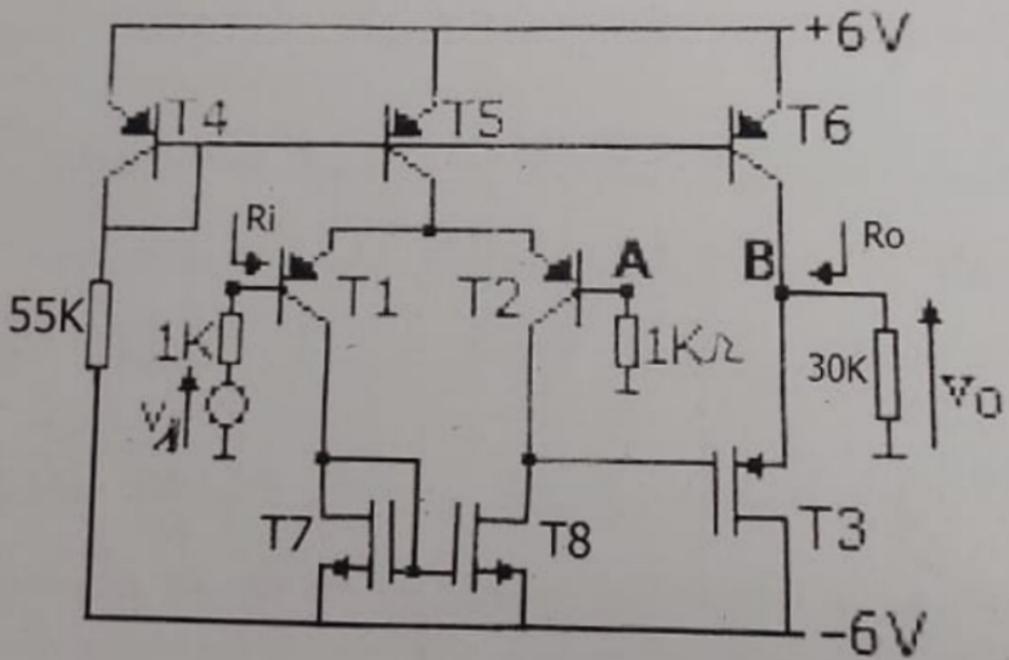


1.- MOSFETs canal inducido: $(W/L)_{7,8} = 0,25$; $|V_T| = 1,5V$; $|k'| = 0,1mA/V^2$;
 $\lambda = 0,02V^{-1}$; $C_{gs} = 5pF$; $C_{gd} = 1pF$

TBJs: $\beta = 100$; $V_A = 50V$; $r_x \approx 0$; $f_T = 200MHz$; $C_\mu = 2pF$

- a) Calcular los valores de reposo, obteniendo $(W/L)_{T3}$ para $V_{OQ} = 0V$.
- b) Dibujar el circuito de señal a frecuencias medias, sin reemplazar los transistores por su modelo. Obtener por inspección, justificando el procedimiento, los valores de R_i , R_o , $A_{vd}=V_o/V_{id}|_{V_{ic}=0}$ y $A_{vc}=V_o/V_{ic}|_{V_{id}=0}$, siendo: $V_{id}=V_{b1}-V_{b2}$ y $V_{ic}=0,5(V_{b1}+V_{b2})$. Definir y calcular la RRMC en dB. Obtener $A_{vs} = V_o/V_s$ a partir de los parámetros anteriores.
- c) Obtener el valor aproximado de f_h para A_{vs} . Realizar las aproximaciones convenientes con el fin de justificar el o los posibles nodos dominantes. Trazar el correspondiente diagrama de Bode aproximado de módulo y argumento.
- d) Definir y obtener el Rango de Modo común.
- e) Obtener el valor de V_{offset} para un desapareamiento entre W_7 y W_8 de un 2%.
- f) Se conecta una $R_{AB} = 6K\Omega$ entre los terminales A y B. Analizar en base a incrementos a través del lazo de realimentación, si R_{AB} contribuye o no a estabilizar los valores de reposo ante dispersiones en el β de los transistores T1 y T2. Identificar los bloques que conforman el sistema realimentado para la señal. ¿Qué muestrea y qué suma?. ¿Cuál sería el nuevo valor aproximado de A_{vs} del circuito así realimentado?. Justificar.

