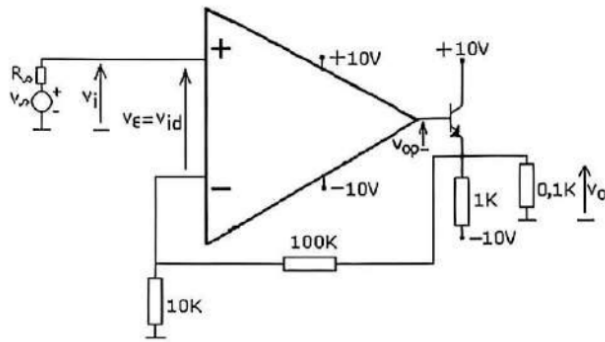


1. El OPAMP tiene entrada diferencial MOSFET, con  $A_{vd} = v_{op}/v_{id} = 10^4$ .  $\beta = 100$



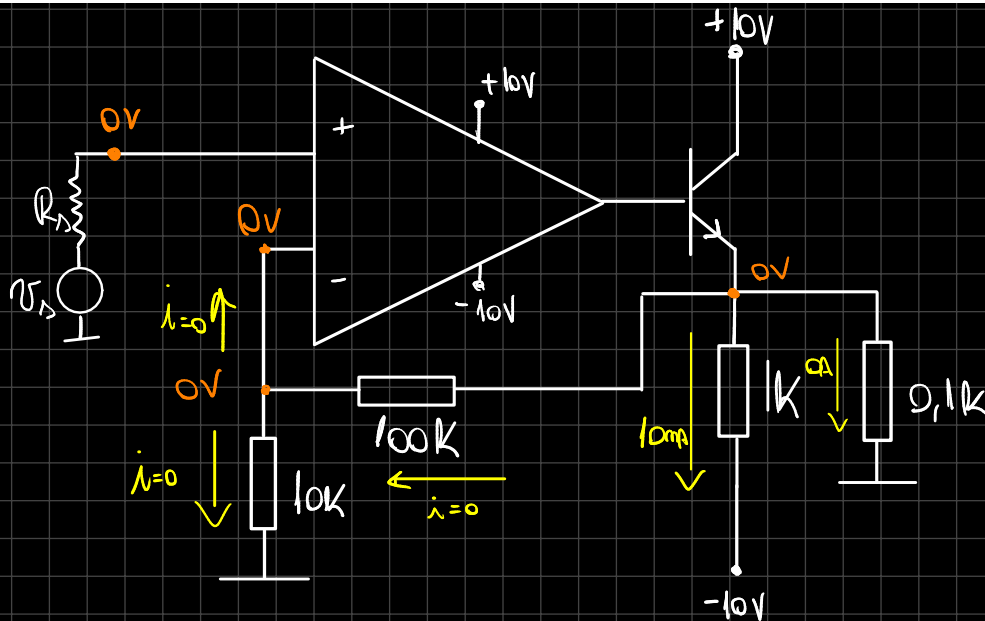
a) Obtener el valor de  $V_{OQ}$ . ¿Qué función cumple el TBJ en este circuito?

b) Analizar el lazo de realimentación entre la carga y la entrada del OPAMP. ¿Es positiva o negativa?. Justificar. ¿Qué muestra y qué suma?. Identificar los distintos bloques que conforman el sistema realimentado ( $A_o$ ,  $k_f$ , generador y carga)

c) ¿Cuál es el valor de la ganancia de lazo  $A_o k_f = T$  para este circuito?

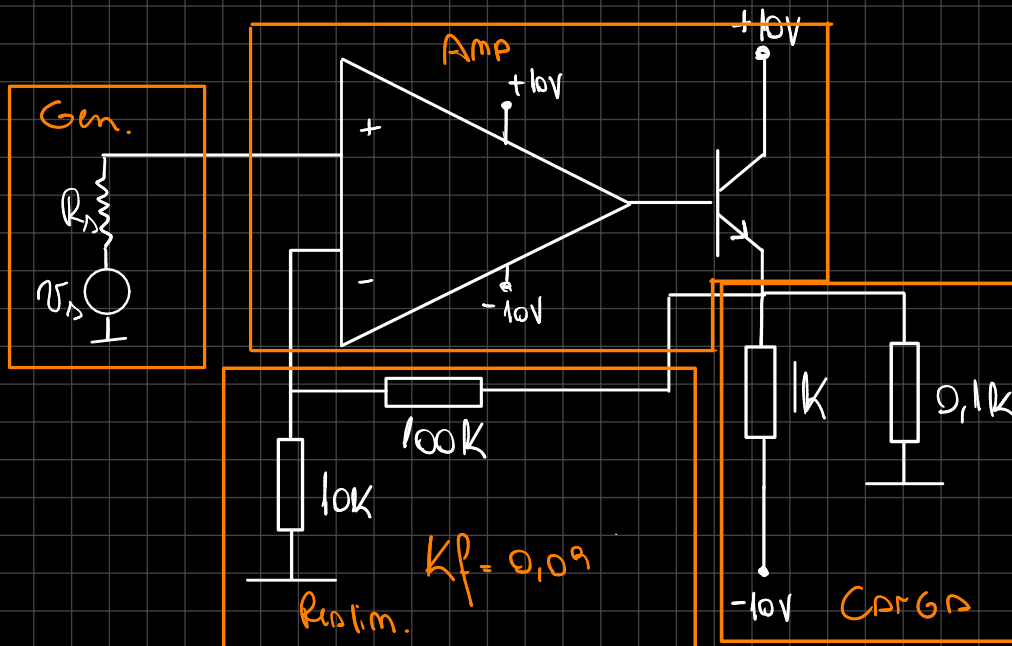
De acuerdo con esto, ¿cuál es el valor aproximado de  $A_v = v_o/v_i$ ?

