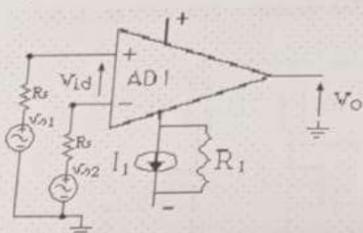


APELLIDO	NOMBRE	PADRÓN	TURNO	Nº de hojas	Corrección
			T	N	

1.- Se tiene el circuito de la figura formado por un par de NMOSFET inducidos  $T_1 - T_2$ , acoplado por source, con una fuente espejo como carga PMOSFET,  $T_3 - T_4$ , polarizado mediante fuentes de alimentación  $\pm V_{DD}$  y de corriente  $I_1 - R_1$  y excitado mediante dos señales cuyo equivalente Thévenin es el indicado en la figura ( $v_{s1}$  y  $v_{s2}$  e iguales resistencias equivalentes  $R_s$ ). Se admiten en principio transistores con características nominalmente similares ( $T_1 = T_2$  y  $T_3 = T_4$ ). Definir y hallar la expresión de la tensión de offset,  $V_{off}$ , del circuito para los siguientes casos:



a)  $100 \cdot |W_2 - W_1| / W_1 = \delta$ , donde  $0 < \delta < 3\%$ .

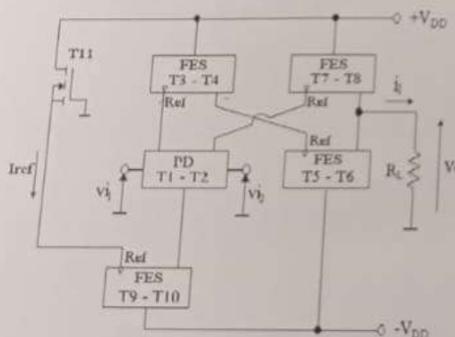
b)  $100 \cdot |W_4 - W_3| / W_3 = \delta$ , donde  $0 < \delta < 3\%$ .

c)  $100 \cdot |V_{T2} - V_{T1}| / V_{T1} = \delta$ , donde  $0 < \delta < 3\%$ .

Obtener la tensión de offset total, admitiendo que existen todos los desapareamientos a la vez y considerando el peor caso (Despreciar para este ítem, la influencia de  $R_1$ ). Justificar por qué en señal los desapareamientos afectan en forma importante a  $A_{vd}$  y no a  $A_{vc}$ .

2 -

**FES:** Fuente Espejo Simple – **PD:** Par Diferencial. Todos los MOSFET son inducidos (canal **N** ó **P** según corresponda).  $\pm V_{DD} = \pm 6V$ ;  $|V_T| = 2V$ ;  $|K'| = 100\mu A/V^2$ ;  $W/L = 2$ ;  $\lambda = 0,01 1/V$ ;  $R_L = 10K\Omega$ .



a) Para  $v_{i1} = v_{i2} = 0$ , hallar todas las tensiones y corrientes de reposo del circuito, incluyendo  $I_{LQ}$ . Despreciar la corrección de  $I_{LQ}$  por el  $\lambda$ .

b) Hallar las expresiones y valor de:

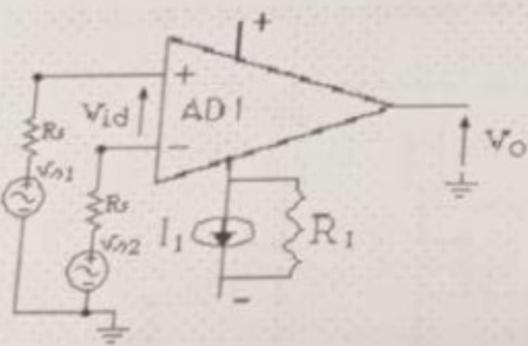
$$G_{md} = i_t / V_{id} \quad |v_o=0$$

$$G_{mc} = i_t / V_{ic} \quad |v_o=0$$

Definir y hallar la expresión de la  $R_o$  vista por la carga. Obtener su valor. Obtener  $A_{vd} = v_o / V_{id}$ .

c) Definir y hallar el rango de tensión de modo común.

1.- Se tiene el circuito de la figura formado por un par de NMOSFET inducidos  $T_1 - T_2$ , acoplado por source, con una fuente espejo como carga PMOSFET,  $T_3 - T_4$ , polarizado mediante fuentes de alimentación  $\pm V_{DD}$  y de corriente  $I_1 - R_1$  y excitado mediante dos señales cuyo equivalente Thévenin es el indicado en la figura ( $v_{S1}$  y  $v_{S2}$  e iguales resistencias equivalentes  $R_S$ ). Se admiten en principio transistores con características nominalmente similares ( $T_1 = T_2$  y  $T_3 = T_4$ ). Definir y hallar la expresión de la tensión de offset,  $V_{off}$ , del circuito para los siguientes casos:

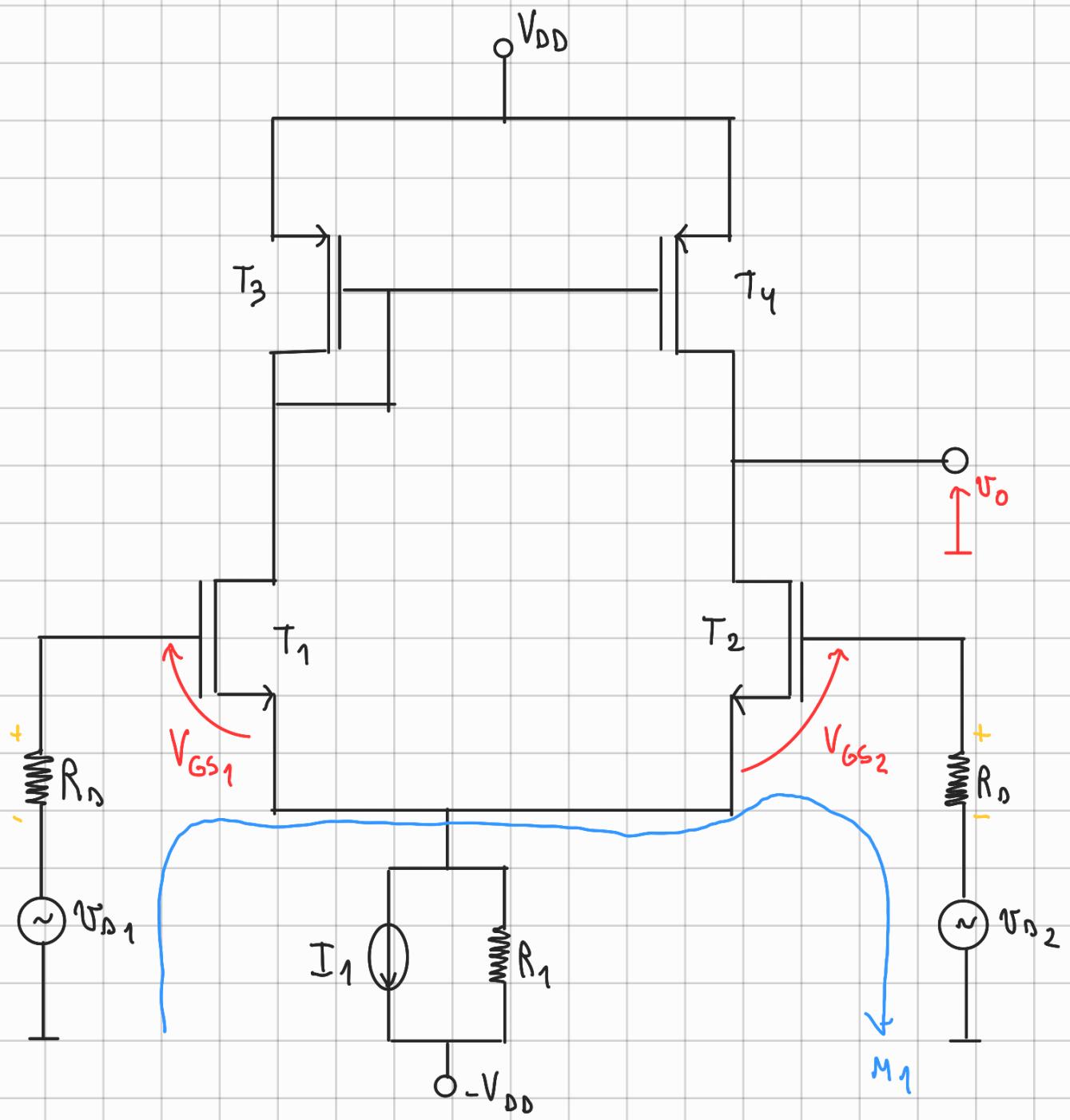


- a)  $100 \cdot |W_2 - W_1| / W_1 = \delta$ , donde  $0 < \delta < 3\%$ .
- b)  $100 \cdot |W_4 - W_3| / W_3 = \delta$ , donde  $0 < \delta < 3\%$ .
- c)  $100 \cdot |V_{T2} - V_{T1}| / V_{T1} = \delta$ , donde  $0 < \delta < 3\%$ .

Obtener la tensión de offset total, admitiendo que existen todos los desapareamientos a la vez y considerando el peor caso (Despreciar para este ítem, la influencia de  $R_1$ ). Justificar por qué en señal los desapareamientos afectan en forma importante a  $A_{vd}$  y no a  $A_{vc}$ .

○ PD NMOS  $T_1 - T_2$

○ Carga FES  $\rightarrow T_3 - T_4 \rightarrow P_{mos}$



○ En continua, no hay corriente en los gate de  $T_1$  y  $T_2$ , entonces  $V_{R_n} = 0$  y definimos

la tensión de offset como  $V_{OFF} = V_{id} \Big|_{V_{OA}=0}$ , equivalente a que  $I_{D1} = I_{D2}$

$$○ V_{id} = V_1 - V_2$$

○ Si hacemos la malla en continua

$$(M_1) \quad V_{OFF} - V_{GS1} + V_{GS2} \approx 0$$

$$V_{OFF} = V_{GS1} - V_{GS2}$$

○ Como  $V_{OFF}$  implica  $I_{D1} = I_{D2} = I_D$  usaremos el dato de rueda inciso

$$2) \quad V_{T1} = V_{T2} = V_T ; \quad K'_1 = K'_2 = K' ; \quad L_1 = L_2 = L ; \quad 100 \frac{|W_2 - W_1|}{W_1} = \delta \leq 3\%$$

$$I_D = \frac{K'}{L} W (V_{GS} - V_T)^2 \longrightarrow V_{GS} = \pm \sqrt{\frac{I_D L}{K' W}} + V_T \quad \text{se que } V_T > 0 \text{ para } T_1 \text{ y } T_2$$