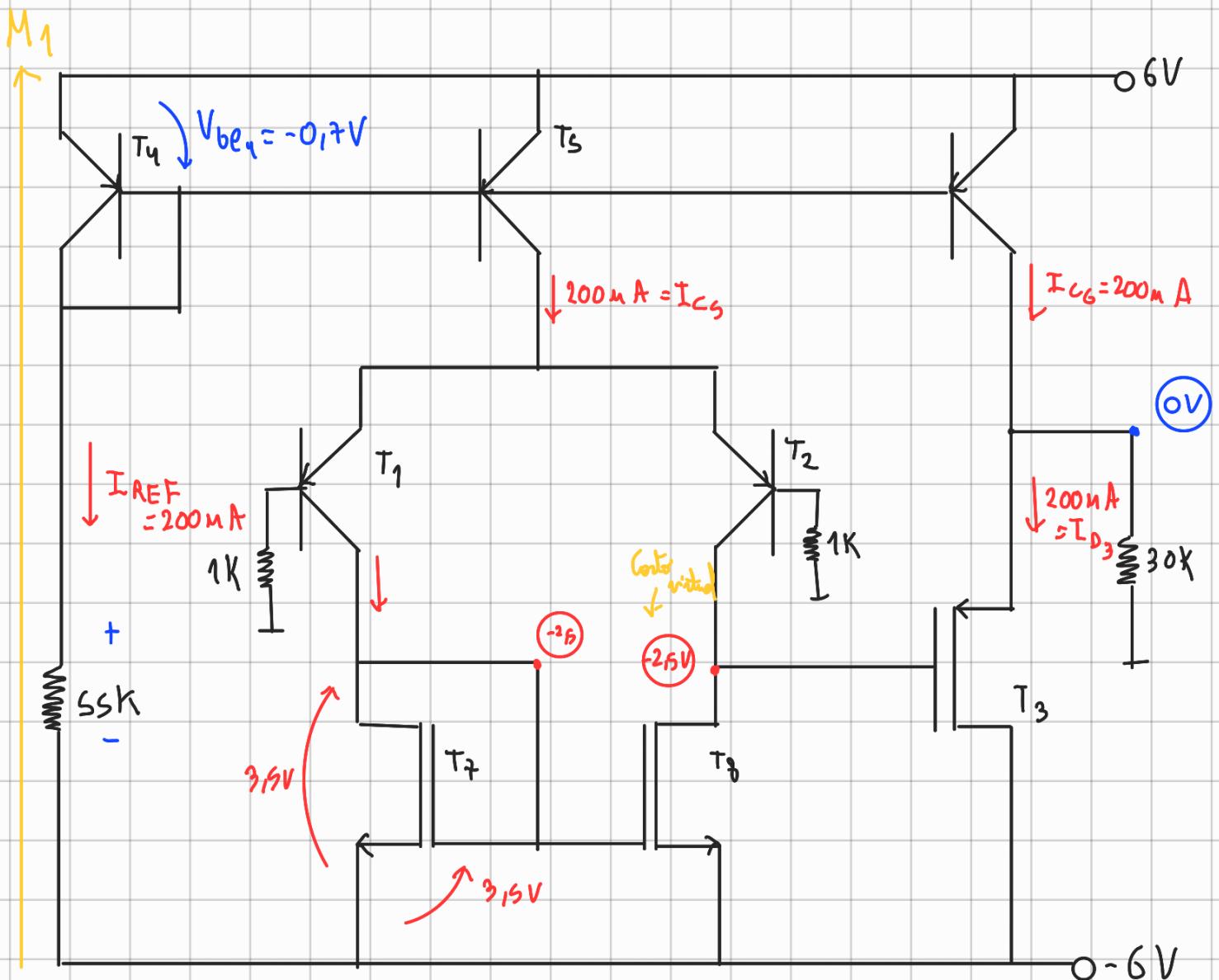


1.- MOSFETs canal inducido: $(W/L)_{T_7,8} = 0,25$; $|V_T| = 1,5V$; $|k'| = 0,1mA/V^2$;
 $\lambda = 0,02V^{-1}$; $C_{gs} = 5pF$; $C_{gd} = 1pF$
TBJs: $\beta = 100$; $V_A = 50V$; $r_x \approx 0$; $f_T = 200MHz$; $C_u = 2pF$

a) Calcular los valores de reposo, obteniendo $(W/L)_{T_3}$ para $V_{OQ} = 0V$.

2)

V_{values} en Reposo. Hallar $\left(\frac{W}{L}\right)_3 | V_{OQ}=0$



$$M_1 \quad 6V + V_{BE4} - I_{REF} \cdot SSK - (-6V) \approx 0$$

$$I_{REF} = \frac{12V - 0.17V}{SSK} \approx 200 \mu A$$

o Supongo TBJs idénticos y factor de copia $K = \frac{\beta}{\beta+2} = \frac{100}{102} \approx 0,98 \approx 1$

$$\rightarrow I_{C_5} = I_{C_6} = I_{C_4} = I_{REF} = 200 \mu A$$

o Circuitos simétricos ($T_1=T_2, T_7=T_8$) $\rightarrow I_{C_1}=I_{C_2}=\frac{I_{REF}}{2}=100 \mu A$

o $I_{D_7}=I_{D_8}=100 \mu A = K' \left(\frac{W}{L} \right)_7 (V_{GS7}-V_T)^2$

$$V_{GS7} = \pm \sqrt{\frac{I_{D_7}}{K' \frac{W}{L}}} + V_T = \pm \sqrt{\frac{100 \mu A}{0,1 m \cdot 0,25}} + 1,5V$$

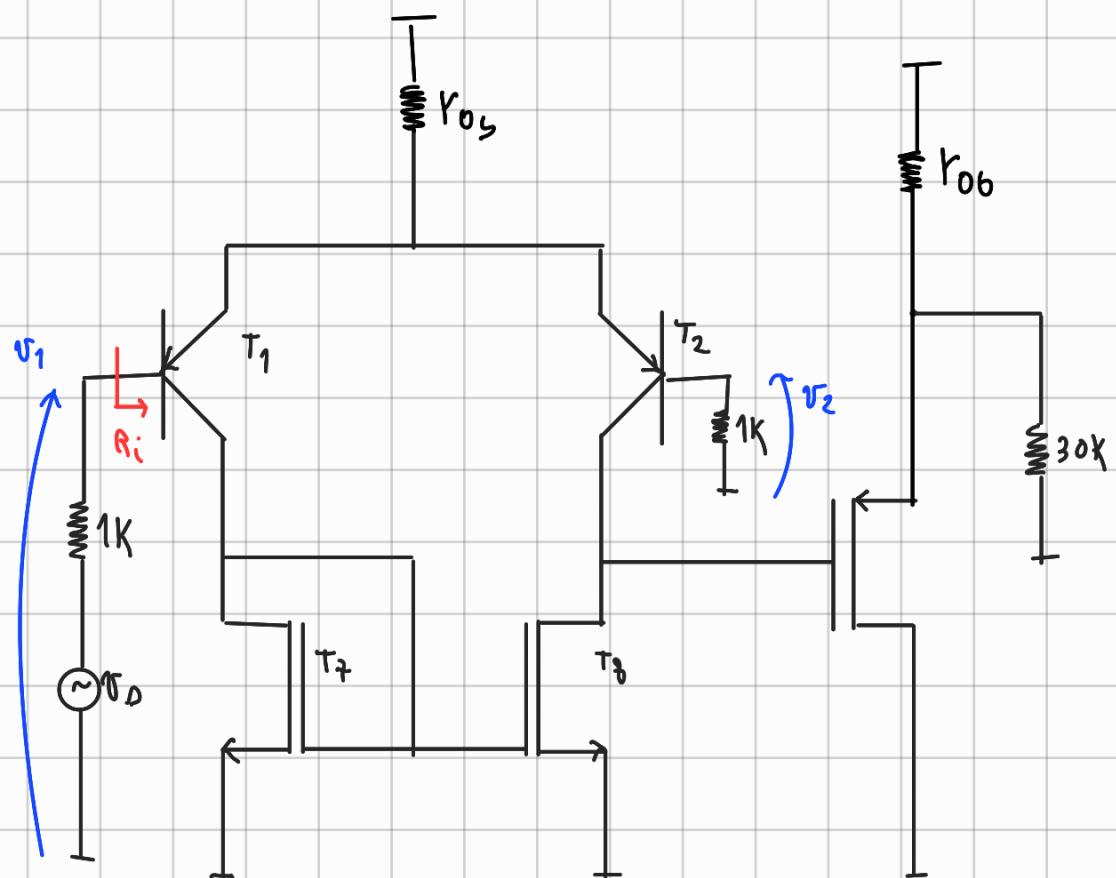
3,5V $\downarrow V_T$
-2,5V

$$\rightarrow V_{GS3} = -2,5V, I_{D_3} = 200 \mu A$$

$$I_{D_3} = K' \frac{W_3}{L_3} (V_{GS3}-V_T)^2 \rightarrow \left(\frac{W}{L} \right)_3 = \frac{200 \mu A}{0,1 m \cdot (2,5V-1,5V)^2} = 2$$