a)



El TBJ es un seguidor, para Adaptar Impedancias

b)

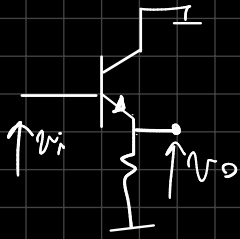


Es Realimentación negativa, ya que entra por la Entrada Inversora

Muestra Tensión y Suma Tensión

Ganancia del Seguidor:  $g_m = \frac{I_{0mA}}{25m} = 400 \frac{mA}{V}$ 
 $r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = 250 \Omega$

$r_o = \infty$



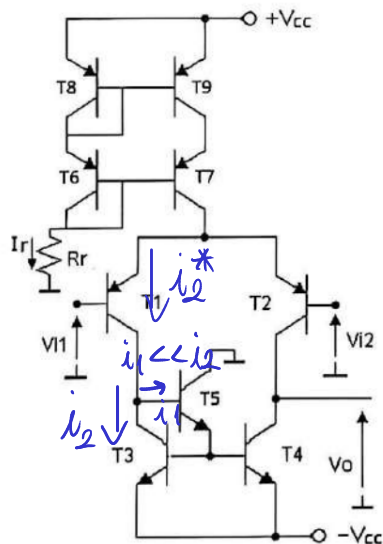
$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{g_m r_{be} r_{ea}}{r_{be} + g_m r_{be} r_{ea}} = \frac{g_m 1k \parallel 0,1k}{1 + g_m 1k \parallel 0,1k} = 0,97$$

$$A_o = A_{VJ} \cdot 0,97 = 9,7 \times 10^2 \Rightarrow A_o \cdot k_f = 8,73 \times 10^2$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A_o}{1 + A_o k_f} \Rightarrow \approx \frac{1}{k_f} = 11,11$$

2.-. Los transistores se encuentran apareados

( $\beta = 100$  ;  $V_A = 100$  V ;  $f_T = 200$  MHz ;  $C_{\mu} = 1$  pF ;  $r_x \approx 0$  ;  $|V_{CC}| = 10$  V ;  $R_r = 10$  K $\Omega$ ).



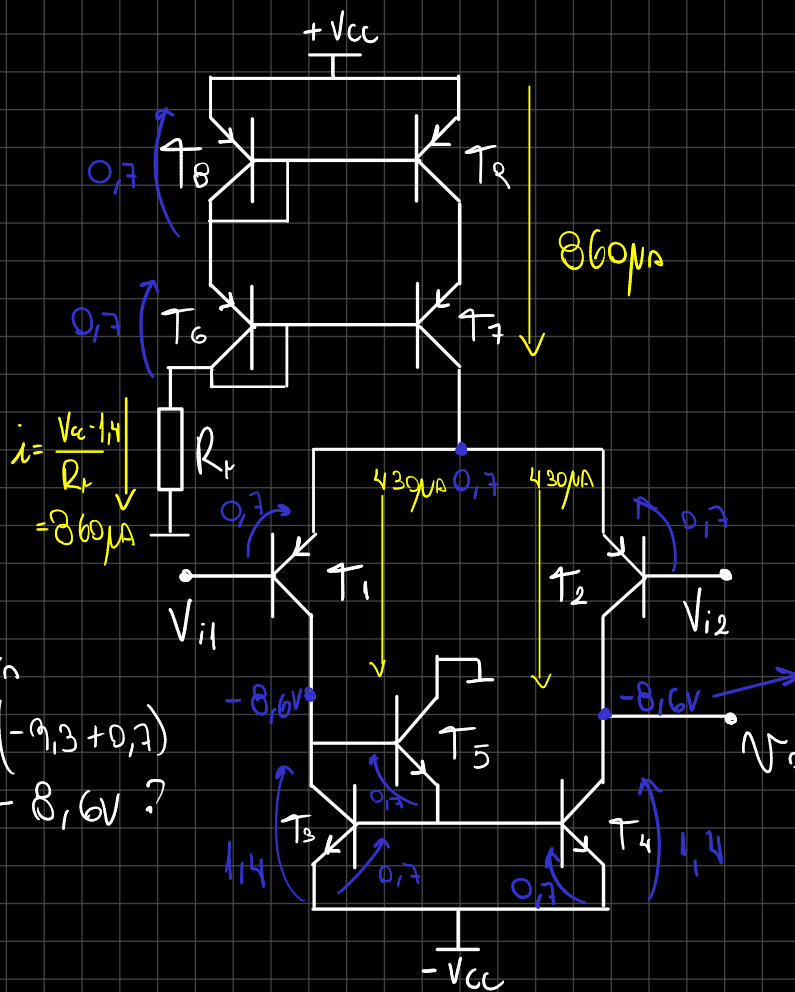
a) Justificar cualitativamente:

- El valor de la tensión de salida  $V_o$  del amplificador en reposo ( $V_{oQ}$ ).
- ¿Cómo influye en el valor de la RRMC el polarizar con una fuente cascode en lugar de una espejo simple?.
- ¿Cómo influye en el balance de corrientes la carga T3-T4-T5, en lugar de una espejo simple?

b) Obtener el valor de la corriente de offset  $I_{off}$  si existe un desapareamiento  $\delta < 5\%$  entre  $\beta_1$  y  $\beta_2$ .

c) Calcular el rango de tensión de modo común.

d) Obtener el valor de la constante de tiempo asociada al terminal de salida. Justificar cualitativamente si puede considerarse dominante para la respuesta en alta frecuencia de  $A_{v_d}$  o debe analizarse otra constante de tiempo potencialmente importante.



Porque considero que los transistores estan bien apareados y les circula la misma corriente.

b)

$$\beta_1 = 0,05\beta_2$$

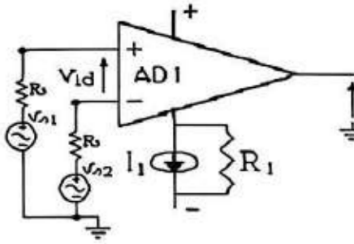
$$I_{B1} - I_{B2} = I_{off}$$

$$I_{c1} = I_{c2}$$

$$I_{off} = \frac{I_{c1}}{\beta_1} - \frac{I_{c2}}{\beta_2} = \frac{I_{c1}}{\beta_1} - \frac{I_{c2}}{\beta_2} = \frac{I_{c1}}{0,05\beta_2} - \frac{I_{c2}}{\beta_2} = I_{c1} \left( \frac{1}{0,05\beta_2} - \frac{1}{\beta_2} \right) = I_{off}$$

$$I_{off} = \pm 200nA$$

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:

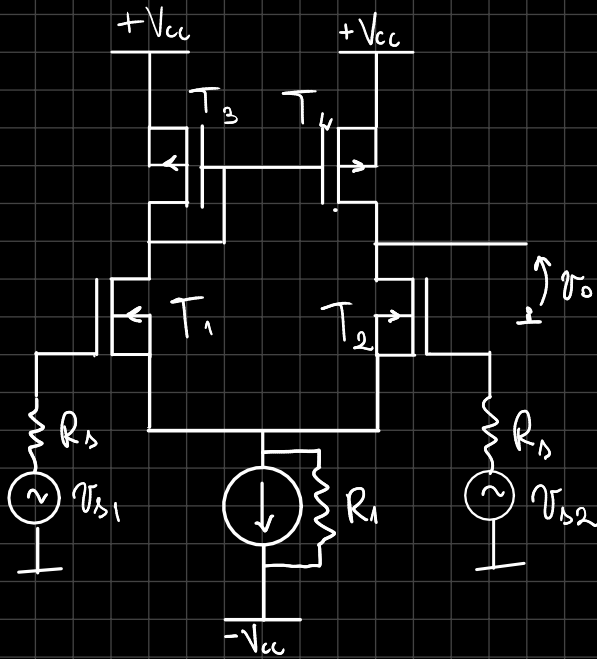


a)  $100 \cdot |W_2 - W_1| / W_1 = \delta$ , donde  $0 < \delta < 3\%$ .

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 (Despreñar para este ítem, la influencia de  $R_1$ ). Justificar por qué en señal los desapareamientos afectan en forma importante a  $A_{vc}$  y no a  $A_{vd}$ .