$$V_{OFF} = V_{GS1} - V_{GS2} = \sqrt{\frac{I_D L}{K'}} \sqrt{\frac{1}{W_1}} + V_T - \left( \sqrt{\frac{I_D L}{K'}} \sqrt{\frac{1}{W_2}} + V_T \right)$$

$$= \sqrt{\frac{I_D \cdot L}{K'}} \left( \frac{1}{\sqrt{W_1}} - \frac{1}{\sqrt{W_2}} \right)$$

$$\frac{W_2 - W_1}{W_1} = 0,03 = \delta \quad \text{verificar}$$

$$W_2 = W_1 (1 + \delta)$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \delta + 1 = 1,03$$

$$= \sqrt{\frac{I_D \cdot L}{K' w_1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{w_1}} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{w_2}{w_1}}} \right)$$

$$\Rightarrow V_{OFF} = \boxed{\sqrt{\frac{I_D L}{K' w_1}} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+\delta}} \right)}$$

b)

$$\frac{w_4 - w_3}{w_3} = \delta = 0,03 \quad ; \quad V_{OFF} = V_{GS1} - V_{GS2}$$

$$I_D = K' \frac{w}{L} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$I_{D1} = I_{D3} \rightarrow \frac{K'_1 w_1}{L_1} (V_{GS1} - V_{T1})^2 = \frac{K'_3 w_3}{L_3} (V_{GS3} - V_{T3})^2$$

$$V_{GS1} = \sqrt{\frac{L_1}{K'_1 w_1} \frac{K'_3 w_3}{L_3} (V_{GS3} - V_{T3})^2 + V_{T1}}$$

$$I_{D2} = I_{D4} \rightarrow V_{GS2} = \sqrt{\frac{L_2}{K'_2 w_2} \frac{K'_4 w_4}{L_4} (V_{GS4} - V_{T4})^2 + V_{T2}}$$

$\frac{1}{K_2}$        $K_4$   
 $= V_{GS3} = V_{T3}$

$$T_1 = T_2 \rightarrow K'_1 = K'_2 ; L_1 = L_2 , V_{T2} = V_{T1} , K_1 = K_2$$

$$T_3 = T_4 \rightarrow V_{T3} = V_{T4} \quad \text{and} \quad K'_3 = K'_4$$

$$\begin{aligned}
 V_{OFF} &= \sqrt{\frac{k_3}{k_1} (V_{GS_3} - V_{T_3})^2} - \sqrt{\frac{k_4}{k_2} (V_{GS_4} - V_{T_4})} \\
 &= \sqrt{\frac{(V_{GS_3} - V_{T_3})^2}{k_1}} \left( \sqrt{k_3} - \sqrt{k_4} \right) \quad \frac{k_4}{k_3} = \frac{w_4}{w_3} \\
 &= \sqrt{\frac{(V_{GS_2} - V_{T_3})^2}{k_1}} \sqrt{k_3} \left( 1 - \frac{\sqrt{k_4}}{\sqrt{k_3}} \right) \\
 \Rightarrow V_{OFF} &= \boxed{\sqrt{\frac{k_3}{k_1} (V_{GS_3} - V_{T_3})} \left( 1 - \sqrt{1+\delta} \right)}
 \end{aligned}$$

c)

$$\frac{V_{T_2} - V_{T_1}}{V_{T_1}} = \delta \rightarrow \frac{V_{T_2}}{V_{T_1}} = 1 + \delta$$

$$\begin{aligned}
 V_{OFF} &= V_{GS_1} - V_{GS_2} = \sqrt{\frac{I_{D1}L_1}{k'_1 w_1}} + V_{T_1} - \left( \sqrt{\frac{I_{D2}L_2}{k'_2 w_2}} + V_{T_2} \right) \\
 V_{OFF} &= (V_{T_1} - V_{T_2}) = V_{T_1} \left( 1 - \frac{V_{T_2}}{V_{T_1}} \right) = V_{T_1} \left( 1 - (1 + \delta) \right)
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{OFF} = V_{T_1} \delta}$$

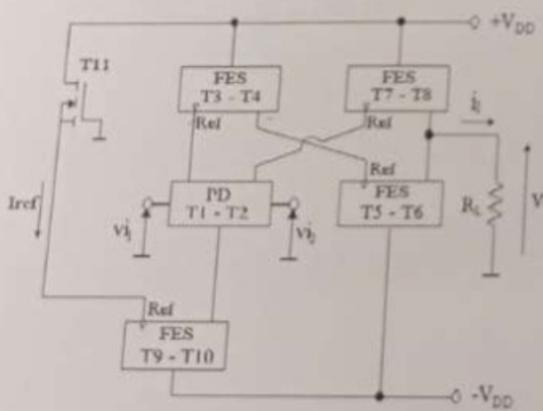
$$V_{OFF_{total}} = \delta V_{T_1} + \sqrt{\frac{K_3}{K_1}} (V_{G_{S3}} - V_{T_3}) \left( 1 - \sqrt{1+\delta} \right) \\ + \sqrt{\frac{I_D L}{K' W_1}} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+\delta}} \right)$$

¿ Por que estos desplazamientos afectan de forma importante a  $A_{VC}$  y no a  $A_{vd}$ ?

And?