$$\Rightarrow \boxed{\left(\frac{W}{L} \right)_3 = 2}$$

b) Dibujar el circuito de señal a frecuencias medias, sin reemplazar los transistores por su modelo. Obtener por inspección, justificando el procedimiento, los valores de R_i , R_o , $A_{vd} = V_o / V_{id} \mid V_{ic}=0$ y $A_{vc} = V_o / V_{ic} \mid V_{id}=0$, siendo: $V_{id} = V_{b1} - V_{b2}$ y $V_{ic} = 0,5(V_{b1} + V_{b2})$. Definir y calcular la RRMC en dB. Obtener $A_{vs} = V_o / V_s$ a partir de los parámetros anteriores.



$$\text{Obtenemos: } R_i; R_o; A_{vd} = \frac{V_o}{V_{id}} \Big|_{V_{ic}=0} ; A_{vc} = \frac{V_o}{V_{ic}} \Big|_{V_{id}=0}$$

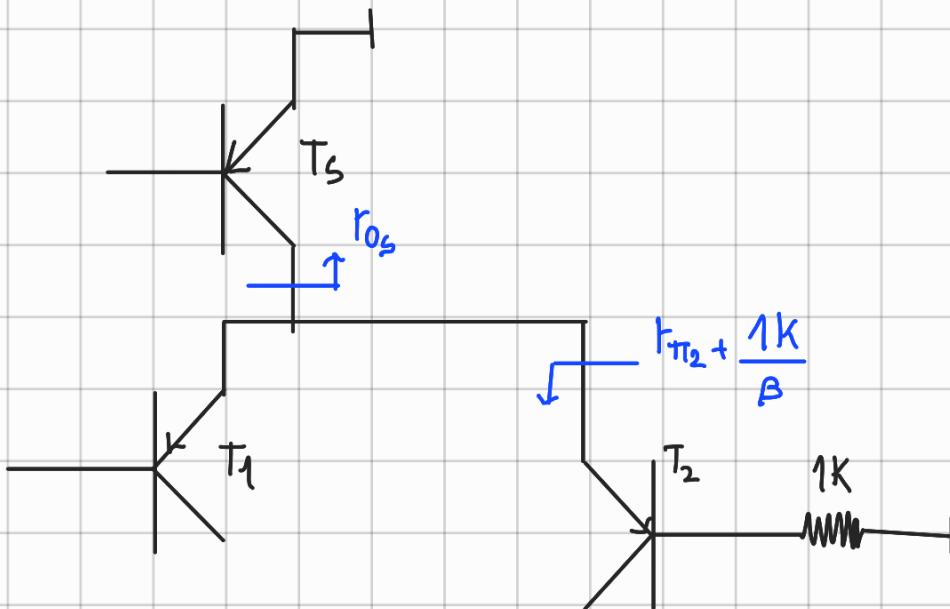
$$V_{id} = V_1 - V_2$$

$$g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_D}{V_{Th}} = \frac{100 \mu}{25 mV} = 4 \frac{mA}{V}$$

$$V_{ic} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$Y_{\pi 1} = Y_{\pi 2} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{4 \frac{mA}{V}} = 25 K$$

