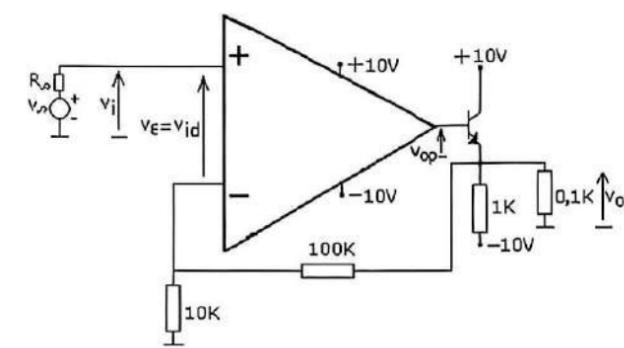


1. El OPAMP tiene entrada diferencial MOSFET, con $A_{vd} = v_{op}/v_{id} = 10^4$. $\beta = 100$



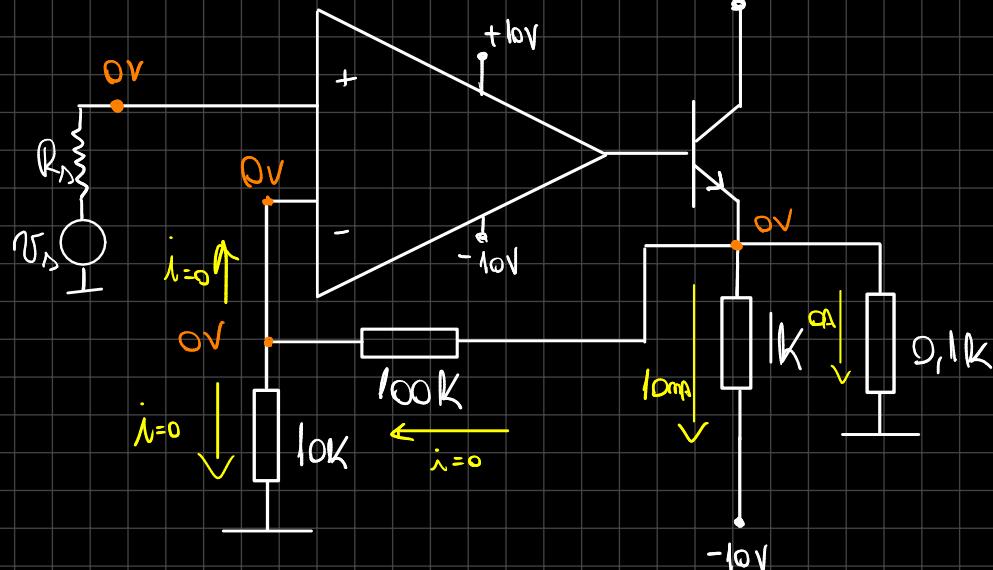
a) Obtener el valor de V_{oq} . ¿Qué función cumple el TBJ en este circuito?

b) Analizar el lazo de realimentación entre la carga y la entrada del OPAMP. ¿Es positiva o negativa?. Justificar. ¿Qué muestrea y qué suma?. Identificar los distintos bloques que conforman el sistema realimentado (A_0 , k_f , generador y carga)

c) ¿Cuál es el valor de la ganancia de lazo $A_0 k_f = T$ para este circuito?

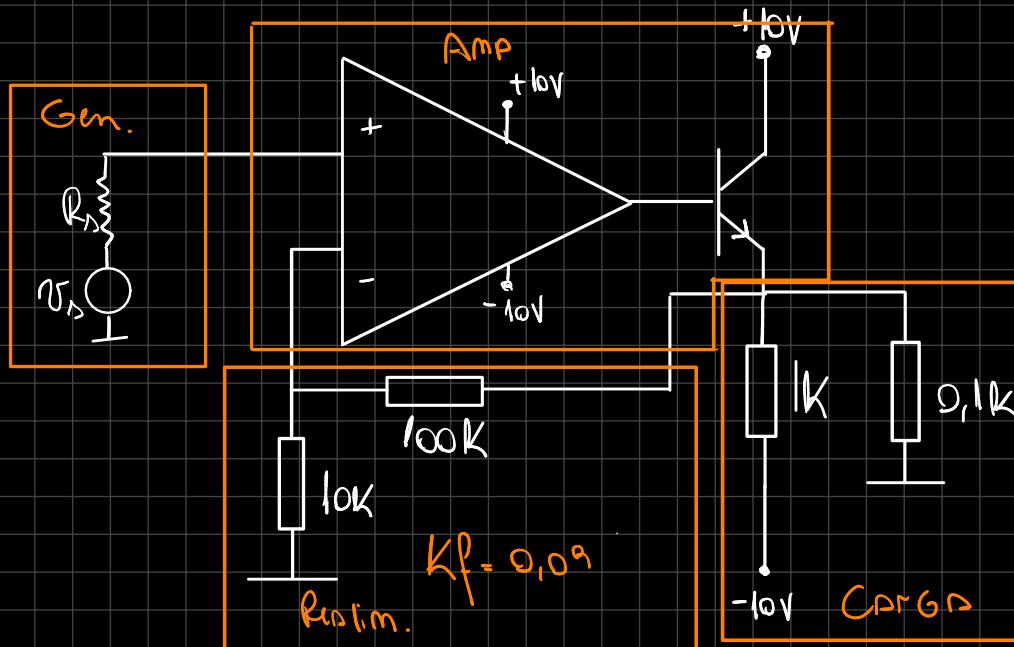
De acuerdo con esto, ¿cuál es el valor aproximado de $A_v = v_o/v_i$?

a)



El TBJ es un seguidor, para adaptar impedancias

b)

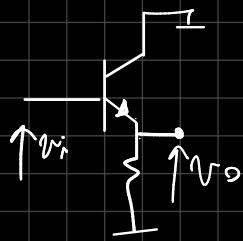


Es Realimentación negativa, ya que entra por la Entrada Inversora

Muestra Tensión y Suma Tensión

Generador del Seguidor: $g_m = \frac{10\text{mA}}{25\text{mV}} = 400 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$ $k_T = \frac{\beta}{g_m} = 250 \Omega$