$$I_{d1} = \frac{W_1}{L_1} K'_1 (V_{GS1} - V_{T1})^2$$

$$I_{d2} = \frac{W_2}{L_2} K'_2 (V_{GS2} - V_{T2})^2$$

$$L_1 = L_2 \quad K'_1 = K'_2 \quad V_{T1} = V_{T2}$$

$$W_1 (V_{GS1} - V_{T1})^2 = W_2 (V_{GS2} - V_{T2})^2$$

$$V_{off} = V_{GS1} - V_{GS2} \Rightarrow V_{GS1} = V_{off} + V_{GS2}$$

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

$$\sqrt{\frac{I_D L}{W K}} + V_T = V_{GS}$$

MOS casu N

$$V_{off} = \sqrt{\frac{I_{D1} L_1}{W_1 K}} + V_T - \sqrt{\frac{I_{D2} L_2}{W_2 K}} - V_T$$

$$V_{off} = \sqrt{\frac{I L}{K}} \left( \frac{1}{\sqrt{W_1}} - \frac{1}{\sqrt{W_2}} \right)$$

$$W_1 = 1.03 W_2$$

$$a) 0 < V_{off} < \sqrt{\frac{I L}{K}} \left( \frac{1}{\sqrt{1.03 W_2}} - \frac{1}{\sqrt{W_2}} \right)$$

$$0 < V_{off} < \sqrt{\frac{I L}{W_2 K}} \left( \frac{1}{\sqrt{1.03}} - 1 \right)$$

b) Lo mismo, solo que  $I_1 = I_3$  e  $I_2 = I_4$

$$0 < V_{off} < \sqrt{\frac{I_1}{W_4 K}} \left( \frac{1}{\sqrt{1,03}} - 1 \right)$$

$$c) V_{off} = \sqrt{\frac{I_{D1} L_1}{W_1 K_1}} + V_{T1} - \sqrt{\frac{I_{D2} L_2}{W_2 K_2}} - V_{T2}$$

$$\begin{array}{ll} I_{D1} = I_{D2} & L_1 = L_2 \\ W_1 = W_2 & K_1 = K_2 \end{array}$$

$$V_{off} = V_{T1} - V_{T2}$$

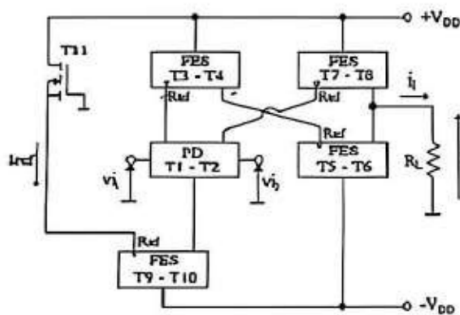
$$V_{T2} = 1,03 V_{T1}$$

$$V_{off} = V_{T1} (1 - 1,03) = -0,03 V_{T2}$$

$$D) V_{off\_TOTAL} = V_{off\_a} + V_{off\_b} + V_{off\_c}$$

la voff afecta más en Avc porque tengo una entrada comun, al desaparearme me rompe el corto virtual y el poder considerar la fuente de corriente con ""hemicircuitos""

**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  $\lambda$ .

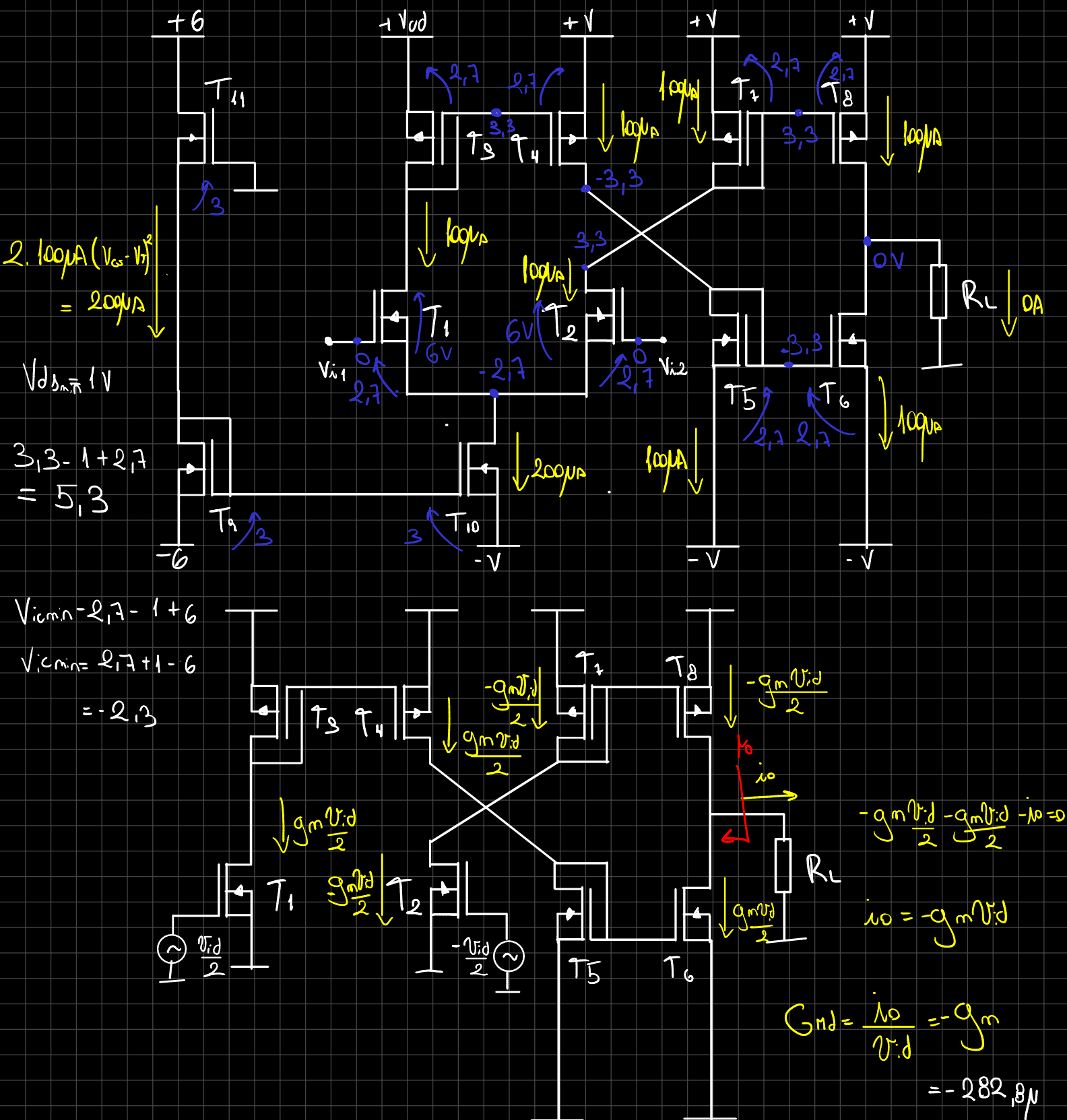
b) Hallar las expresiones y valor de:

$$G_{md} = I_t / V_{id} \quad |v_{o=0}$$

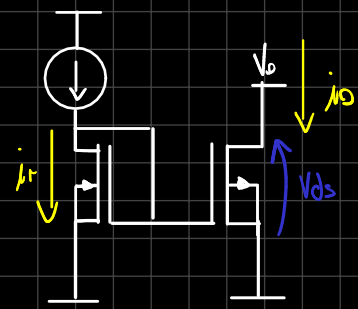
$$G_{mc} = I_t / V_{ic} \quad |v_{o=0}$$

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

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

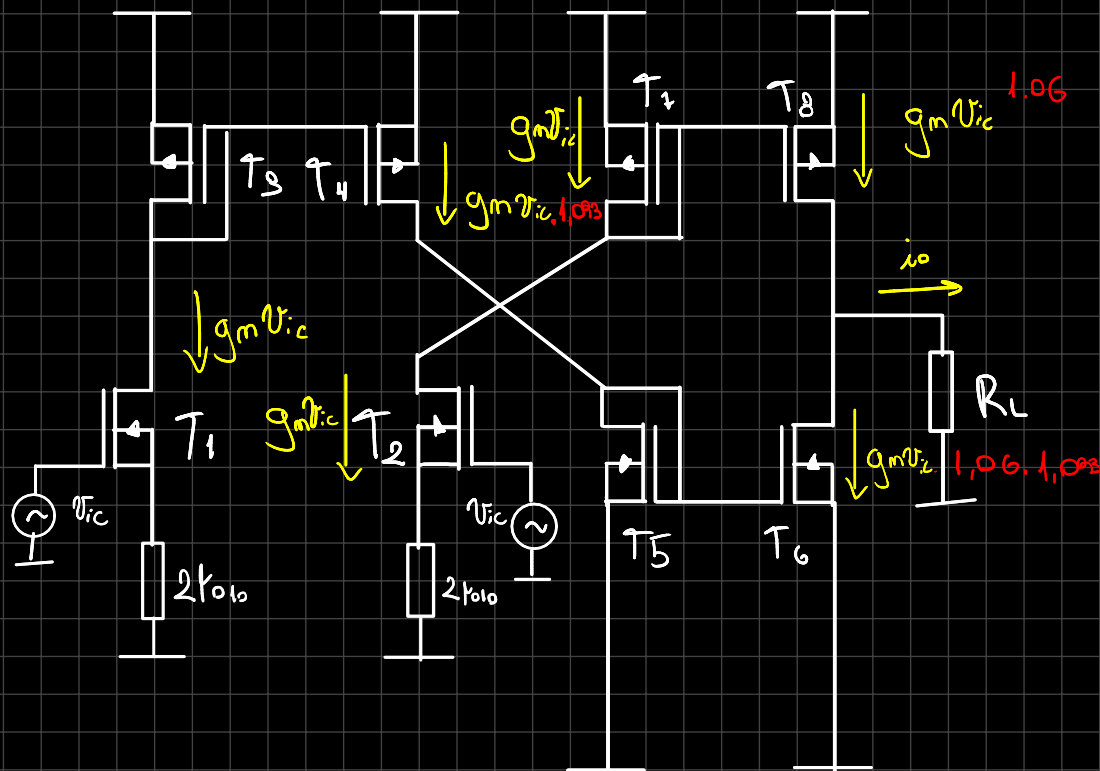


Factor de Copia  
Teniendo en cuenta  
EmLC



$$i_o = i_r (1 + \lambda V_{DS})$$

$$\frac{i_o}{i_r} = (1 + \lambda V_{DS})$$



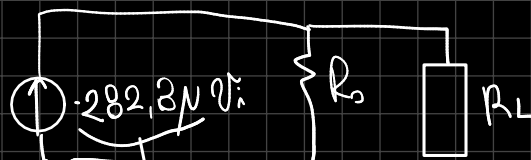
$$\frac{i_d \cdot 1,06 - i_d \cdot 1,06 \cdot 1,093}{i_d 2k_{o10} + V_{DS}} = \frac{i_o}{V_{ic}}$$

