

Examen de Electrónica Avanzada 1
01/02/2024

Resolver cada problema en hojas separadas y utilizando solo una carilla de la hoja.

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: (38 puntos)

Se tiene un circuito cuyo equivalente en señal se muestra en la Figura 1, siendo la polarización tal que ambos transistores operan en la zona activa con corriente continua igual a I_o .

- a) Determinar la capacidad vista desde la base de Q_a en función de las capacidades C_π y C_μ de Q_a .

En el circuito de la Figura 2, $+I_{in}/2$, $-I_{in}/2$ son fuentes de corriente de señal.

- b) Calcular la frecuencia de corte superior de la transferencia V_{out}/I_{in} (se sugiere aprovechar la simetría del circuito).

Datos:

$I_o = 10\text{mA}$

Todos los transistores tienen $f_T = 60\text{MHz}$ @ $I_C = 5\text{mA}$, $C_\mu = 5\text{pF}$, $C_{je} = 60\text{pF}$, $\beta = 300$ y

$R_L = 50\ \Omega$. V_{cc} y $-V_{cc}$ son tales que todos los transistores operan en zona activa.

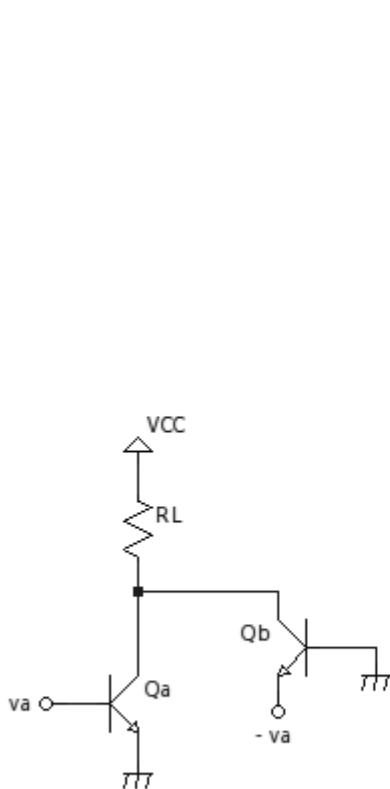


Figura 1

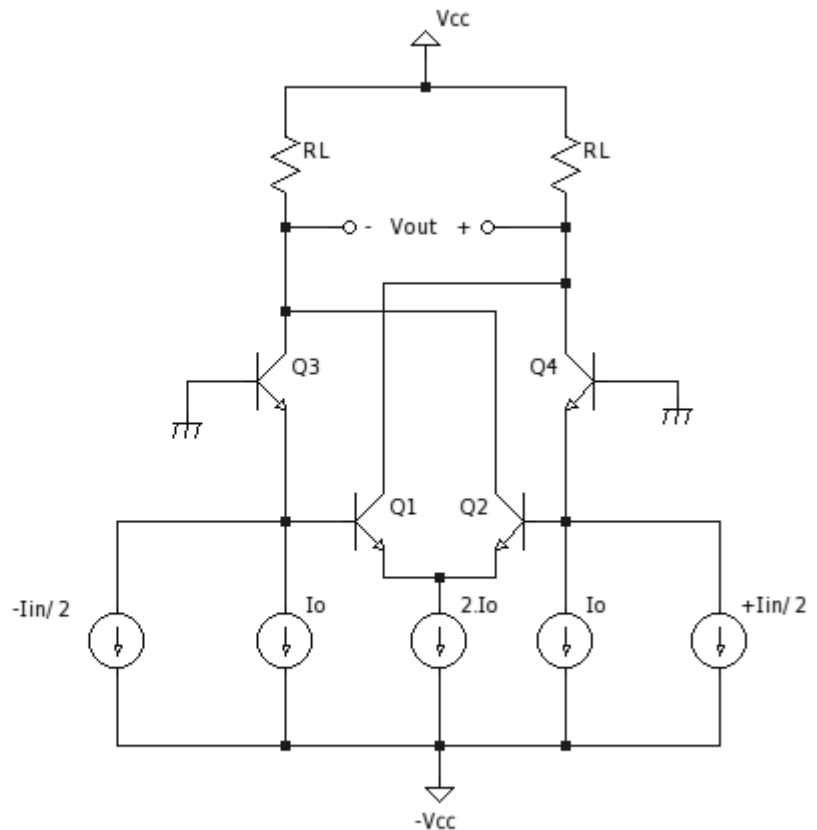


Figura 2

Problema 2: (36 puntos)