R_i

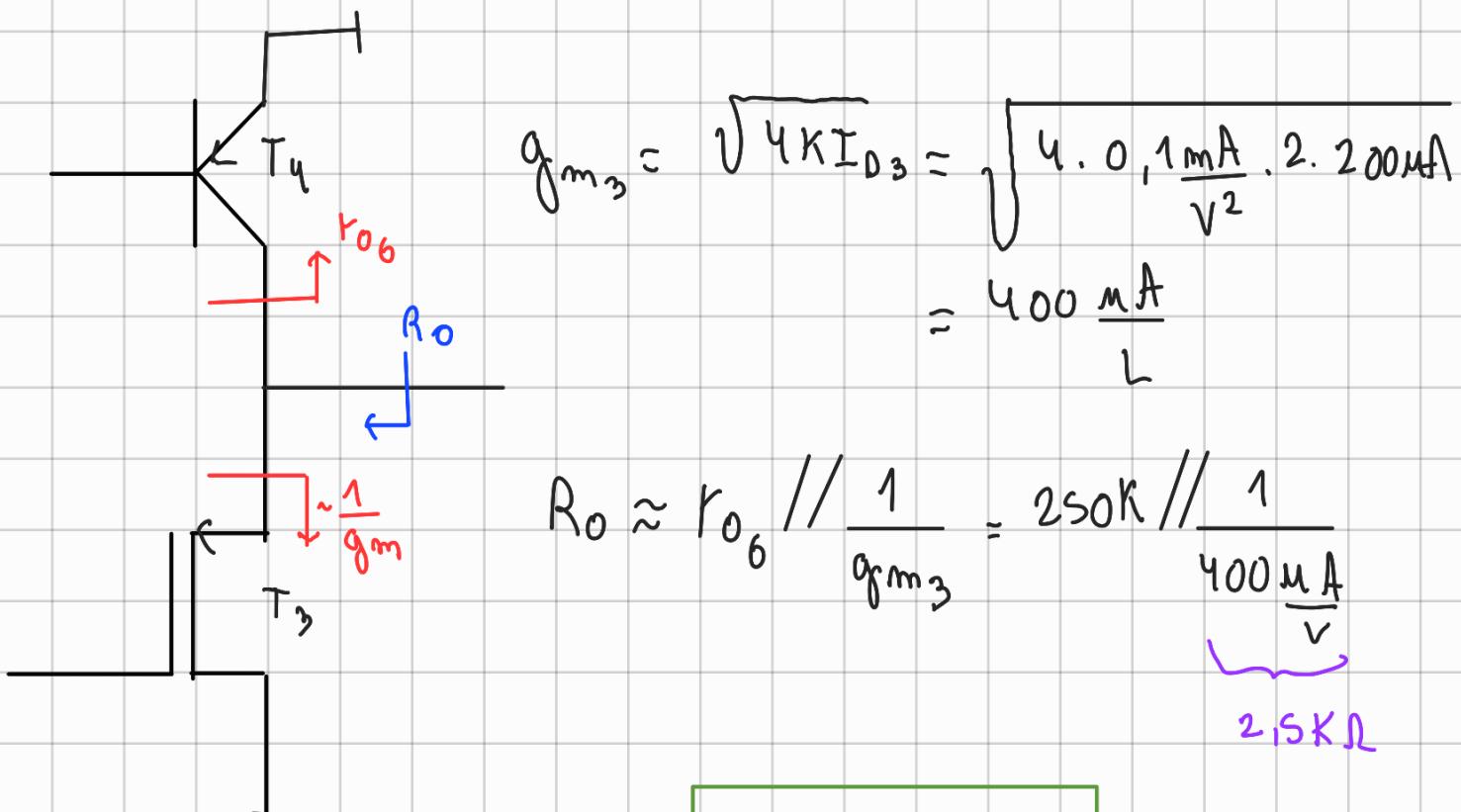


$$R_i = r_{\pi_1} + \left(r_{os} \parallel \left(r_{\pi_2} + \frac{1K}{\beta} \right) \right) \beta \approx r_{\pi_1} + \beta r_{\pi_2} = 51K$$

$$\Rightarrow R_i = 51K$$

R_o

(V_i permanente → Circuito modo comum)



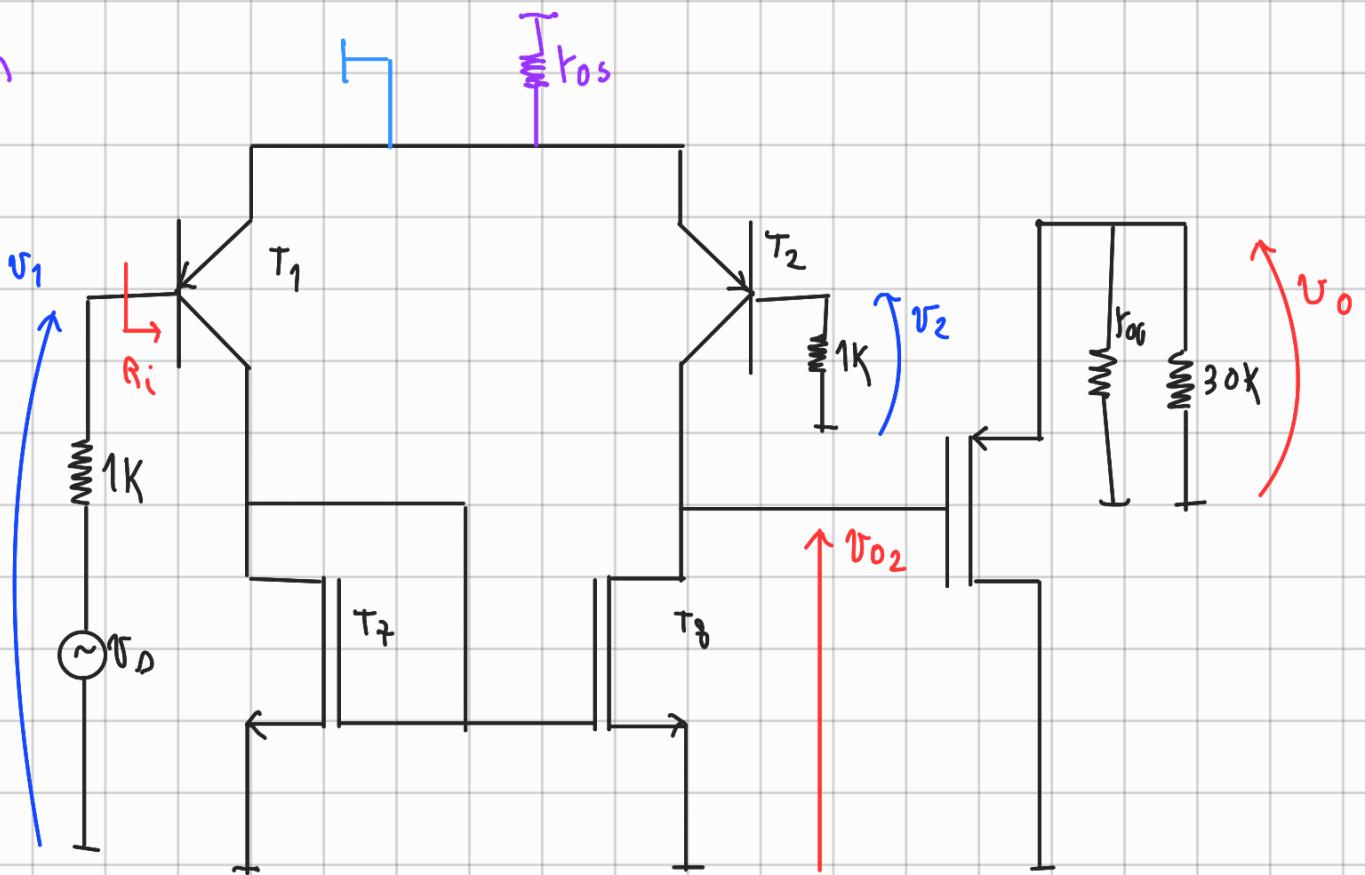
$$g_{m3} = \sqrt{4KI_{D3}} = \sqrt{4 \cdot 0,1mA \cdot 2,200\mu A} = 400 \frac{\mu A}{V}$$

$$R_o \approx r_{os} \parallel \frac{1}{g_{m3}} = 250K \parallel \frac{1}{400 \frac{\mu A}{V}} = 2,5K\Omega$$