$t_0 = \infty$



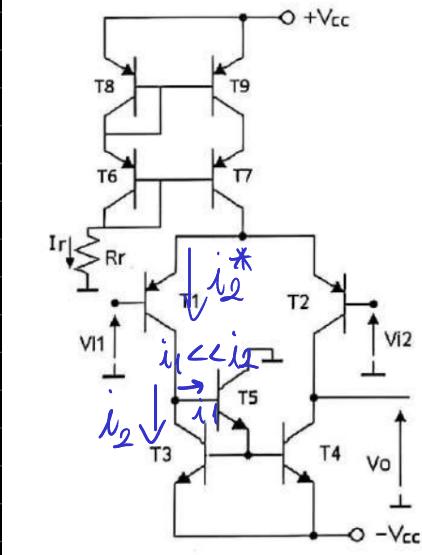
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{g_m V_{be} k_T}{V_{be} + g_m V_{be} k_T} = \frac{g_m k_T |I_C|_0 / k_T}{1 + g_m k_T |I_C|_0 / k_T} = 0,97$$

$A_o = A V_J \cdot 0,97 = 9,7 \times 10^2 \Rightarrow A_o \cdot k_f = 8,73 \times 10^2$

$\Delta V_r = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A_o}{1 + A_o k_f} \Rightarrow \approx \frac{1}{k_f} = 11,11$

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 Ω).



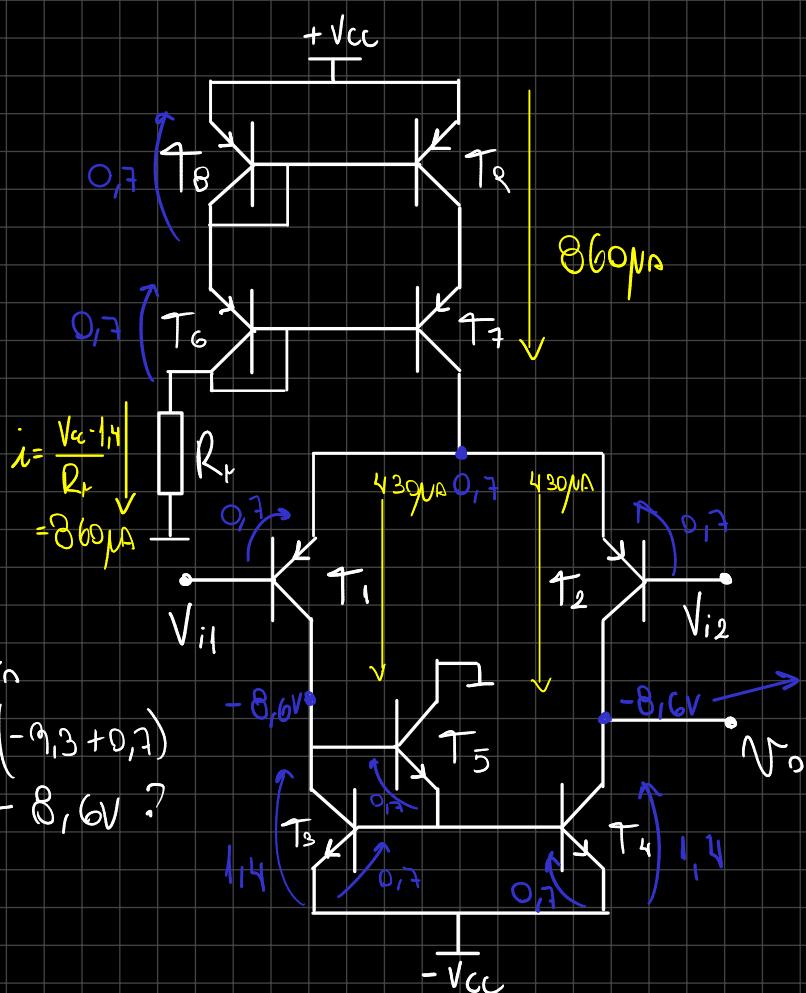
a) Justificar cualitativamente:

- 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 despareamiento $\delta < 5\%$ entre β_1 y β_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_{vd} o debe analizarse otra constante de tiempo potencialmente importante.



Rango Modo Común

$$+7,9V - (-9,3 + 0,7) \\ - 8,6V ?$$

Por que Considero
que los Transistors
están bien Apareados
y las cir cuios la
misma Corriente.

b)

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

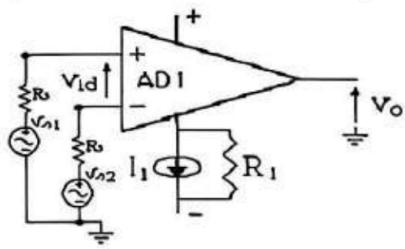
$$I_{B1} - I_{B2} = I_{off}$$

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

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

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

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:



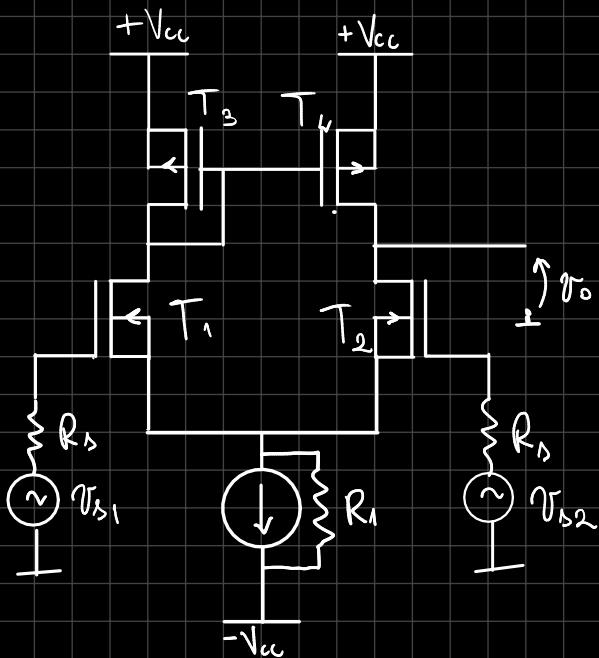
$$a) 100 \cdot |W_2 - W_1| / W_1 = \delta, \text{ donde } 0 < \delta < 3\%.$$

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

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

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_{vc} y no a A_{vd} .