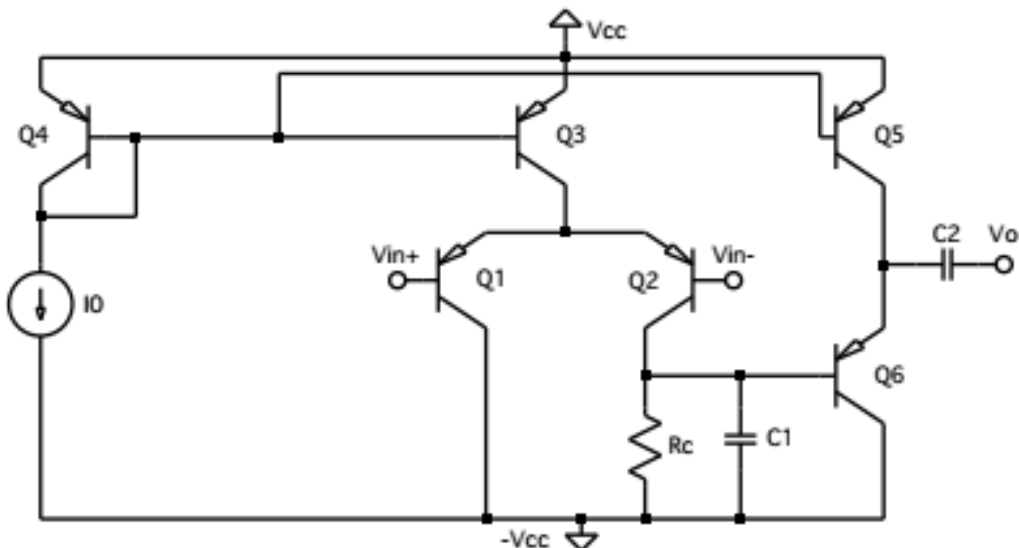
Para el circuito de la Figura considere que las tensiones V_{in+} y V_{in-} son tales que el circuito está polarizado adecuadamente para funcionar como amplificador.

- Determine la resistencia de entrada diferencial
- Halle la ganancia diferencial $A_d = V_o / (V_{in+} - V_{in-})$ en baja frecuencia.
- Determine la relación de rechazo al modo común (CMRR).
- Calcule la frecuencia de transición (f_T) del circuito.
- Determine el rango de entrada en modo común (ICMR).

Datos:

$R_c = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 220 \text{ pF}$, $C_2 = \infty$, $V_{cc} = 10 \text{ V}$, $I_0 = 2 \text{ mA}$.

Transistores idénticos: $\beta = 100$, $V_{EB} = 0.6 \text{ V}$, $V_{ECSAT} = 0.3 \text{ V}$, $V_A = 100 \text{ V}$.

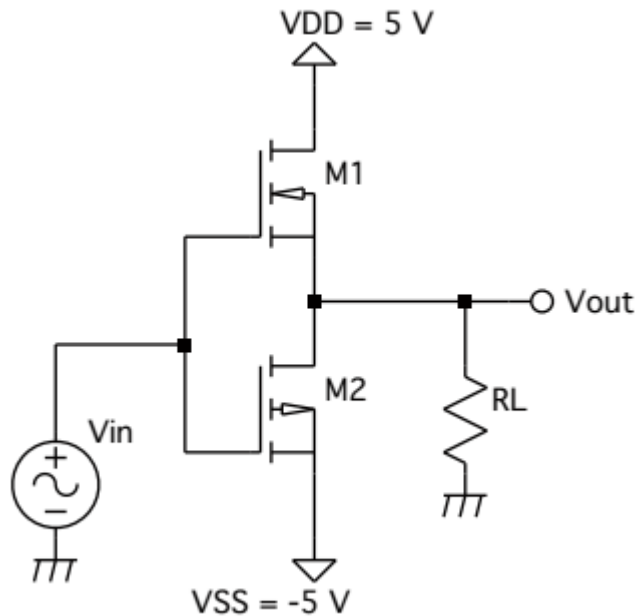


Pregunta : (26 puntos)