$$\Rightarrow R_o \approx 2,5K\Omega$$

Dib

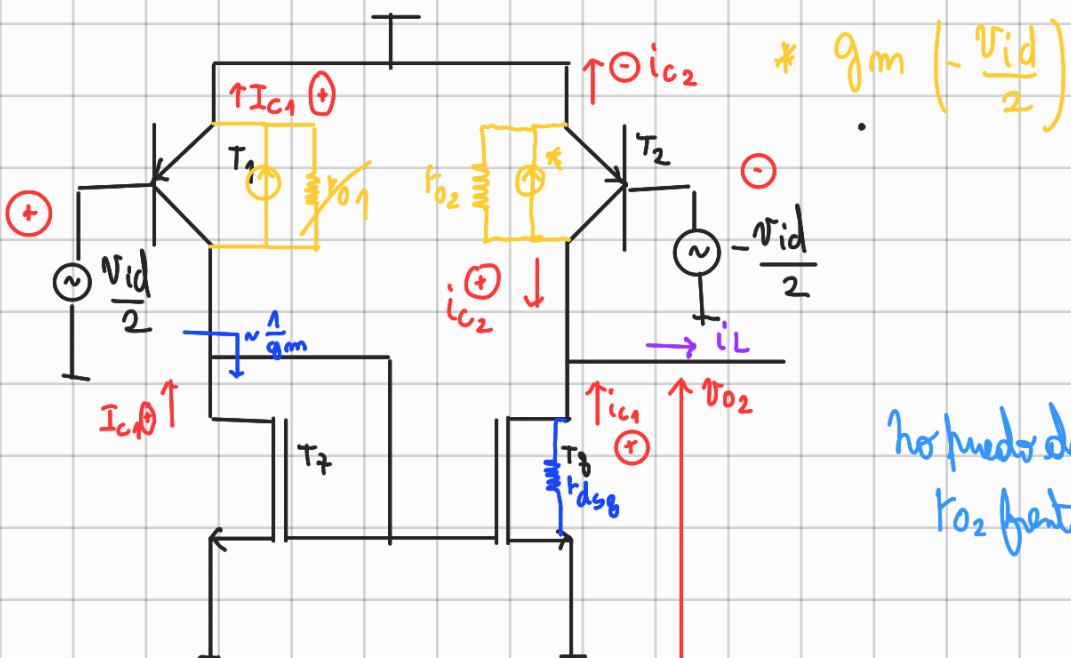
Comun



○ Para obtener el A_{vd} y A_{vc} separamos el circuito en 2 etapas

A_{vd}

r_{og} no debiera ser muy alto
porque si lo es $\sim \frac{1}{gm}$



$$V_{O_2} = (i_{C_1} + i_{C_2}) \left(r_{ds_2} // r_{O_2} \right)$$

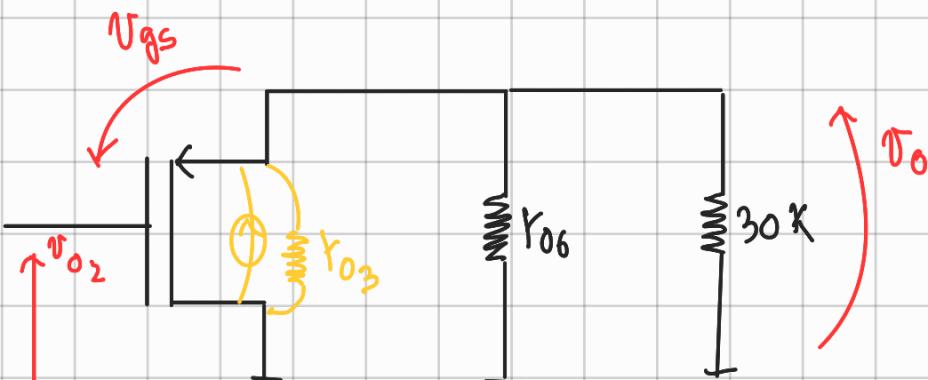
→ $i_1 + i_2$
 $\sum r_{ds_2} // r_{O_2}$

$$= \left(g_{m_1} \frac{V_{id}}{2} + g_{m_2} \frac{V_{id}}{2} \right) \cdot (500k // 500k)$$

$$g_{m_1} = g_{m_2} = 4 \frac{\text{mA}}{\sqrt{\text{V}}}$$

$$0 \frac{V_O}{V_{id}} = 4 \frac{\text{mA}}{\sqrt{\text{V}}} \cdot 250\text{ k}\Omega = 1000$$

Ahora nos la regulemos etapa



$$g_{m_3} = 0,4 \frac{\text{mA}}{\sqrt{\text{V}}}$$

$$0 \frac{V_O}{V_{O_2}} = \frac{V_O}{V_O + V_{gs}} = \frac{g_{m_3} V_{gs} \cdot 30\text{ k} // r_{O_6} // r_{O_3}}{g_{m_3} V_{gs} \cdot 30\text{ k} // r_{O_6} // r_{O_3} + V_{gs}}$$

$$= \frac{g_{m_3} (30\text{ k} // r_{O_6} // r_{O_3})}{1 + g_{m_3} (30\text{ k} // r_{O_6} // r_{O_3})} = 0,912$$

$\underbrace{20\text{ k}}$

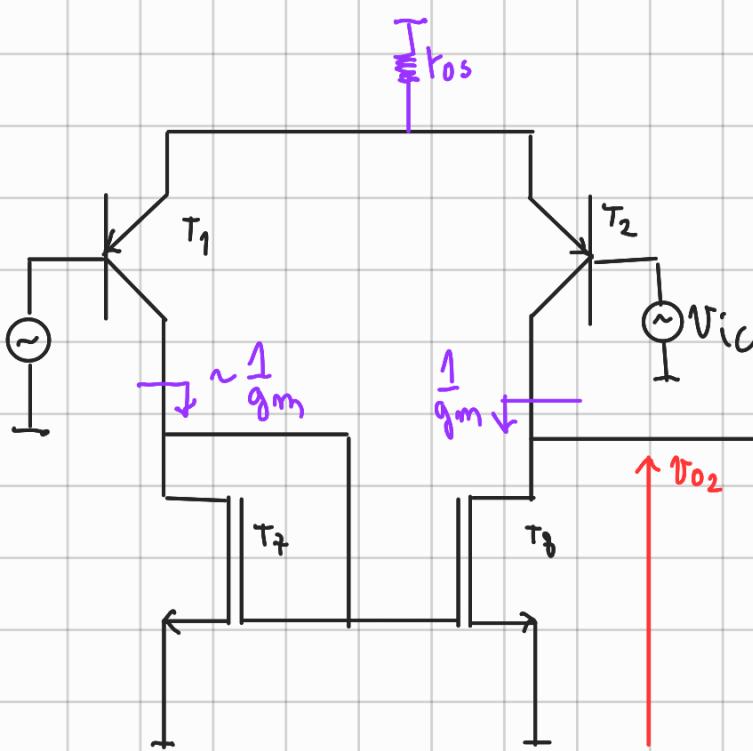
$$\rightarrow A_{vd} = \frac{V_O}{V_{id}} = \frac{V_{O_2}}{V_{id}} \cdot \frac{V_O}{V_{O_2}} = 1000 \cdot 0,912 = 912$$