El objetivo de estos circuitos es amplificar la señal útil (la diferencial), mientras mata a la continua (comunes). Si intenta hacerlo eliminando lo mas posible las señales comunes por eso el tener desplazamientos,  $A_{VC}$  aumenta. Mientras que la ganancia diferencial mantiene de tanta importancia a la simetría de los nodos.

**FES:** Fuente Espejo Simple – **PD:** Par Diferencial. Todos los MOSFET son inducidos (canal **N** ó **P** según corresponda).  $\pm V_{DD} = \pm 6V$ ,  $|V_T| = 2V$ ;  $|K'| = 100\mu A/V^2$ ;  $W/L = 2$ ;  $\lambda = 0,01 1/V$ ;  $R_L = 10K\Omega$ .



a) Para  $v_{i1} = v_{i2} = 0$ , hallar todas las tensiones y corrientes de reposo del circuito, incluyendo  $I_{LQ}$ . Despreciar la corrección de  $I_{DQ}$  por el  $\lambda$ .

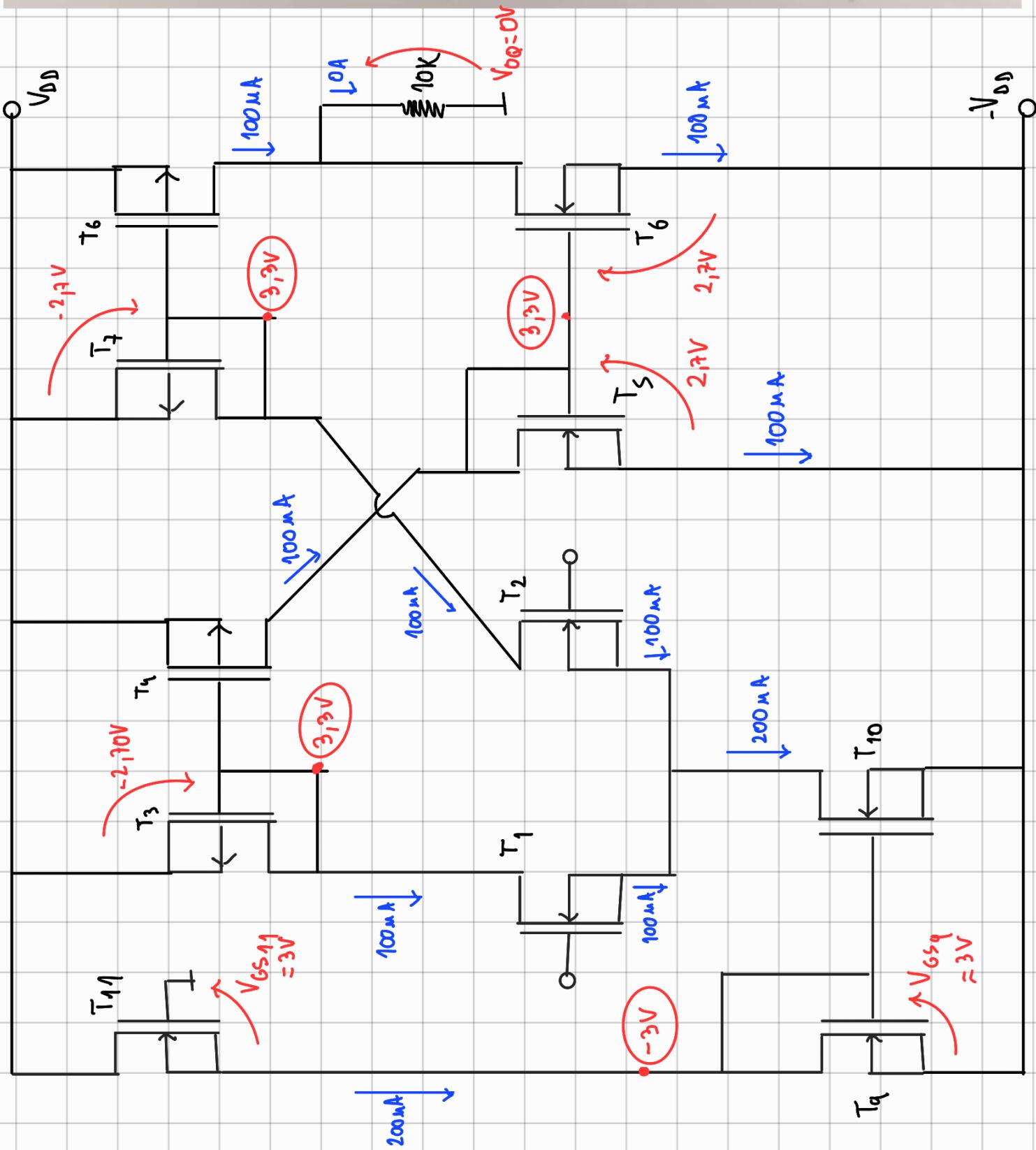
b) Hallar las expresiones y valor de:

$$G_{md} = i_L/v_{id} |_{v_o=0}$$

$$G_{mc} = i_L/v_{ic} |_{v_o=0}$$

Definir y hallar la expresión de la  $R_o$  vista por la carga. Obtener su valor. Obtener  $A_{vd} = v_o/v_{id}$ .

c) Definir y hallar el rango de tensión de modo común.



b)

$$V_{DD} = 6V; |V_T| = 2V; |K'| = 100 \frac{\mu A}{V^2}; \frac{W}{L} = 2; \lambda = 0,01 V^{-1}; R_L = 10k$$