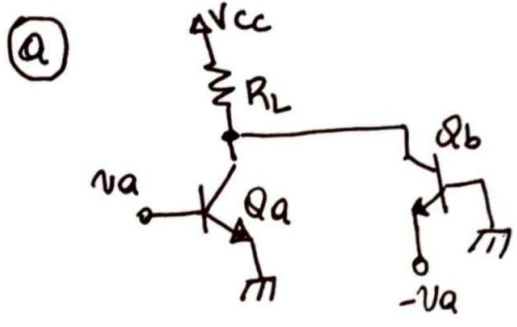
Considere el circuito de la Figura donde la entrada es sinusoidal y su amplitud puede tomar valores entre 0 y 5 V_{pico}.

Suponiendo que el β y $|V_t|$ de los transistores M1 y M2 y el valor de R_L son tales que se puede despreciar la caída de tensión en v_{GS} :

- Calcular la máxima eficiencia del circuito especificando para que amplitud de entrada se produce.
- Calcular la máxima potencia disipada en M1 y M2 especificando para que valor de amplitud de entrada se produce.

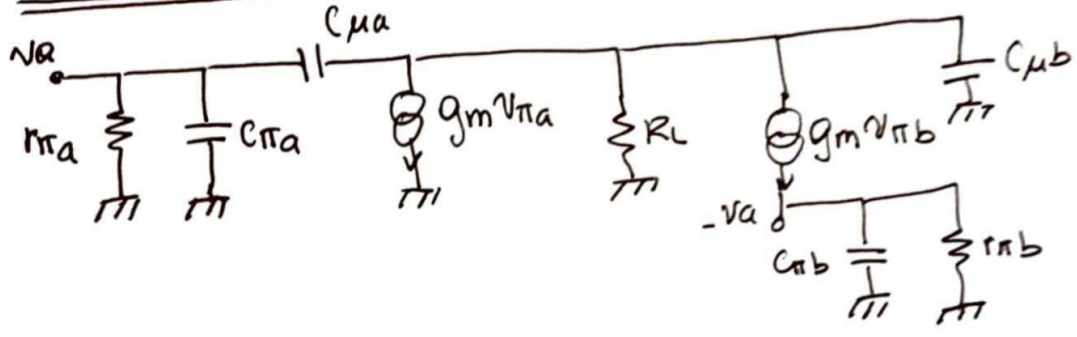


Problema 1

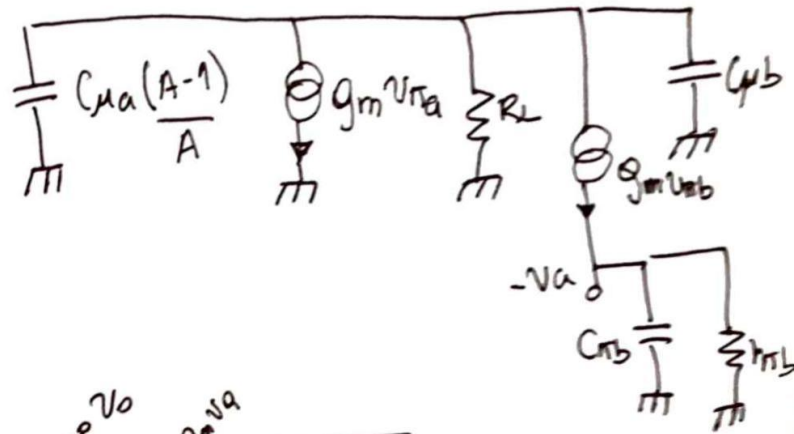
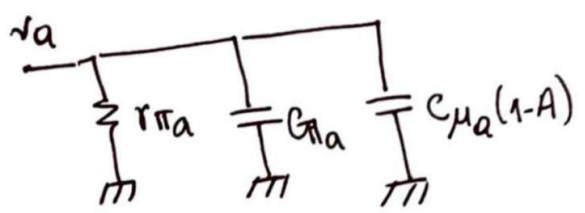