$$RRMC = \frac{G_{md}}{G_{mc}}$$

$$\frac{1,06 - 1,06 \cdot 1,093}{2k_{o10} + \frac{V_{DS}}{i_d}} = \frac{1,06 - 1,06 \cdot 1,093}{\frac{2k_{o10}}{500k} + \frac{1}{g_m}} = 1,093n$$

$$\frac{282,8\mu}{1,093n} = 108dB$$

$$R_o = R_{DS8} // R_{DS6} = 1M // 1M = 500k$$

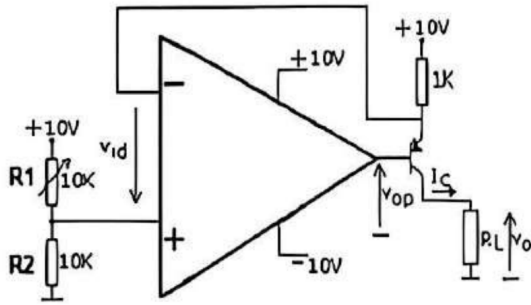


Uso  $G_{md}$  por el alto  $RRMC$

$$A_{vd} = G_{md} \cdot R_o / R_L = G_{md} \cdot 9,8k = -2,77$$

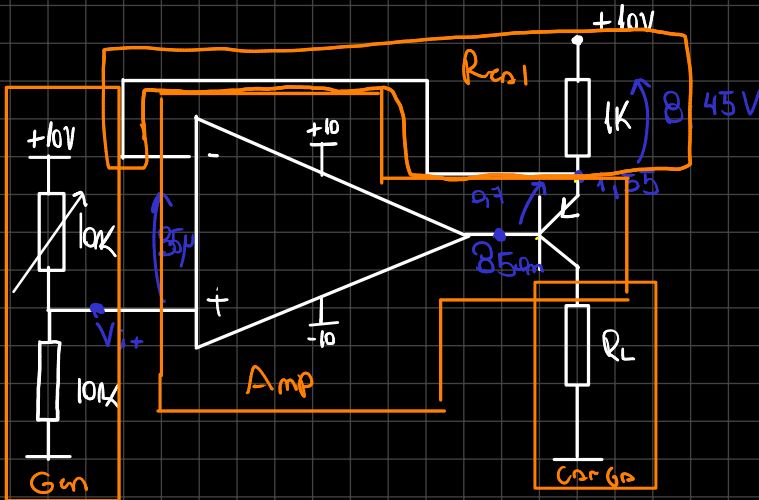
# Rango de Modo Común $+5,3$ y $-2,3$

1. El OPAMP tiene una etapa de entrada diferencial MOS, con  $A_{vd} = v_{od}/v_{id} = 10^4$ ,  $\beta = 100$ ;  $R_L = 100\Omega$



a) Obtener el valor de  $I_{CQ}$ . ¿Qué función cumple el TBJ en este circuito? ¿Entre que valores puede variar  $R_1$  manteniendo el TBJ en MAD?

b) Analizar el lazo de realimentación entre el TBJ y la entrada del OPAMP. ¿Es positiva o negativa? Justificar. ¿Qué mueve y qué suma? Identificar los distintos bloques que conforman el sistema realimentado ( $A_o$ ,  $k$ , generador y carga).



$$\frac{10V - 0,7}{1,1K} = 8,45m$$

$$V_{i+} = \frac{10 \cdot 10K}{10K + R_v}$$

$$V_{i+}(10K + R_v) = 10 \cdot 10K$$

$$R_v = \frac{10 \cdot 10K - V_{i+} 10K}{V_{i+}}$$

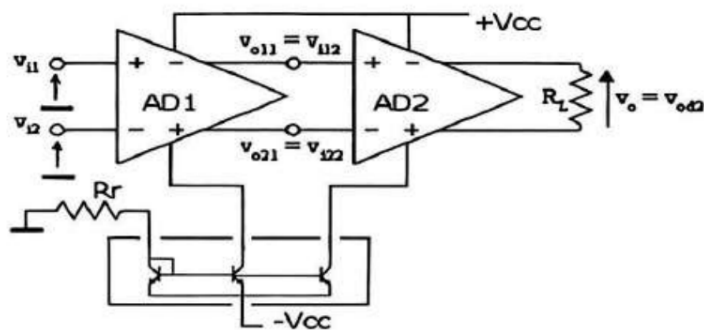
$$R_v = 54,5K$$



$V_{CC} = 10V$  ;  $R_L = 100\text{ K}\Omega$  ;  $R_r = 10\text{ K}\Omega$

AD1: Par diferencial NMOSFET  $T_1=T_2$  con  $R_{O1} = R_{O2} = 15\text{ K}\Omega$