⇒ $A_{vd} = 912$

Arc

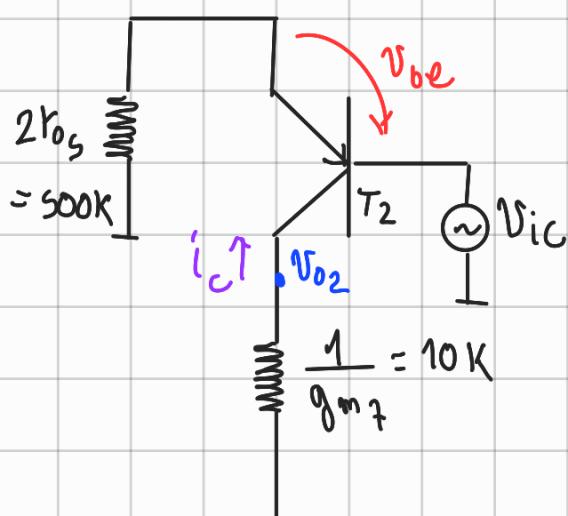
- Para A_{rc} , $\frac{V_o}{V_{o2}}$ no condice

O



Como T_7 está en modo diodo, T_1 ve como carga $\frac{1}{g_m}$, y considerando en modo comum para que salga el incremento, T_2 debe ver la carga del minimo valor

$$g_{m7} = \sqrt{4 \cdot K' \cdot \frac{W}{L} \cdot I_D} = \sqrt{4 \cdot 100 \frac{nA}{V} \cdot 0,25 \cdot 100 \mu} = 0,1 \frac{mA}{V}$$



$$\frac{V_{o2}}{V_{ic}} = \frac{-i_c \cdot 10k}{i_c \cdot 2r_{los} + V_{be}} = \frac{-g_{m2} V_{be} \cdot 10k}{g_m V_{be} \cdot 500k + V_{be}}$$

$$\frac{V_{o2}}{V_{ic}} = -0,02$$

$$A_{Vdc} = \frac{V_o}{V_{ic}} = \frac{V_{o2}}{V_{ic}} \cdot \frac{V_o}{V_{o2}} = -0,02 \cdot 0,912 = -0,01824$$

⇒ $A_{Vc} = -0,01824$

$$RRMC = \left| \frac{A_{vd}}{A_{vc}} \right| = 45.600$$

$$RRMC_{(dB)} = 20 \log \left(\left| \frac{A_{vd}}{A_{vc}} \right| \right) = 93 dB$$

⇒ $RRMC = 93 dB$

Como $R_i \gg 1k \rightarrow A_V \approx A_{N_o}$

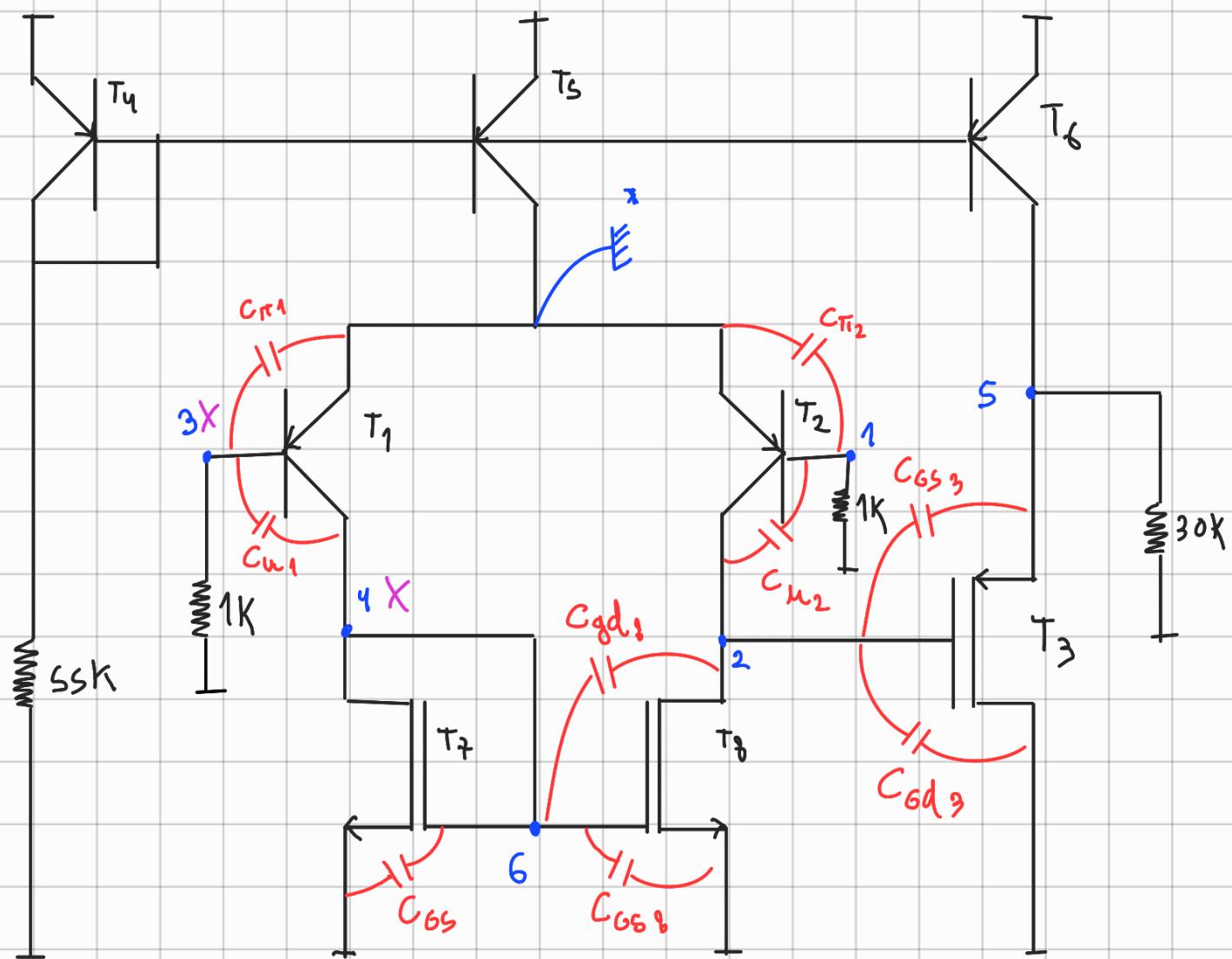
$$A_{N_o} = \frac{V_o}{V_o} = \frac{A_{vd} \underbrace{V_{id}}_{\frac{V_o-0}{2}} + A_{vc} \underbrace{V_{ic}}_{\frac{V_o+0}{2}}}{V_o} = \frac{A_{vd} V_o + A_{vc} \frac{V_o}{2}}{V_o}$$

$$A_{N_o} = A_{vd} + \frac{A_{vc}}{2} \approx A_{vd} = 1000$$

\downarrow
 $A_{vd} \gg A_{vc}$

c) Obtener el valor aproximado de f_h para A_{vs} . Realizar las aproximaciones convenientes con el fin de justificar el o los posibles nodos dominantes. Trazar el correspondiente diagrama de Bode aproximado de módulo y argumento.

d) Definir el tiempo de respuesta.