DC $I_{Q_a} = I_{Q_b} = I_o = 10 \text{ mA}$
 $g_{m_a} = g_{m_b} = \frac{I_o}{V_T} = 0,38 \text{ S}$

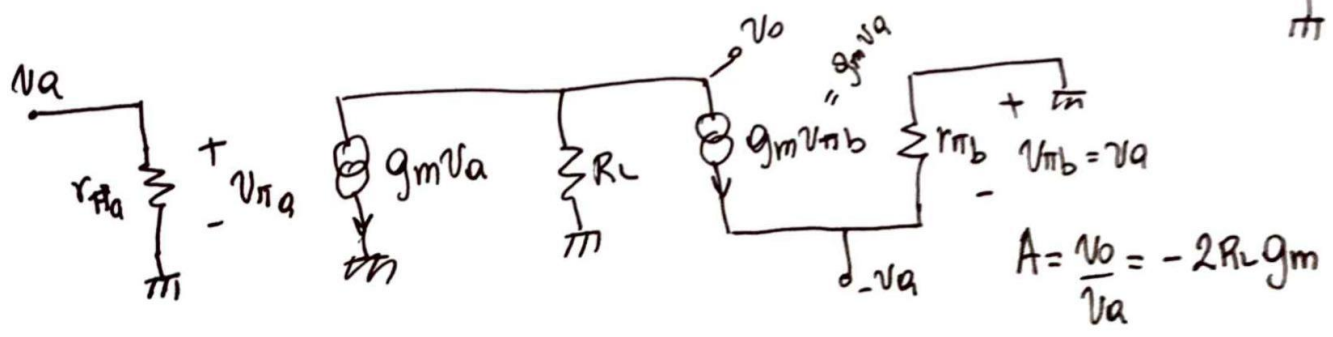
ALTA FRECUENCIA



Aplicando Miller:



A se calcula en bajas frecuencias:



C vista desde la base de Qa:

$$C_w = C_{\pi a} + (1-A) C_{\mu a} = C_{\pi a} + (1+2R_L g_m) C_{\mu a}$$

$$C_{\mu a} = C_{\mu} = 5 \text{ pF}$$

$$C_{\pi a} = C_{\pi} @ 10 \text{ mA} = C_{je} + k(10 \text{ mA})$$

$$f_T @ 5 \text{ mA} = \frac{g_m @ 5 \text{ mA}}{2\pi (C_{\mu} + C_{\pi} @ 5 \text{ mA})} \Rightarrow C_{\pi} @ 5 \text{ mA} = \frac{g_m @ 5 \text{ mA}}{2\pi f_T @ 5 \text{ mA}} - C_{\mu} = 0,5 \text{ nF}$$
$$g_m @ 5 \text{ mA} = \frac{5 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0,19 \text{ S}$$

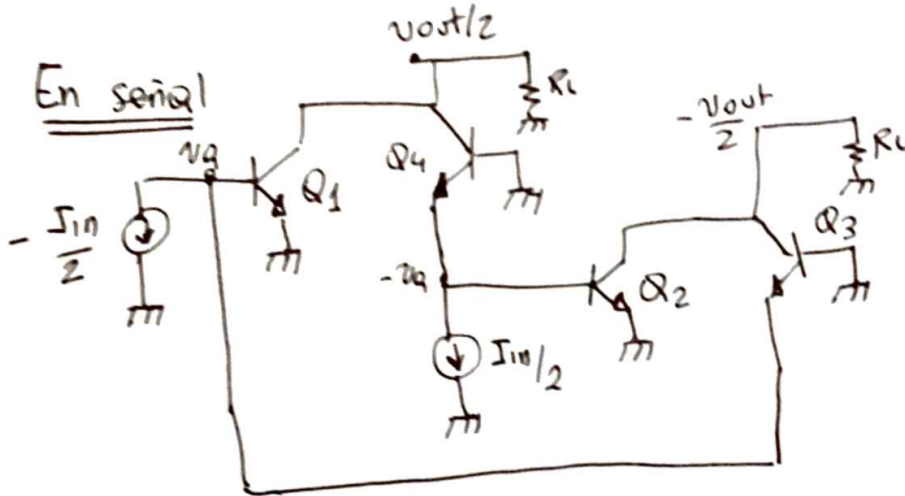
$$C_{\pi} @ 5 \text{ mA} = C_{je} + k(5 \text{ mA}) \Rightarrow k = \frac{C_{\pi} @ 5 \text{ mA} - C_{je}}{5 \text{ mA}} = 88 \frac{\text{pF}}{\text{mA}}$$