AD2: Par diferencial NMOSFET  $T_3=T_4$  con  $R_{O3} = R_{O4} = 10\text{ K}\Omega$



a) Dibujar el circuito reemplazando los AD por los MOSFETs y sus  $R_o$  y obtener las tensiones y corrientes de reposo.

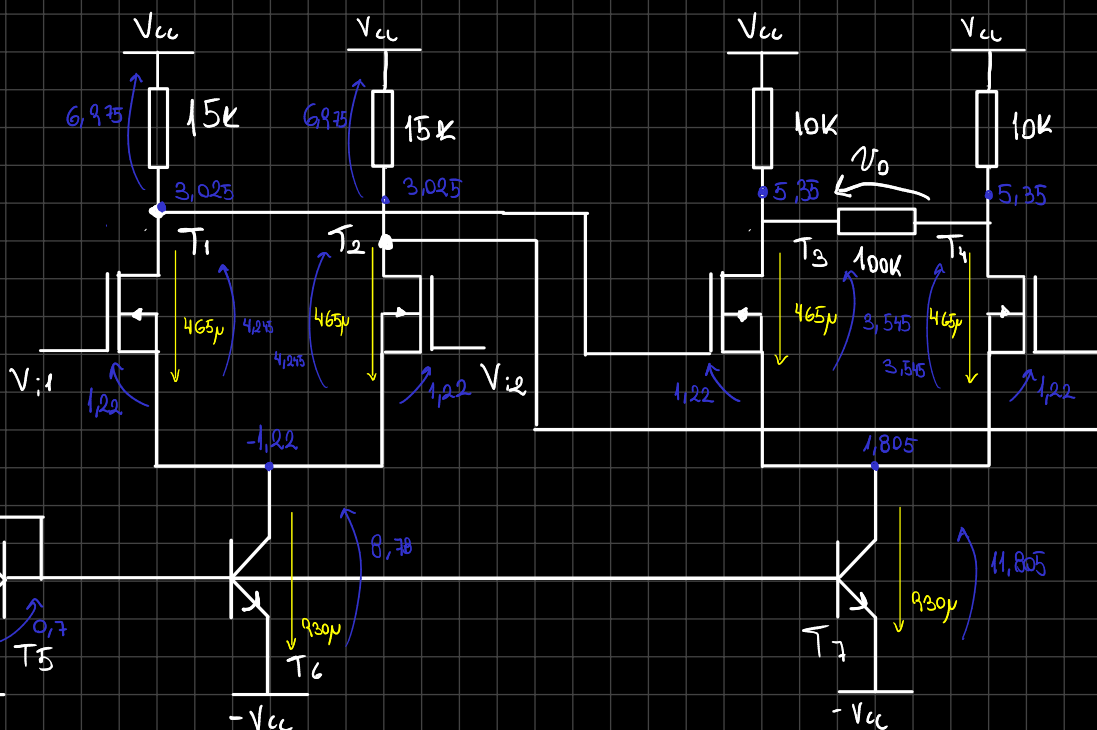
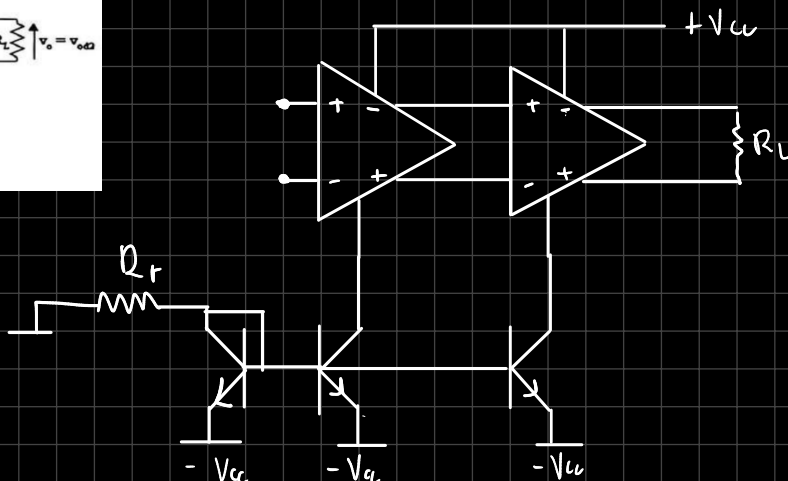
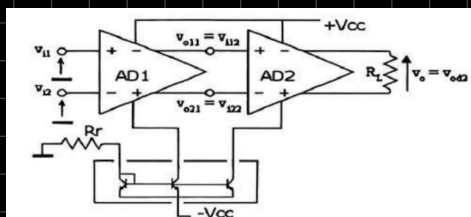
( $\beta = 100$ ;  $V_A = 100V$ ;  $k' = 1\text{ mA/V}^2$ ;  $W/L = 10$ ;  $V_T = 1V$ ;  $C_{gs} = 5\text{ pF}$ ;  $C_{gd} = 1\text{ pF}$ ;  $\lambda = 0,01\text{ V}^{-1}$ )