○ Empezamos por la recta de los iguales:  $T_{11} = T_2$  y  $I_{D11} = I_{D21}$ , por lo tanto:

$$-6V + V_{GSq} + V_{GS11} = 0 \quad \text{y} \quad V_{GSq} = V_{GS11}$$

$$\rightarrow V_{GSq} = V_{GS11} = 3V$$

$$\circ I_{REF} = I_{D11} = I_{Dq} = K' \frac{W}{L} (V_{GSq} - V_T)^2 = 100 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 2 (3V - 2V)^2 = 200 \mu A$$

$$\circ \text{Zodos los } \frac{W}{L} \text{ son iguales} \rightarrow I_{D10} = I_{Dq} = 200 \mu A$$

$$\circ \text{Como } T_1 = T_2 \text{ y ambas rectas son iguales} \rightarrow I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_{10}}{2} = 100 \mu A$$

$$\circ \text{Para determinar } V_{GS1} = V_{GS2} = \pm \sqrt{\frac{I_{D2}}{K' \frac{W}{L}}} + V_T = \pm \sqrt{\frac{100 \mu A}{100 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 2}} + 2V$$

2,7V > V<sub>T</sub>  
-1,3V

$$\circ \text{Para } T_3 = T_4 \text{ y } I_{D3} = I_{D4} \text{ vale lo mismo (cond P + } V_T = -2V)$$

$$V_{GS3} = V_{GS4} = \pm \sqrt{\frac{I_{D3}}{K' \frac{W}{L}}} + V_T = \pm \sqrt{\frac{100 \mu A}{100 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 2}} - 2V$$

-2,70 < V<sub>T</sub>  
-1,3V

$$\Rightarrow V_{OQ} = 0V$$

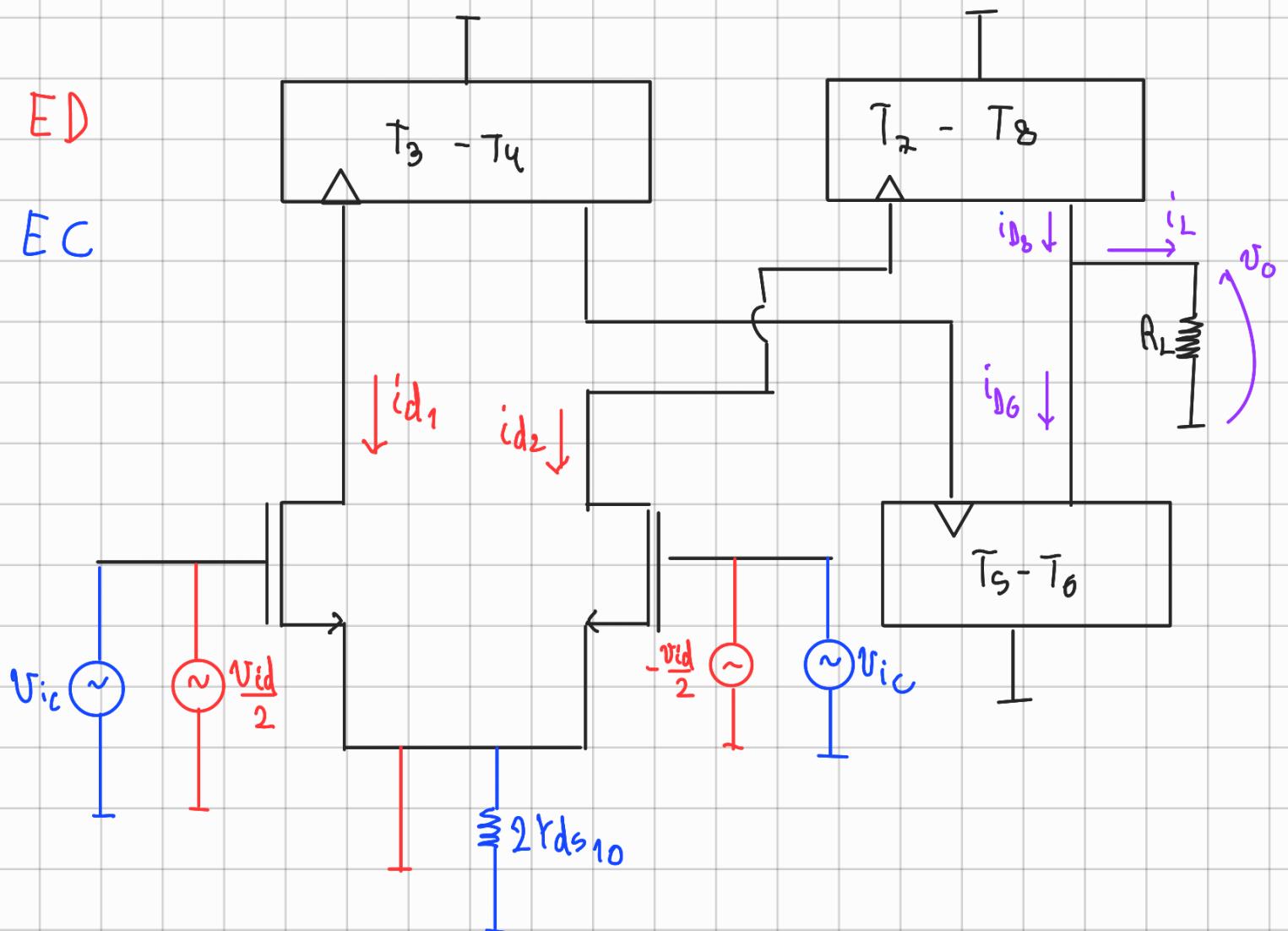
6)