$$C_{\pi} @ 10 \text{ mA} = C_{je} + k(10 \text{ mA}) = 940 \text{ pF}$$

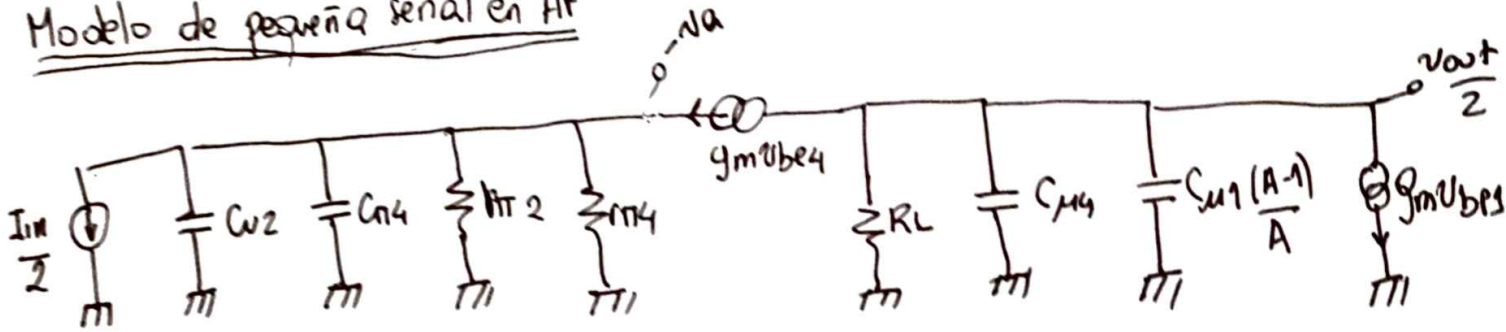
$$C_w = 940 \text{ pF} + (1+2R_L g_m)(5 \text{ pF}) = 1,14 \text{ nF}$$

6

DC $I_{Q1} = I_{Q2} = I_{Q3} = I_{Q4} = I_0 = 10\text{mA}$
 $g_{m1} = g_{m2} = g_{m3} = g_{m4} = \frac{I_0}{V_T} = 0,38\text{S}$



Modelo de pequeña señal en AF



* $C_{\mu 1} \frac{(A-1)}{A}$ resultado de aplicar Miller en C_{μ} de Q_1 como en la parte (a)
 $\rightarrow A = -2R_L g_m$

* C_{w2} es la C_w calculada en la parte (a)

* $g_m U_{be1} = g_m v_a$, $g_m U_{be4} = g_m v_a$.

$$* \frac{v_{out}}{2} = -(2g_m v_a) (R_L \parallel \frac{1}{c^* s}) \Rightarrow \frac{v_{out}}{v_a} = -4g_m (R_L \parallel \frac{1}{c^* s})$$

$$C^* = C_{\mu 4} + C_{\mu 1} \frac{(A-1)}{A} = C_{\mu 4} + C_{\mu 1} \left(\frac{2R_L g_m + 1}{2R_L g_m} \right) \approx 2C_{\mu} = 10 \text{ pF}$$

$$* \frac{-v_a}{r_{\pi 2} \parallel r_{\pi 4}} - g_m v_a - v_a (C_{v2} + C_{\pi 4}) s + \frac{I_{in}}{2} = 0$$