* Comer $A_{vd} = A_{vd} + \frac{A_{vc}}{2} \approx A_{vd}$, considerando que hay una tensión virtual y descartando modo

$$\circ C_{gs} = S_p F; C_{gd} = 1 \text{ pF}; C_{mu} = 2 \text{ pF}$$

$$\circ g_{m1,2} = 4 \frac{mA}{V} ; R_{\pi1,2} = \frac{\beta}{g_m} = 25 k\Omega ; R_{o1,2} = \frac{V_A}{I_C} = 500 k\Omega$$

$$\circ g_{m3} = 0,4 \frac{mA}{V} ; R_{dgs3} = \frac{1}{\lambda I_D} = \frac{50}{100 \mu m} = 500 k\Omega$$

○ $g_{m_{4,15,6}} = \frac{200 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = 8 \text{ mA} ; \quad r_{\pi_{3,4,5}} = 12,5 \text{ k} \Omega , \quad r_{o_{3,4,5}} = 250 \text{ k} \Omega$

○ $g_{m_{7,8}} = 0,1 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$

$$C_{\pi_{1,2}} = \frac{g_{m_{1,2}}}{2\pi f_T} - C_m \approx 1,2 \text{ pF}$$

Los modos candidatos que observan son el 5 para la resistencia R_L ; el modo 1 ya que C_m se refleja con la ignorancia de un emisor común y el 2 por la resistencia

○ El modo 4 es simétrico al 2 pero con menor corriente ($\frac{1}{g_m}$), lo descarto

○ El modo 3 es simétrico al 1 pero con menor corriente ($\frac{1}{g_m}$), lo descarto

○ En el modo 6 también veo baja resistencia ($r_{gs} \parallel \frac{1}{g_m}$) lo descarto.

Modo 5

hodo 2

$$R_2 = r_{ds_0} \parallel r_{o2} = 250\text{K}$$

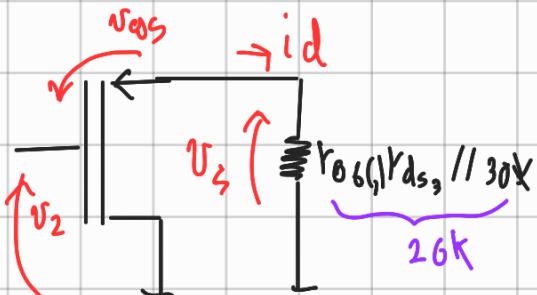
$$C_2 = C_{mu_2} \left(1 - \frac{V_1}{V_2} \right) + C_{gd_0} \left(1 - \frac{V_4}{V_2} \right) + C_{gd_3} + C_{gss_3} \left(1 - \frac{V_3}{V_2} \right)$$

≈ 0

Voy de C et B en T₂,
ganancia inversa de 1m
emisor común, ≈ 0

Voy de D et G,
voltage gnd ≈ 0
 ≈ 0

≈ 1



$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{I_D 26\text{k}}{V_{gss} + I_D 26\text{k}} = \frac{g_m V_{gs} 26\text{k}}{V_{gst} + g_m V_{gs} 26\text{k}}$$

≈ 1

$$C_2 = C_{mu} + C_{gd} + C_{gss} = 4\text{pF}$$

$$T_2 = R_2 C_2 = 1\text{MS}$$

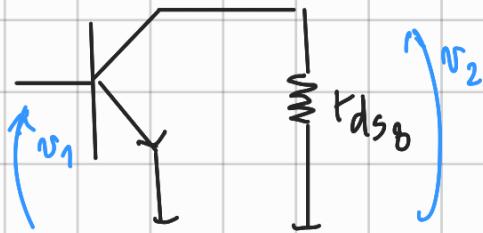
$$F_{ch_2} = \frac{1}{2\pi R_2} \approx 160\text{KHz}$$

modo 1

$$R_1 = 1\text{K} // r_{\pi_2} = 960\Omega$$

25K

$$C_1 = C_{\pi_2} + C_m \left(1 - \frac{v_2}{v_1} \right)$$



$$\frac{v_2}{v_1} = -g_m r_{dsB} = -2000$$

gm 5000K

$$= 1,2\text{pF} + 2\text{pF} \cdot 2001 \approx 4\text{nF}$$

$$\gamma_1 = R_1 C_1 = 3,84\text{ms}$$

$$F_{ch_1} = \frac{1}{2\pi\gamma_1} = 41\text{kHz}$$

Como F_{h_1} y F_{h_2} tienen mas de una octava de diferencia

$$\Rightarrow F_h = F_{h_1} = 41\text{kHz}$$

d)

Rango de modo común: Rango de tensión del modo común para el cual se asegura que todos los transistores se encuentran funcionando dentro de la zona de características establecidas

o) Saturación T_S (PNP)

$$V_{CE_S} < V_{CE(\text{sat})} = -0,7V$$

$$V_{C_S} - V_{EQ_S} < -0,7V$$

$$V_{i_C} + 0,7V - 6V < -0,7V$$

$$V_{i_C} < 4,6V$$

o) Saturación T_1 (PNP)