$$G_{md} = \frac{i_L}{V_{id}} \Big|_{V_0=0}$$

$$r_{ds10} = \frac{1}{\lambda I_{D10}} = \frac{100V}{200\mu A} = 500\Omega$$

$$G_{mc} = \frac{i_L}{V_{ic}} \Big|_{V_0=0}$$

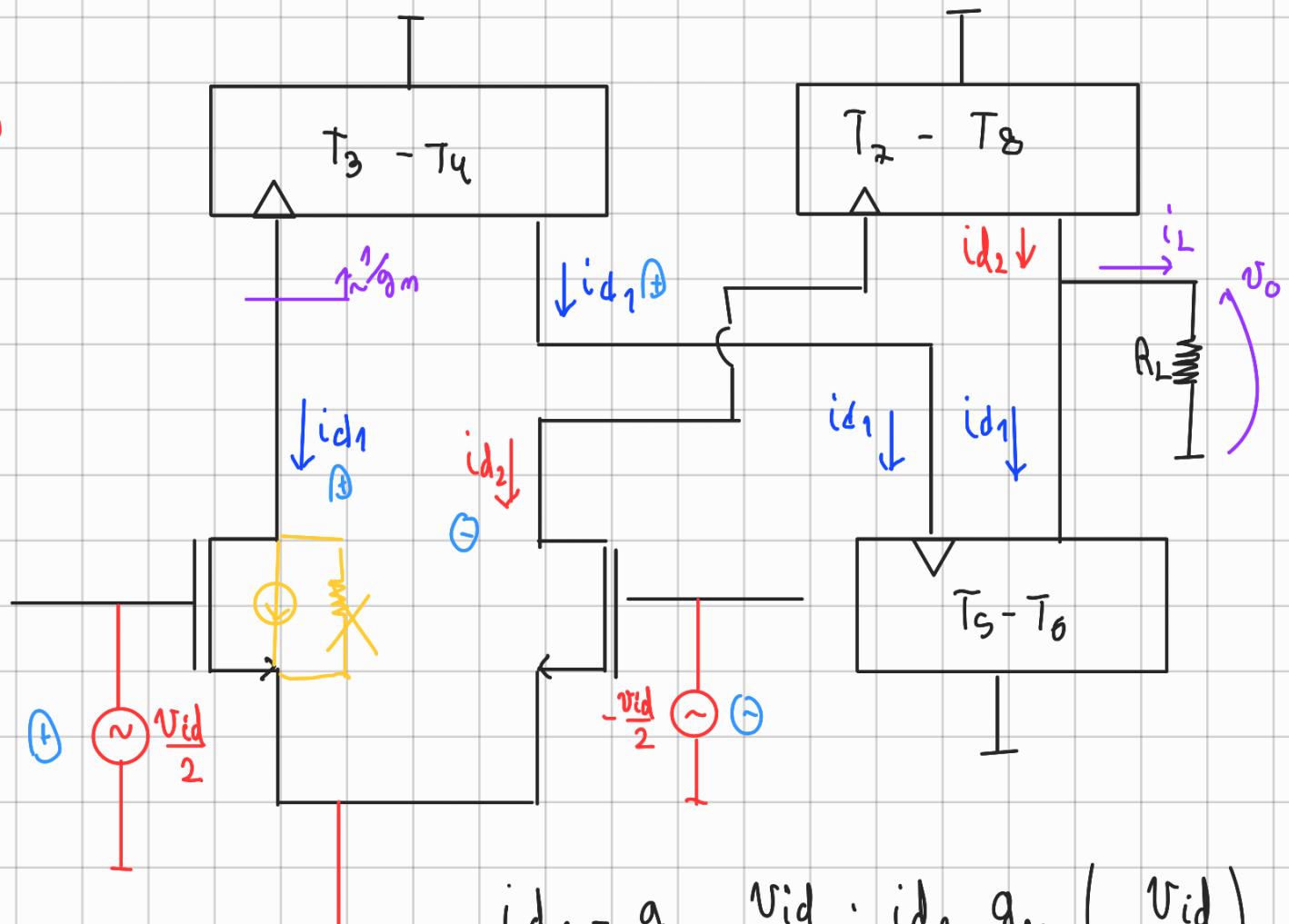
$$g_{m1} = g_{m2} = \sqrt{4KI_D} = \sqrt{4 \cdot 200\mu A \cdot 100mA} = 0,28mA/V$$



$$g_{m1} = g_{m2} = g_m$$

○ Entrada Diferencial

ED



$$i_{d1} = g_{m1} \frac{V_{id}}{2}; i_{d2} = g_{m2} \left( -\frac{V_{id}}{2} \right)$$