b) Calcular  $A_{v_{dd}} = v_o/v_{id}$  ( $v_{id} = v_{i1} - v_{i2}$ ). Justificar el valor que se tendría en  $A_{v_{dc}} = v_o/v_{ic}$  Y por qué dependerá fuertemente de los desapareamientos y de la  $R_o$  de la fuente de corriente. Si existen desapareamientos y se quisiera una RRMC lo más elevada posible, justificar cuál de los dos AD debería tener desapareamientos más bajos.

c) Obtener la frecuencia de corte superior aproximada  $f_h$  para  $A_{v_{dd}}$ . Trazar el diagrama de Bode aproximado de módulo y argumento.

d) Si  $v_{id} = v_{i1} - v_{i2}$  corresponde a una señal cuadrada de  $\pm 1\text{ mV}$  y frecuencia  $f_{in}/2$ , dibujar la correspondiente  $v_o = f(t)$ , indicando valores extremos y medio.

e) Calcular la  $V_{offset}$  total si en ambos pares existe un desapareamiento entre las  $W$  del 2%.



$$\frac{10\text{ mA}}{V} (V_{GS} - V_T)^2 = I_D$$

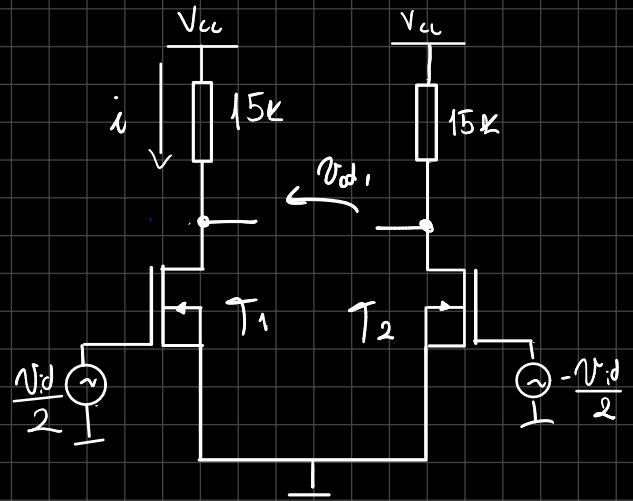
$$\sqrt{\frac{I_D}{\frac{10\text{ mA}}{V}}} + V_T = V_{GS}$$

$$A_{V_{dd}} = \frac{V_o}{V_{i,d}}$$

$$g_m = 4,31 \text{ m}$$

$$V_{od1} = -\frac{V_{i,d}}{2} g_m 15k - \left( -\frac{V_{i,d}}{2} g_m \right) 15k$$

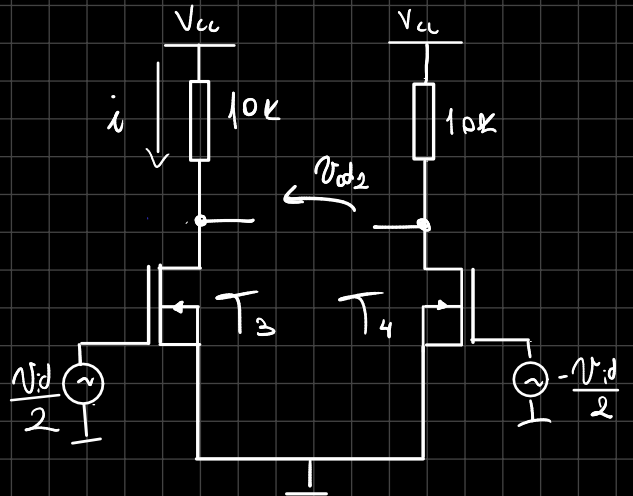
$$A_{V_{dd1}} = \frac{V_{od1}}{V_{i,d}} = -\frac{V_{i,d} g_m 15k}{V_{i,d}} = -g_m 15k$$



$$A_{V_{dd2}} = \frac{V_{od2}}{V_{i,d}}$$

$$V_{od2} = -g_m \frac{V_{i,d}}{2} 10k - \left( -g_m \frac{V_{i,d}}{2} 10k \right)$$

$$\frac{V_{od2}}{V_{i,d}} = -\frac{g_m V_{i,d} 10k}{V_{i,d}} = -g_m 10k$$



$$\frac{V_o}{V_{i,d}} = g_m^2 \cdot 10k \cdot 15k = 2,79 K$$