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

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

$$L_1 = L_2 \quad K'_1 = K'_2 \quad V_T = V_T$$

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

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

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

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

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

$$W_1 = 1,03 W_2$$

$$a) 0 < V_{off} < \sqrt{\frac{I L}{K}} \left(\frac{1}{\sqrt{1,03 W_2}} - \frac{1}{\sqrt{W_2}} \right)$$

$$0 < V_{off} < \sqrt{\frac{I L}{W_2 K}} \left(\frac{1}{\sqrt{1,03}} - 1 \right)$$

MOS C PNP N

b) ~~I_0 m.s.mor, solo que $I_1 = I_3$ e $I_2 = I_4$~~

$$0 < V_{off} < \sqrt{\frac{I_0 L}{W_4 K}} \left(\frac{\sqrt{1,03}}{\sqrt{1,03}} - 1 \right)$$

No, $I_1 = I_3$ $I_2 = 1,03 I_4$

c) $V_{off} = \sqrt{\frac{I_{01} L_1}{W_1 K_1}} + V_{T_1} - \sqrt{\frac{I_{02} L_2}{W_2 K_2}} - V_{T_2}$

$$I_{01} = I_{02}, L_1 = L_2$$
$$W_1 = W_2, K_1 = K_2$$

$$V_{off} = V_{T_1} - V_{T_2}$$

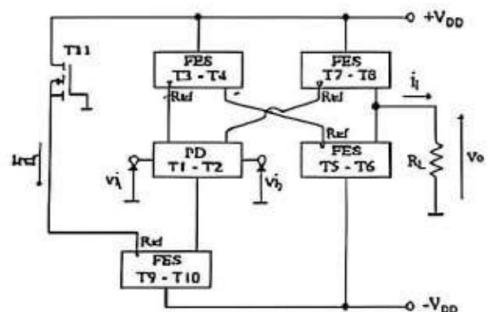
$$V_{T_2} = 1,03 V_{T_1}$$

$$V_{off} = V_{T_1} (1 - 1,03) = -0,03 V_{T_1}$$

d) $V_{off,T_{01}} = V_{off,a} + V_{off,b} + V_{off,c}$

la voff afecta más en Avc porque tengo una entrada común, 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 Inductados (canal N ó P según corresponda). $\pm V_{DD} = \pm 6V$, $|V_T| = 2V$; $|K'| = 100\mu A/V^2$; $W/L = 2$; $\lambda = 0,01\text{ }1/V$; $R_L = 10k\Omega$.



- a)** Para $V_{11} = V_{12} = 0$, hallar todas las tensiones y corrientes de reposo del circuito, incluyendo I_{LQ} . Despreciar la corrección de I_{DQ} por el λ .

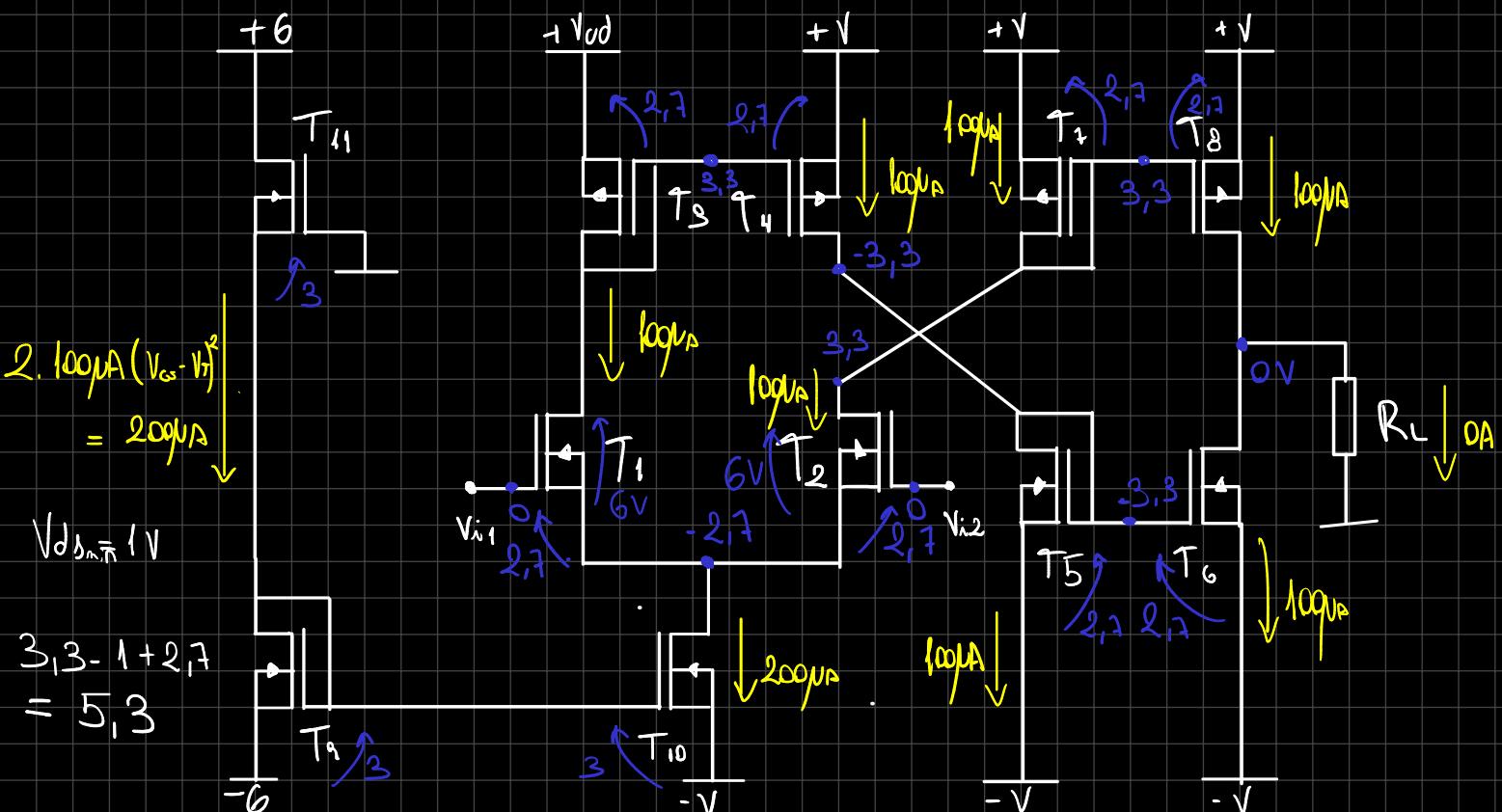
b) Hallar las expresiones y valor de:

$$G_{nd} = I_1/V_{id} \quad |_{V_o=0}$$

$$G_{nc} = I_1/V_{ic} \quad |_{V_o=0}.$$

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

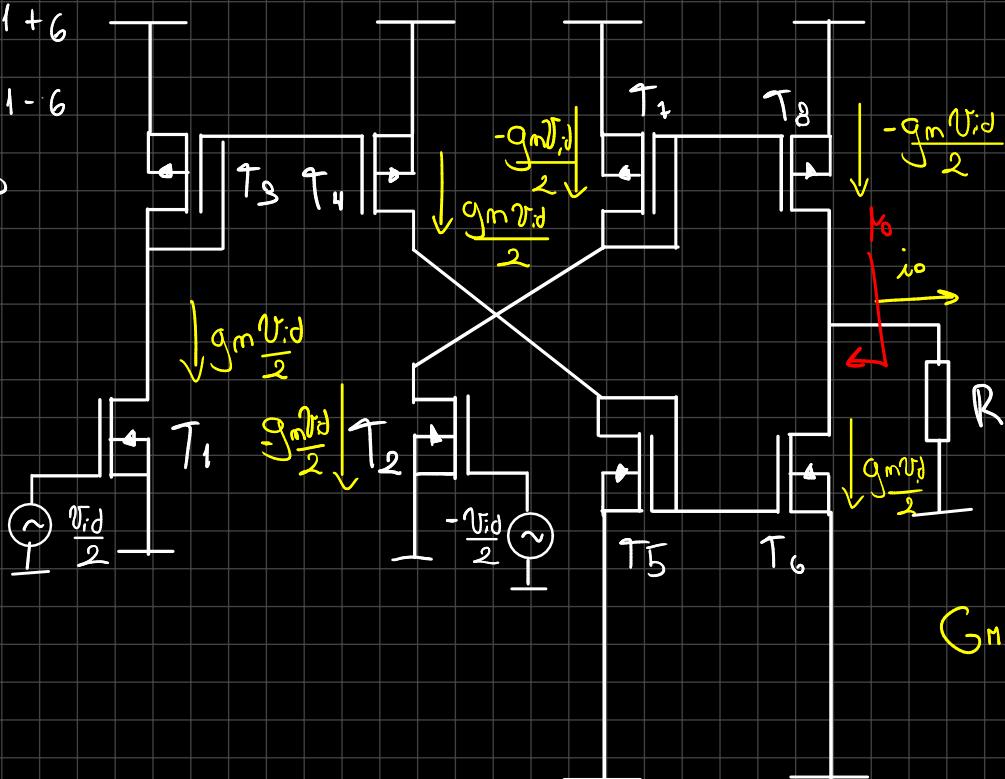
c) Definir y hallar el rango de tensión de modo común.



Vicmin-2,7-1+6

$$\sqrt{c_{\min}} = 2.7 + 1 - 6$$

$$= -2, 3$$



$$G_m = \frac{N_0}{V_d} = -Q_m$$

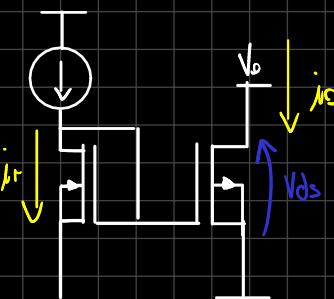
$$= -282,8 \mu$$

factor de Copia

Teniendo en cuenta

E_{mLC}

No



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

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

$$\frac{i_d \cdot 1,06 - i_d 1,06 \cdot 1,093}{i_d 2V_{o10} + V_{gs}} = \frac{i_o}{V_{oC}}$$

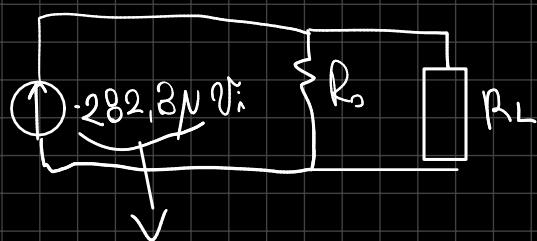
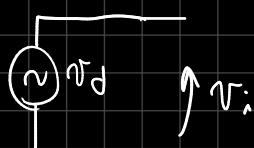
$$RRMC = \frac{G_{md}}{G_{mc}}$$

$$\frac{1,06 - 1,06 \cdot 1,093}{2V_{o10} + \frac{V_{gs}}{i_d}} = \frac{1,06 - 1,06 \cdot 1,093}{2V_{o10} + \frac{1}{G_m}}$$

$$\frac{282,8N}{1,093n} = 100dB \quad \text{No, } G_{mc} = 0, \text{ Cualquier cosa se pregunta}$$

en el examen

$$R_o = R_{ds8} // R_{ds6} = 1M // 1M = 500k$$

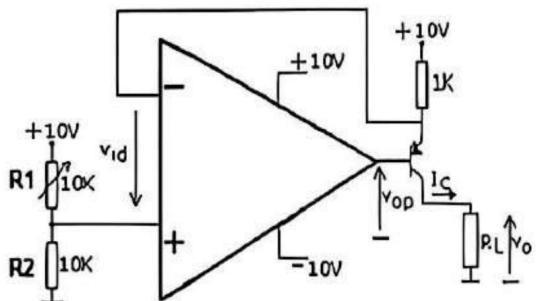


Uso G_{md} por el ratio $RRMC$

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

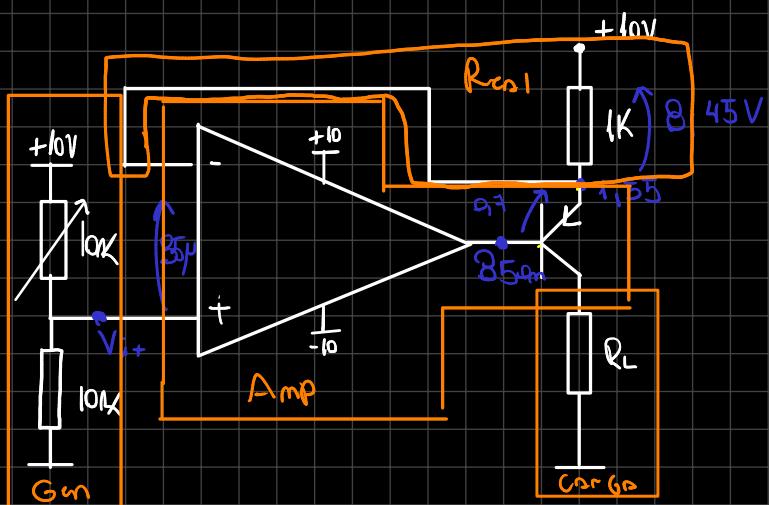
Rango de Modo Común t_5, β y $-2,3$

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



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 muestrea y qué suma?. Identificar los distintos bloques que conforman el sistema realimentado (A_o , k_v , generador y carga).