$$V_{CE_1} < V_{CE(\text{sat})} = -0,7V$$

$$V_{C_1} - V_{CE} < -0,7V$$

$$-2,5V - (V_{i_C} + 0,7V) < -0,7V$$

$$V_{i_C} > -2,5V$$

\Rightarrow

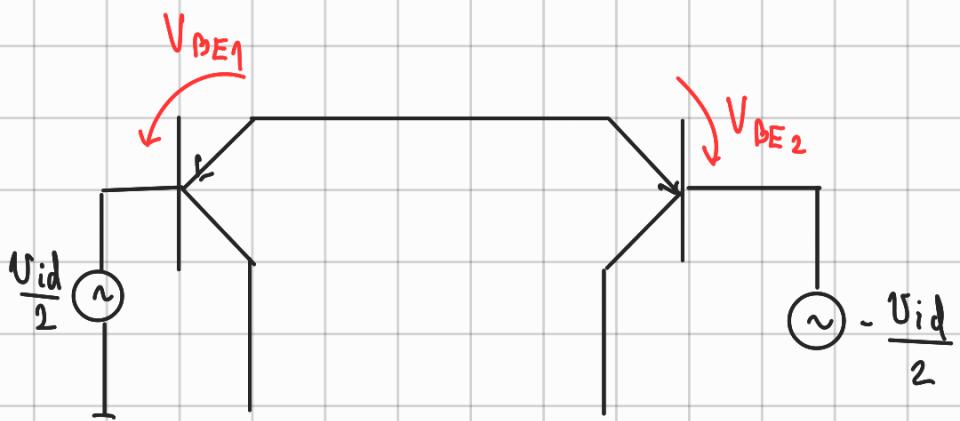
$$\text{RMC: } -2,5V < V_{i_C} < 4,6V$$

e) Obtener el valor de V_{offset} para un desapareamiento entre W_7 y W_8 de un 2%.

f) Se conecta una $R_{\text{load}} = 5 \text{ k}\Omega$ entre la salida y la tierra. Determinar la tensión de salida.

$$V_{\text{OFF}} = V_{\text{id}} \Big|_{V_{\text{od}} = 0}$$

$$\frac{W_8 - W_7}{W_7} = 0,02 \rightarrow \frac{W_8}{W_7} = 1,02$$



$$I_C = I_s e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{OFF}} &= V_{\text{BE}_1} - V_{\text{BE}_2} = V_T \ln \left(\frac{I_{C_1}}{I_s} \right) - V_T \ln \left(\frac{I_{C_2}}{I_s} \right) \\ &= V_T \ln \left(\frac{I_{C_1}}{I_{C_2}} \right) \end{aligned}$$

$$I_{C_2} = I_{D_8}$$

$$\frac{I_{C_2}}{I_{C_1}} = \frac{I_{D_8}}{I_{D_7}} = \frac{k' \frac{W_8}{L} (V_{GS7} - V_T)^2}{k' \frac{W_7}{L} (V_{GS7} - V_T)^2} = \frac{W_8}{W_7} = 1,02$$

$$I_{C_1} = I_{D_7}$$

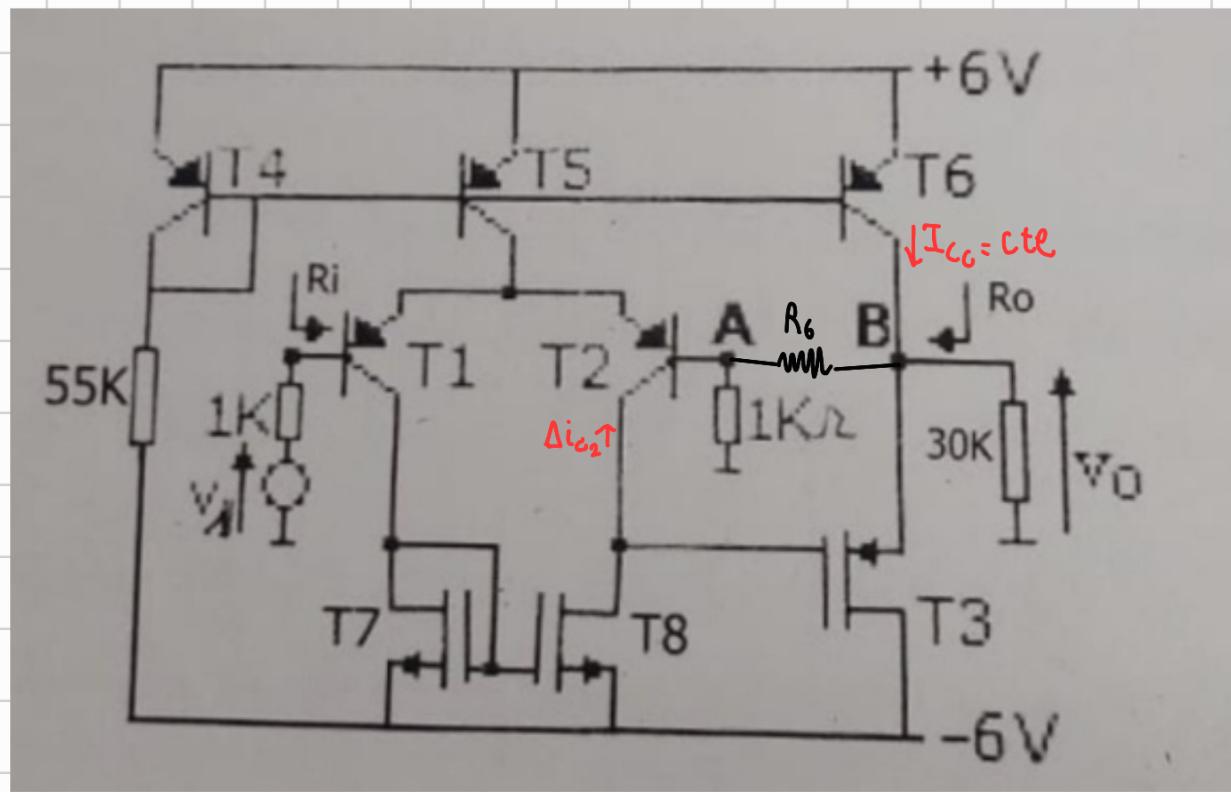
$$V_{\text{OFF}} = V_T \ln \left(\frac{1}{1,02} \right) = -0,5 \text{ mV}$$

\Rightarrow

$$V_{\text{OFF}} = -0,5 \text{ mV}$$

c) Obtener el valor de V_{offset} para un desapareamiento entre W_7 y W_8 de un 2%.

f) Se conecta una $R_{AB} = 6\text{K}\Omega$ entre los terminales A y B. Analizar en base a incrementos a través del lazo de realimentación, si R_{AB} contribuye o no a estabilizar los valores de reposo ante dispersiones en el β de los transistores T1 y T2. Identificar los bloques que conforman el sistema realimentado para la señal. ¿Qué muestrea y qué suma?. ¿Cuál sería el nuevo valor aproximado de A_{vs} del circuito así realimentado?. Justificar.



Aumenta $\beta_1 \rightarrow I_{C1}$ aumenta $\rightarrow I_{C2}$ aumenta