$$\frac{r_{\pi}}{2} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$\Rightarrow -g_m (1 + 1/\beta) v_a - v_a (C_{v2} + C_{\pi 4}) s + \frac{I_{in}}{2} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{v_a}{I_{in}} = \frac{1}{2} [g_m + (C_{v2} + C_{\pi 4}) s]$$

$$* \frac{v_{out}}{I_{in}} = \frac{v_{out}}{v_a} \frac{v_a}{I_{in}} = -4g_m (R_L \parallel 1/c^* s) \times \frac{1}{2} [g_m + (C_{v2} + C_{\pi 4}) s]$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi R_L C^*} = 318 \text{ MHz}$$

$$f_{p2} = \frac{g_m}{2\pi (C_{v2} + C_{\pi 4})} = 29 \text{ MHz} \rightarrow f_{-3dB}$$

$$C_{\pi 4} = C_n @ 10 \text{ mA}$$

Q_1 y Q_2 junto a la fuente de corriente (formada por I_0, Q_3, Q_4) forman un par diferencial (PD).

PD es ideal salvo que $r_{oe3} \neq \infty$

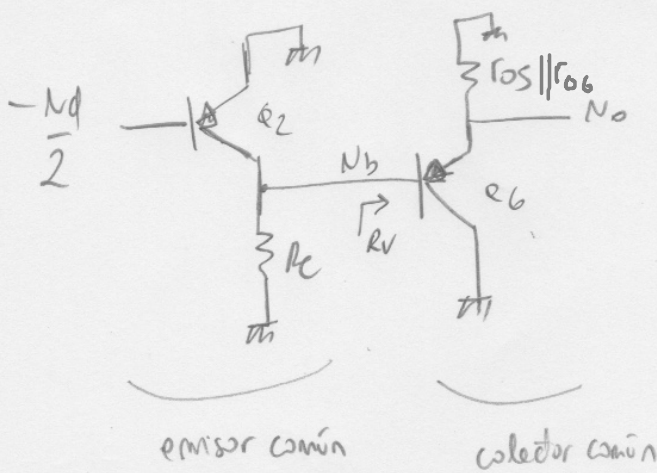
a) Considero entrada diferencial \Rightarrow tengo tierra en los emisores del PD \Rightarrow

$$\Rightarrow \boxed{R_{in} = 2r_{\pi}} \quad , \quad g_{m1} = g_{m2} = g_m = \frac{I_{ce1}}{V_T} = \frac{I_0}{2V_T} = 0,038 \text{ S}^{-1} \Rightarrow \boxed{R_{in} = 52 \text{ k}\Omega}$$

b) - DC: $I_{ce1} = I_{ce2} = I_0/2$ e $I_{ce3} = I_{ce4} = I_{ce5} = I_{ce6} = I_0$
 ($g_{m1} = g_{m2} = g_m$) ($g_{m3} = g_{m4} = g_{m5} = g_{m6}$)

- Bajas frecuencias: $C_2 = \text{cable}$ y $C_1 = \text{cir. abierto}$

- AC: Por simetría analizo la mitad del circuito:

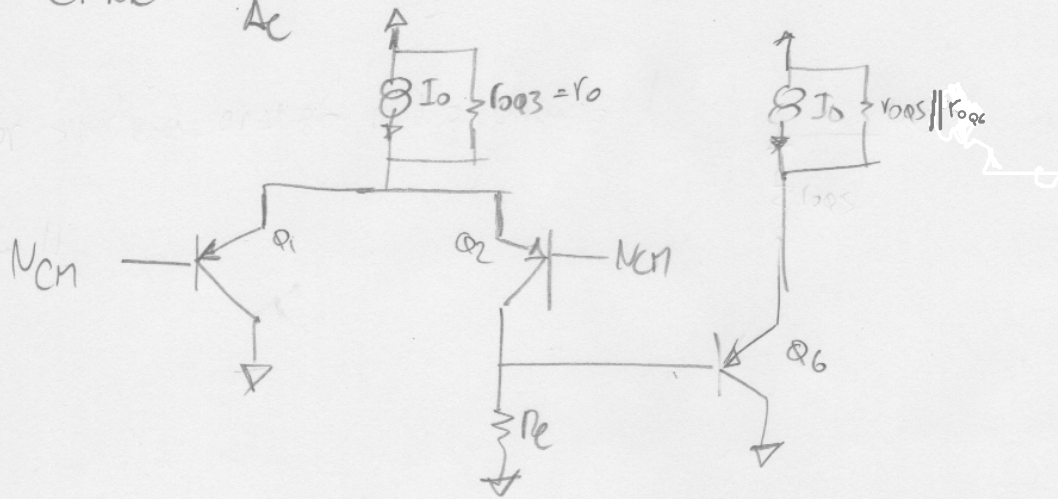


$$\frac{N_b}{N_d} = \frac{1}{2} g_m R_e // R_v \approx \frac{1}{2} g_m R_e \quad \frac{N_o}{N_b} \approx 1 \quad (g_{m6} \frac{r_{o5}}{2} \gg 1) \Rightarrow \boxed{A_d = \frac{1}{2} g_m R_e}$$

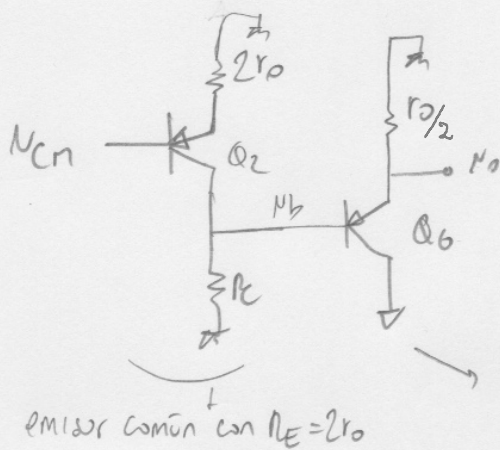
$(R_v = r_{\pi 6} + \beta \frac{r_{o5}}{2} \gg R_e)$

$$\boxed{\Delta d = -192 \frac{V}{V}}$$

c) $C_{MRE} = \frac{\Delta d}{A_c}$



A_c : Análisis medio circuito:



emisor común con $R_E = 2r_0$

colector común: $\frac{N_b}{N_0} \approx 1 @ g_m \frac{r_0}{2} \gg 1$

$\frac{N_b}{N_{cn}} = -\frac{R_c}{2r_0} @ R_V = r_{T6} + \beta r_0 \gg R_E$
 $\& g_m 2r_0 \gg 1$

$\Rightarrow \left[A_c = \frac{N_0}{N_{cn}} = -\frac{R_c}{2r_0} \right] \Rightarrow r_c = 0,1 \frac{V}{V} \Rightarrow \left[C_{MRE} = 66 \text{ dB} \right]$

d) $f_T = A_d \cdot f_{-3dB}$
 $f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_c C_1}$
 $\Rightarrow f_T = \frac{g_m}{4\pi C_1} \Rightarrow \left[f_T = 13,9 \text{ MHz} \right]$

J

e) Hacia arriba: $V_{ECQ3} \geq V_{ECsatQ3} \Rightarrow V_{CC} - (V_{CH} + V_{EBQ2}) \geq V_{ECsatQ3} \Rightarrow$
 $\Rightarrow V_{CH} \leq V_{CC} - V_{EBQ2} - V_{ECsatQ3} \Rightarrow \underline{V_{CH} \leq 9,1V}$

Hacia abajo: $-V_{CH} + V_{EBQ2} - (-V_{CC} + R_e \frac{I_0}{2}) \geq V_{ECsatQ2} \Rightarrow$

Hacia abajo: $V_{ECQ2} \geq V_{ECsatQ2} \Rightarrow V_{CH} + V_{EBQ2} - (-V_{CC} + R_e \frac{I_0}{2}) \geq V_{ECsatQ2} \Rightarrow$

$\Rightarrow V_{CH} \geq -V_{CC} + R_e \frac{I_0}{2} + V_{ECsatQ2} - V_{EBQ2} \Rightarrow V_{CH} \geq -0,3V$

Entonces: $I_{CMR} = [-0,3V, 9,1V]$

↓