$$\frac{10V - Q_{1,T}}{1,1K} = Q_{1,45m}$$

$$V_{iT} = \frac{10 \cdot 10K}{10K + R_V}$$

$$V_{iT}(10K + R_V) = 10 \cdot 10K$$

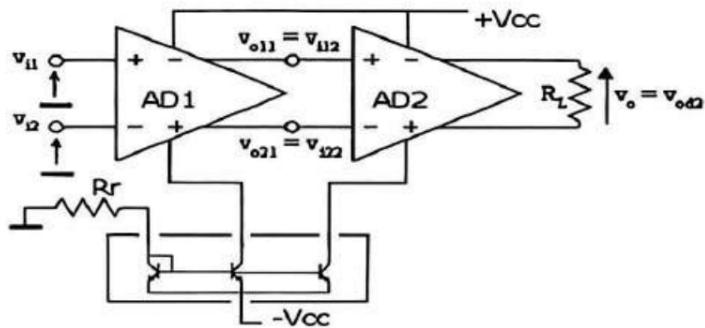
$$R_V = \frac{10 \cdot 10K - V_{iT} 10K}{V_{iT}}$$

$$R_V = 54,5K$$

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

AD1: Par diferencial NMOSFET $T_1=T_2$ con $R_{D1} = R_{D2} = 15 K\Omega$

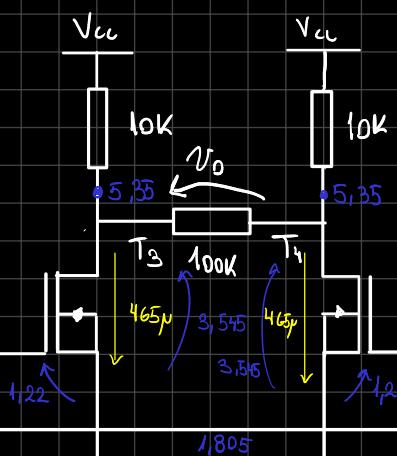
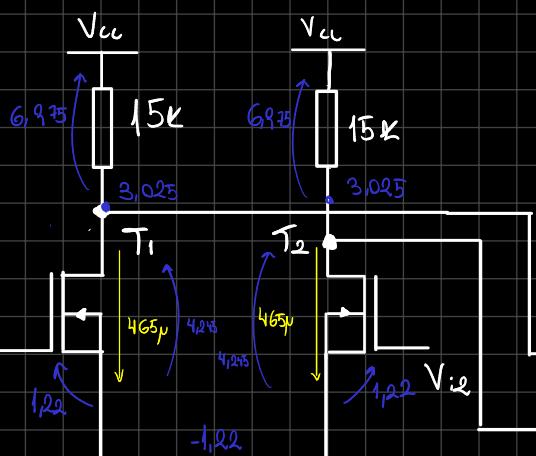
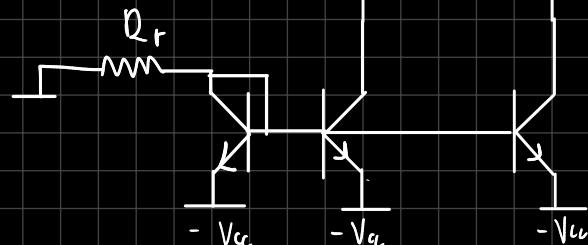
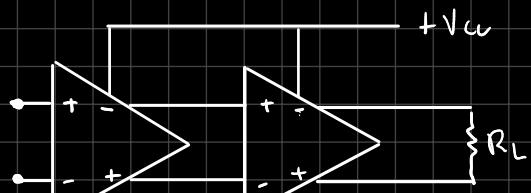
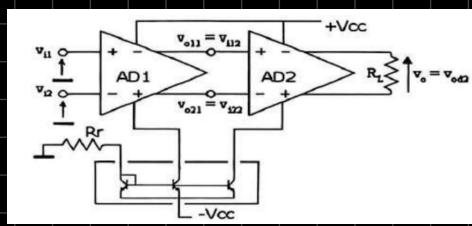
AD2: Par diferencial NMOSFET $T_3=T_4$ con $R_{D3} = R_{D4} = 10 K\Omega$



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

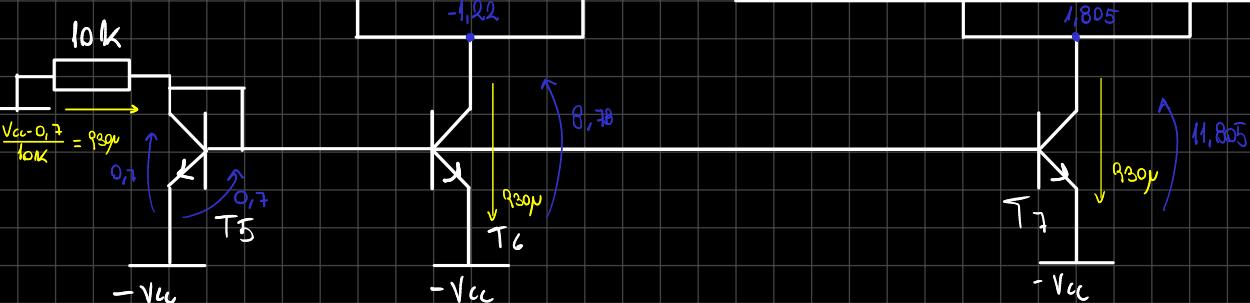
$$(\beta = 100; V_A = 100V; K' = 1mA/V^2; W/L = 10; V_T = 1V; C_{gs} = 5pF; C_{gd} = 1pF; \lambda = 0,01V^{-1})$$

- b) Calcular $A_{V_{dd}} = v_o/v_{id}$ ($v_{id} = v_{11} - v_{12}$). 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_D 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 $v_{id} = v_{11} - v_{12}$ corresponde a una señal cuadrada de $\pm 1mV$ y frecuencia $f_h/2$, 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 los W del 2%.



