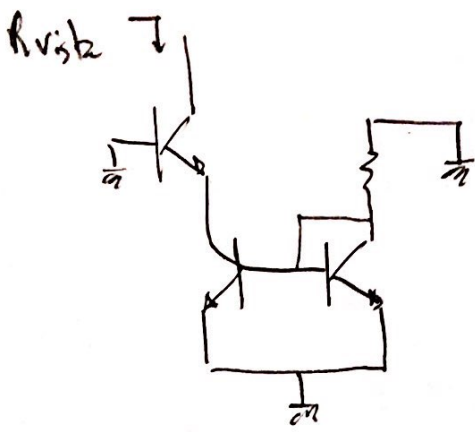
d)

$$A_C = \frac{N_0}{N_{cm}}$$

Por simetriz



$$A_C = \frac{R_C}{2 R_{vistor Espejo Cascode}}$$



$$N_{\pi 5} \left(\frac{1}{r_{\pi 4}} + \frac{1}{r_{\pi 5}} + g_m + \frac{1}{r_o} + \frac{1}{R} \right) = \phi \Rightarrow N_{\pi 5} = N_{\pi 4} = \phi$$

$$N_E \left(\frac{1}{r_{\pi 3}} + \frac{1}{r_{o4}} \right) = \frac{N_i - N_E}{r_{o3}} - g_{m3} N_E$$

$$N_E \left(\frac{1}{r_{\pi 3}} + \frac{1}{r_{o4}} + \frac{1}{r_{o3}} + g_m \right) = \frac{N_i}{r_{o3}}$$

$$N_E = \frac{N_i}{g_{m3} r_{o3}}$$

$$i_i = \frac{N_E}{r_{o4} \parallel r_{\pi 3}} = \frac{N_i}{g_{m3} r_{o3} \cdot \frac{\beta}{g_{m3}}} = \frac{N_i}{\beta r_{o3}}$$

$$\Rightarrow R_{vista} = \frac{N_i}{i_i} \cong \beta r_{o3}$$

$$A_c = \frac{R_c}{2 \beta r_{o3}} \Rightarrow CMRR = \frac{g_{m1,2} R_c \cdot 2 \beta r_{o3}}{2 \cdot R_c} = |g_{m1,2} \cdot \beta \cdot r_{o3}|$$

S: \$Q_3\$ en corto \$\Rightarrow R_{vista} = r_{o4} \Rightarrow A_c = \frac{R_c}{2 r_{o4}}\$
 $\Rightarrow CMRR = \frac{g_{m1,2} R_c \cdot 2 r_{o4}}{2 R_c} = |g_{m1,2} \cdot r_{o4}|$

(a) Multiplicador de $V_{BE} \rightarrow V_{BB} = (1 + \frac{R_2}{R_1}) V_{BE1} \Rightarrow R_2 = \left(\frac{V_{BB}}{V_{BE1}} - 1 \right) \cdot R_1 \Rightarrow R_2 = 1,9 k\Omega$

$V_{BB} = V_{BEQ1} + V_{BEQ2} = 2V$

(b) I_{BIAS} es chica \Rightarrow la potencia máxima a la carga vendrá limitada por I_{BIAS}

$I_L^{max} = \beta \cdot I_{BQ1}^{max} = \beta (I_{BIAS} - I_{CQ1} - I_{E2})$, $I_{E2} = \frac{V_{BB}}{R_1 + R_2} = 0,7 mA \Rightarrow I_L^{max} = 56 mA$

$P_L^{max} = \frac{1}{2} R_L (I_L^{max})^2 = 20 mW \Rightarrow P_L^{max} = 13 mW$

$\hat{I}_{Q1} = I_L^{max}$

(c) $P_{Vce} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{ce} i_{Q1} dt = V_{ce} \cdot \hat{I}_{Q1} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T (i_c^2(t) dt) = \frac{V_{ce} \cdot \hat{I}_{Q1}}{\pi} \Rightarrow$

$P_{Vce} = \frac{V_{ce} \cdot I_L^{max}}{\pi} \Rightarrow P_S = \frac{2 V_{ce} I_L^{max}}{\pi} \Rightarrow \eta = \frac{\pi R_L I_L^{max}}{4 V_{ce}} = 35\%$

$P_L = \frac{1}{2} R_L (I_L^{max})^2$

(d)

(i) $V_{BB} = V_{BEQ1} + V_{BEQ2} + V_{BEQ3} = 3V \Rightarrow R_2 = 3,3 k\Omega \Rightarrow I_{R1R2} = 0,7 mA$

(ii) $I_L^{max} = \beta^2 (I_{BIAS} - I_{CQ1} - I_{E2}) = 1,12 A$ ($P_L^{max} = \frac{1}{2} R_L I_L^2 = 5 W$) \rightarrow Aho, la fuente I_{BIAS} no limita

$P_L^{max} = \frac{\hat{V}_0^2}{2 R_L}$, $P_L^{max} \Leftrightarrow \hat{V}_0$ es máxima

Para no distorsionar $I_{BIAS}(V_{max})$, Q_{N1} , Q_{P1} y Q_P no deben saturar, el camino más restrictivo: $\hat{V}_0^{max} = V_{ce} - V_{min} - V_{BEQ1} - V_{BEQ2} = 7,7 V \Rightarrow P_L^{max} = 3,7 W$

(iii) $\eta = \frac{P_L}{P_S} = \frac{\pi \hat{V}_0}{4 V_{ce}} \Rightarrow \eta = 60\%$