$$i_L = i_{d2} - i_{d1} = -g_{m1} \frac{V_{id}}{2} - g_{m2} \frac{V_{id}}{2}$$

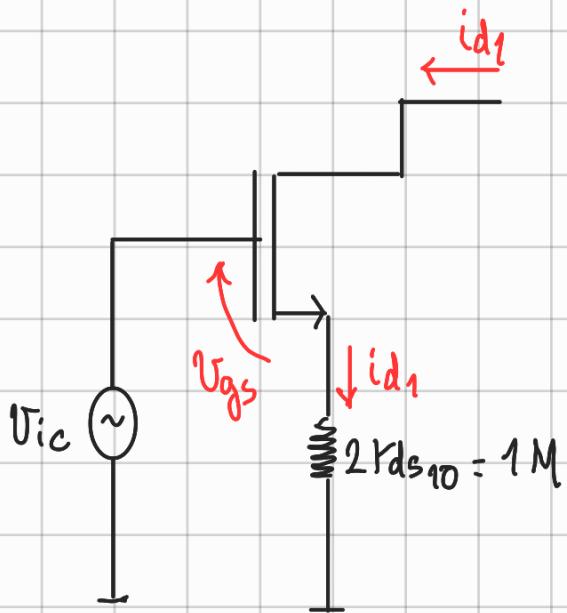
$$g_{m1} - g_{m2} = -g_m V_{id}$$

$$G_{md} = \frac{i_L}{V_{id}} = -g_m$$

$\Rightarrow$

$$G_{md} = -0,28 \frac{mA}{V}$$

○ Enthode commun :



$$\circ i_{d_1} = g_m \cdot v_{gs}$$

$$\circ V_{ic} = V_{gs} + i_{d_1} \cdot 1.M = V_{gs} + 1M \cdot g_m \cdot V_{gs}$$

$$V_{gs} = \frac{V_{ic}}{1 + 1M \cdot g_m}$$

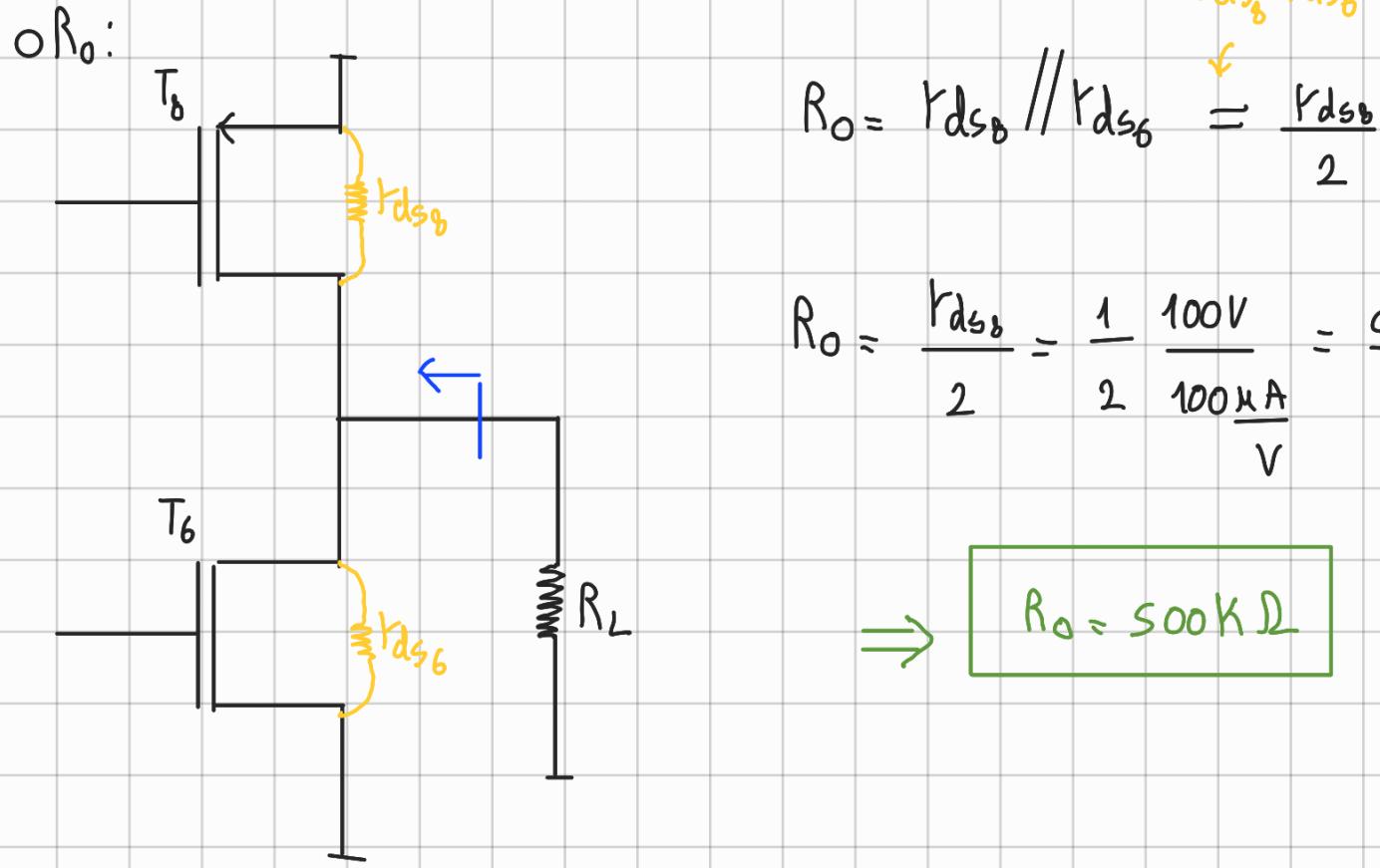
$$\circ i_{d_1} = g_m \cdot \frac{V_{ic}}{1 + 1M \cdot g_m} = i_{d_2}$$