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

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

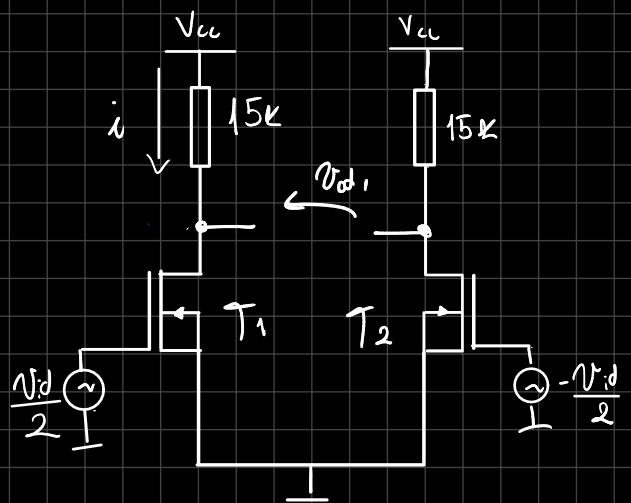


$$AV_{DD} = \frac{V_o}{V_{dd}}$$

$$g_m = 41.31 m$$

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

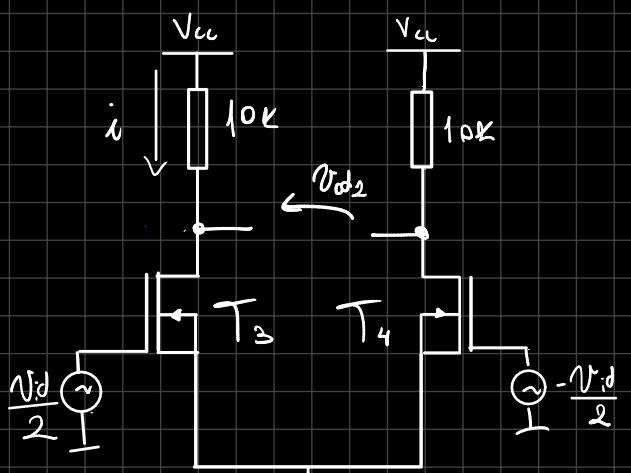
$$AV_{DD1} = \frac{V_{od1}}{V_{dd}} = -\frac{V_{dd} g_m 15k}{V_{dd}} = -g_m 15k$$



$$AV_{DD2} = \frac{V_{od2}}{V_{dd}}$$

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

$$\frac{V_{od2}}{V_{dd}} = -\frac{g_m V_{dd} 10k}{V_{dd}} = -g_m 10k$$



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

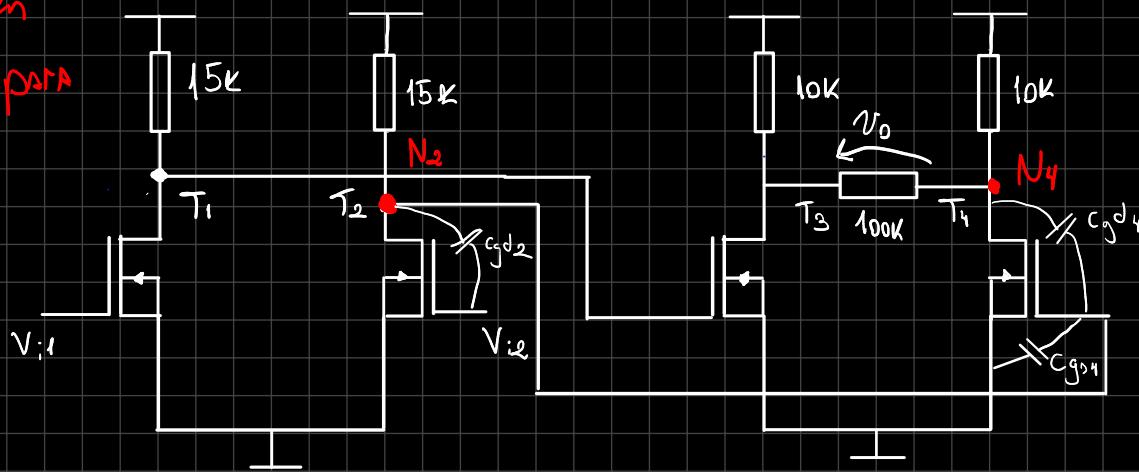
Sin desapareamientos Avdc sería 0, ya que entrando en modo común vo11 y vo21 varían de la misma forma, por lo que la salida diferencial será cero. En el caso de que se cuente con desapareamientos, dependerá de estos y como en modo común el par se puede modelar como dos source común con $R_s = 2 \cdot r_o$ de la fuente de corriente, y la ganancia será R_d/R_s , entonces cuanto más grande sea la $R_s = 2 \cdot r_o$, mas pequeña será la ganancia de modo común.

$$RRMC = \frac{AV_{DD1} \cdot AV_{DD2} + AV_{dd1} \cdot AV_{dd2}}{AV_{dd1} \cdot AV_{dd2} + AV_{dd1} \cdot AV_{dd2}} = \frac{AV_{DD1} \cdot AV_{DD2}}{AV_{dd1} \cdot AV_{dd2}} = \frac{AV_{DD1}}{AV_{dd1}}$$

$= RDMC_1 \Rightarrow$ el primero debe tener menos despareamientos.

Resuesta en

Frecuencia para
AVDD



$$N_2 = C_{eq} = C_{gd2}^* + C_{gs4} + C_{gd4}^*$$

$$C_{eq} = C_{gd2} + C_{gs4} + C_{gd4} \left(1 - \frac{V_{d4}}{V_{g4}}\right)$$

$$C_{eq} = C_{gd2} + C_{gs4} + C_{gd4} \left(1 - g_m \cdot 10k\right)$$

$$C_{eq} = C_{gd2} + C_{gs4} + C_{gd4} \cdot 44,1$$

$$C_{eq} = 1\text{pF} + 5\text{pF} + 1\text{pF} \cdot 44,1 = 50\text{pF}$$

$$T = 50 \cdot 1\text{pF} \cdot 15k = 751,5\text{ns} \quad f = \frac{1}{2\pi T} = 211,8\text{kHz}$$

N₄ No puede influir ya que I_D R_X es menor y
el C_{eq} = C_{gd4}

$$V_{off} = V_{gs1} - V_{gs2}$$

$$\frac{W_1}{L_1} = 1,02 \frac{W_2}{L_2}$$

$$V_{gs} = \sqrt{\frac{I_D}{K' L}} + V_T$$

$$V_{off} = \sqrt{\frac{I_{D1}}{K'_1}} + V_T - \sqrt{\frac{I_{D2} L_2}{K'_2 W_2}} - V_T$$

Todo lo que no es $\frac{W_1}{L_1}$ y $\frac{W_2}{L_2}$
es igual

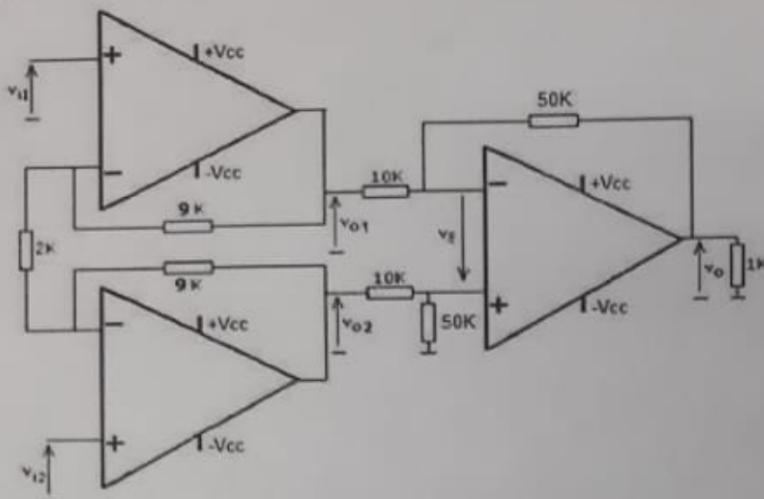
$$= \sqrt{\frac{I_D}{K}} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{W_1}{L}}} - \frac{1}{\sqrt{\frac{W_2}{L}}} \right) = \sqrt{\frac{I_D}{K}} \frac{1}{\sqrt{\frac{W_1}{L}}} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1,02}} \right) = 2,12\text{mV}$$

$\text{es } Z_{\text{Gan}} \text{ para los obs Amp Diff}$

$$V_{\text{off, tot}} = V_{\text{off,1}} + \frac{V_{\text{off,2}}}{A(V_{\text{dd1}})} = 2,157 \text{ mV} \quad \checkmark$$

64,65

1.- Para el siguiente amplificador, admitiendo opamps ideales obtener:



a1) Los valores de:

$$\begin{aligned} v_o / (v_{o1} - v_{o2}) \\ v_o / 0,5(v_{o1} + v_{o2}) \end{aligned}$$

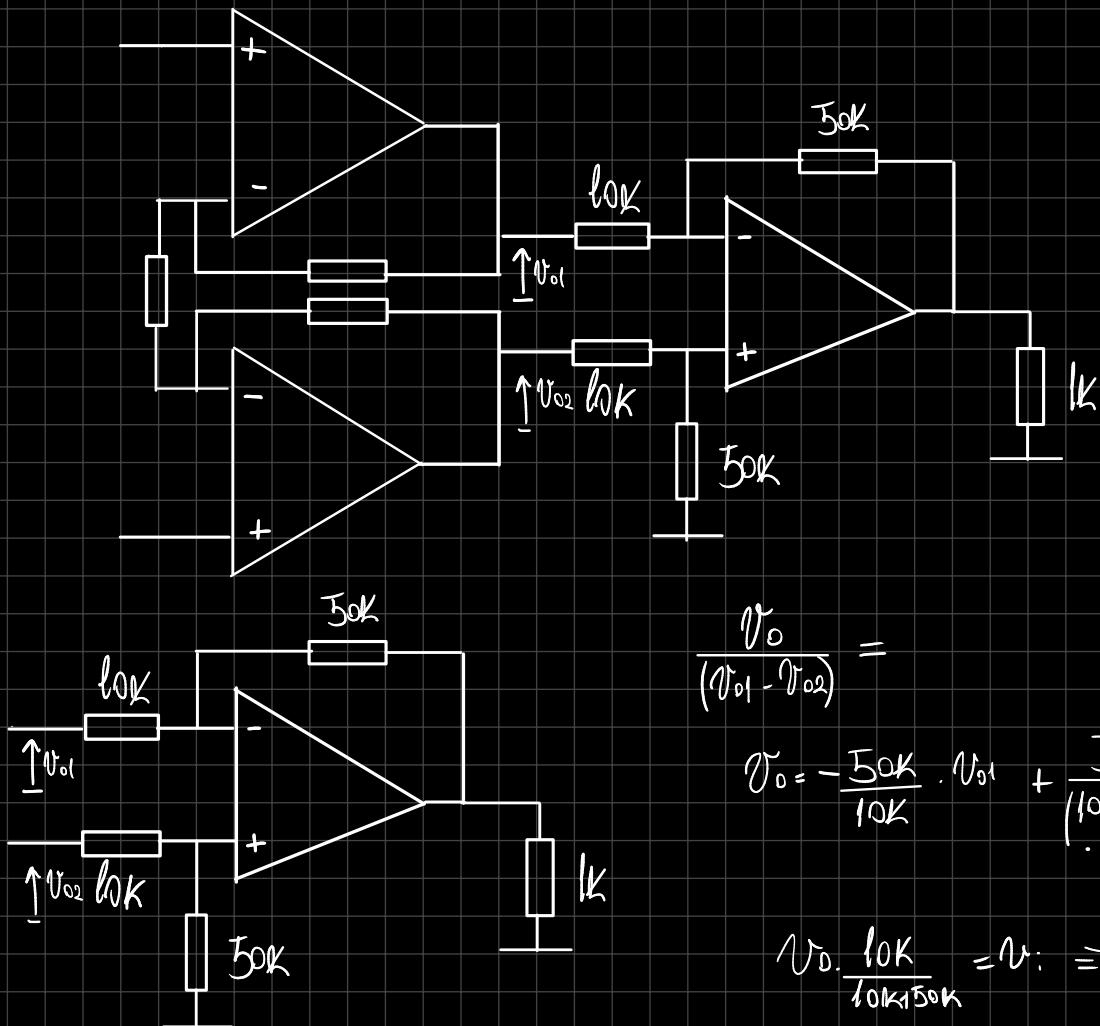
a2) Los valores de:

$$\begin{aligned} v_{o1} / (v_{i1} - v_{i2}) \\ v_{o1} / 0,5(v_{i1} + v_{i2}) \end{aligned}$$

Con estos resultados, obtener A_{vd} , A_{vc} totales del amplificador.