$$\circ i_{d_7} = i_{d_8} = i_{d_2} = \frac{V_{ic}}{1 + 1M \cdot g_m}$$

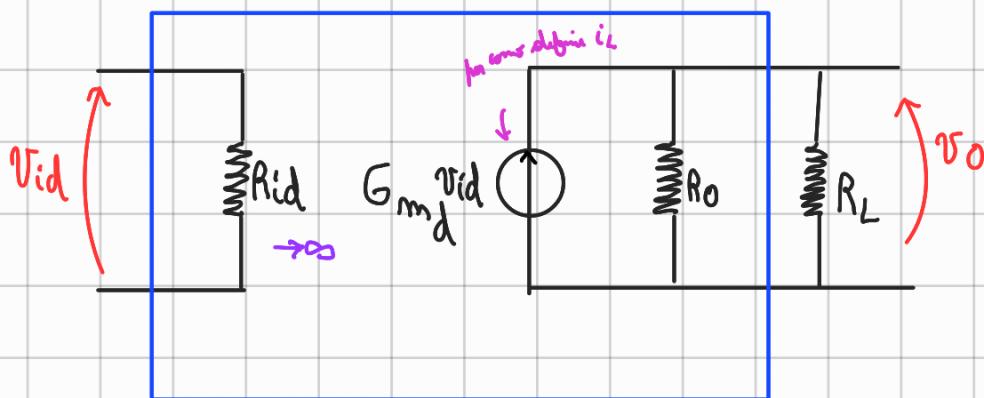
$$\circ i_{d_6} = i_{d_5} = i_{d_4} = i_{d_3} = i_{d_1} = \frac{V_{ic}}{1 + 1M \cdot g_m}$$

$$\circ i_L = i_{d_8} - i_{d_6} = 0$$

$$\Rightarrow G_{mc} = 0$$



o  $A_{vd}$ :



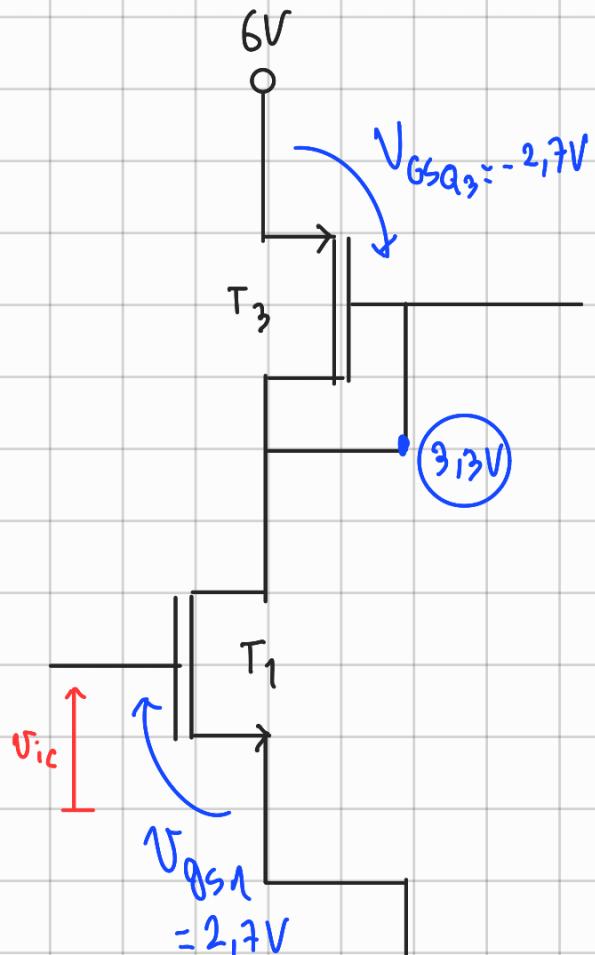
$$A_{vd} = \frac{V_o}{V_{id}} = \frac{i_L (R_L // R_o)}{V_{id}} = -g_m R_L // R_o$$

$$= -0,28 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \cdot (10\text{k} // 500\text{k}) = -2,744$$

$$A_{vd} \approx -2,74$$

C)

Rango de tensión del modo común



o Saturación de T<sub>10</sub>

$$V_{DS10} > V_{DS\text{sat}} = V_{GS10Q} - 2V = 1V$$

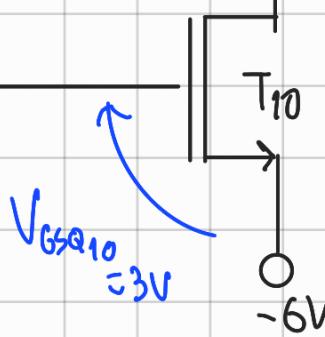
$$V_{D10} - V_{S10} > 1V$$

$$(V_{ic} - V_{GS10}) - (-6V) > 1$$

$$V_{ic} - 2.7V > -5$$

$$V_{ic} > -2.3V$$

o Saturación de T<sub>1</sub>:



$$V_{DS1} > V_{GSQ1} - V_T = 0.7V$$

$$V_{D10} - (V_{ic} - V_{GS10}) > 0.7V$$

$$V_{ic} < -0.7V + V_{D10} + V_{GS10}$$

$$V_{ic} < -0.7V + 3.3V + 2.7V = 5.3V$$

$\Rightarrow$

$RMC: -2.3V < V_{ic} < 5.3V$