b) Si los opamps son reales e idénticos, de

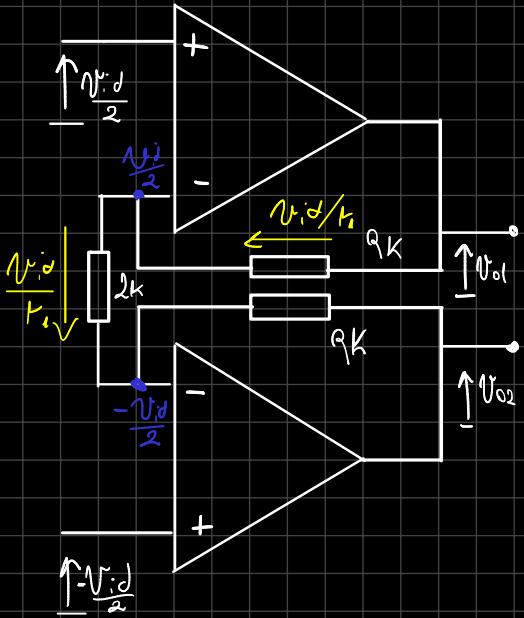
$RRMC = 100 \text{ dB}$, obtener la $RRMC$ total del amplificador de instrumentación (admitir valores típicos en el resto de parámetros de los opamps y resistores apareados).



$$\frac{V_o}{V_{o1}-V_{o2}} = -50K \frac{(V_{o1}-V_{o2})}{V_{o1}-V_{o2}} = -5$$

$$\frac{2V_o}{(V_{o1}+V_{o2})} = 0$$

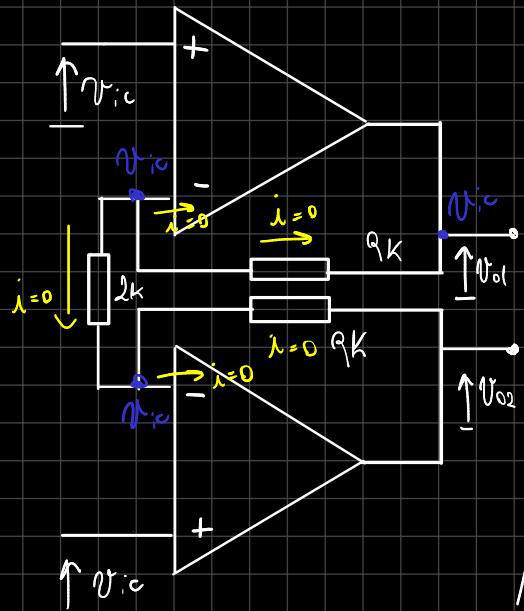
$$V_{o1}=V_{o2}$$



$$V_d = V_{i1} - V_{i2}$$

$$\frac{V_{o1}}{V_{i1}-V_{i2}} = \frac{V_{o1}}{V_d} = \frac{\frac{V_d}{2} + \frac{V_d}{k_1} \cdot k_2}{V_d}$$

$$= \frac{1}{2} + \frac{k_2}{k_1} = 5$$



$$V_d = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2}$$

$$\frac{V_{o1}}{0,5(V_{i1}+V_{i2})} = \frac{V_{o1}}{V_{i1}} = \frac{V_{i1}}{V_{i2}} = \rho$$

$$A(V_d) = \frac{V_o}{V_d} = \frac{\overbrace{V_o}^{10}}{(V_{o1}-V_{o2})} \cdot \frac{\overbrace{V_{o1}-V_{o2}}^{-5}}{V_d} = \frac{V_o}{V_d} = -50$$

$$\frac{V_{o1}-V_{o2}}{V_d} = \frac{\overbrace{V_{o1}}^5}{\overbrace{V_d}^{-5}} - \frac{\overbrace{V_{o2}}^{-5}}{V_d} = 0$$

$$A(V_c) = \frac{V_o}{V_c} = \frac{\overbrace{V_o}^1}{0,5(V_{o1}+V_{o2})} \cdot \frac{\overbrace{0,5(V_{o1}+V_{o2})}^1}{V_c} = \frac{V_o}{V_c} = 0$$

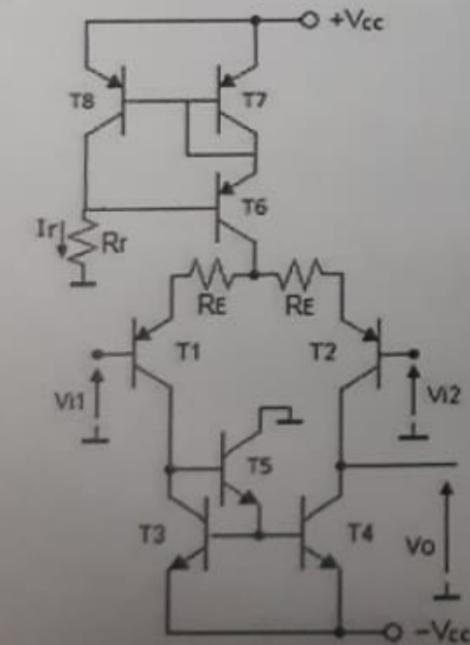
$$\frac{0,5(V_{o1}+V_{o2})}{V_c} = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{o1}}{V_c} + \frac{V_{o2}}{V_c} \right) = \frac{1}{2} \cdot (1+1) = 1$$

$$\begin{array}{c}
 \overbrace{AV_{dd1}}^{\text{AV}_d} \quad \overbrace{AV_{cc}}^{\text{AV}_c} \quad \overbrace{AV_{cd}}^{\text{AV}_c} \quad \overbrace{AV_{dc}}^{\text{AV}_c} \\
 \text{AV}_d \qquad \qquad \qquad \text{AV}_c \qquad \qquad \qquad \text{AV}_c \qquad \qquad \qquad \text{AV}_c
 \end{array}$$

$$RRMC = \frac{|AV_{dTOT}|}{|AV_{cTOT}|} = \frac{|AV_{dd1} \cdot AV_d + AV_{cd} \cdot AV_c|}{|AV_{cc1} \cdot AV_c + AV_{dc} \cdot AV_d|} = AV_{dd1} \cdot \frac{AV_d}{AV_c} = 100 \text{dB}$$

$$20 \log \left(\frac{AV_d}{AV_c} \right) + 20 \cdot \log (AV_{dd1}) = 120 \text{ dB}$$

2.- Los transistores se encuentran apareados. $R_E = 100 \Omega$; $R_r = 10 \text{ k}\Omega$; $V_{cc} = 10V$. $\beta = 100$; $V_A = 100 \text{ V}$; $r_x \approx 0 \Omega$; $C_s = 1 \text{ pF}$; $f_T = 100 \text{ MHz}$ (para todos los TBJ)

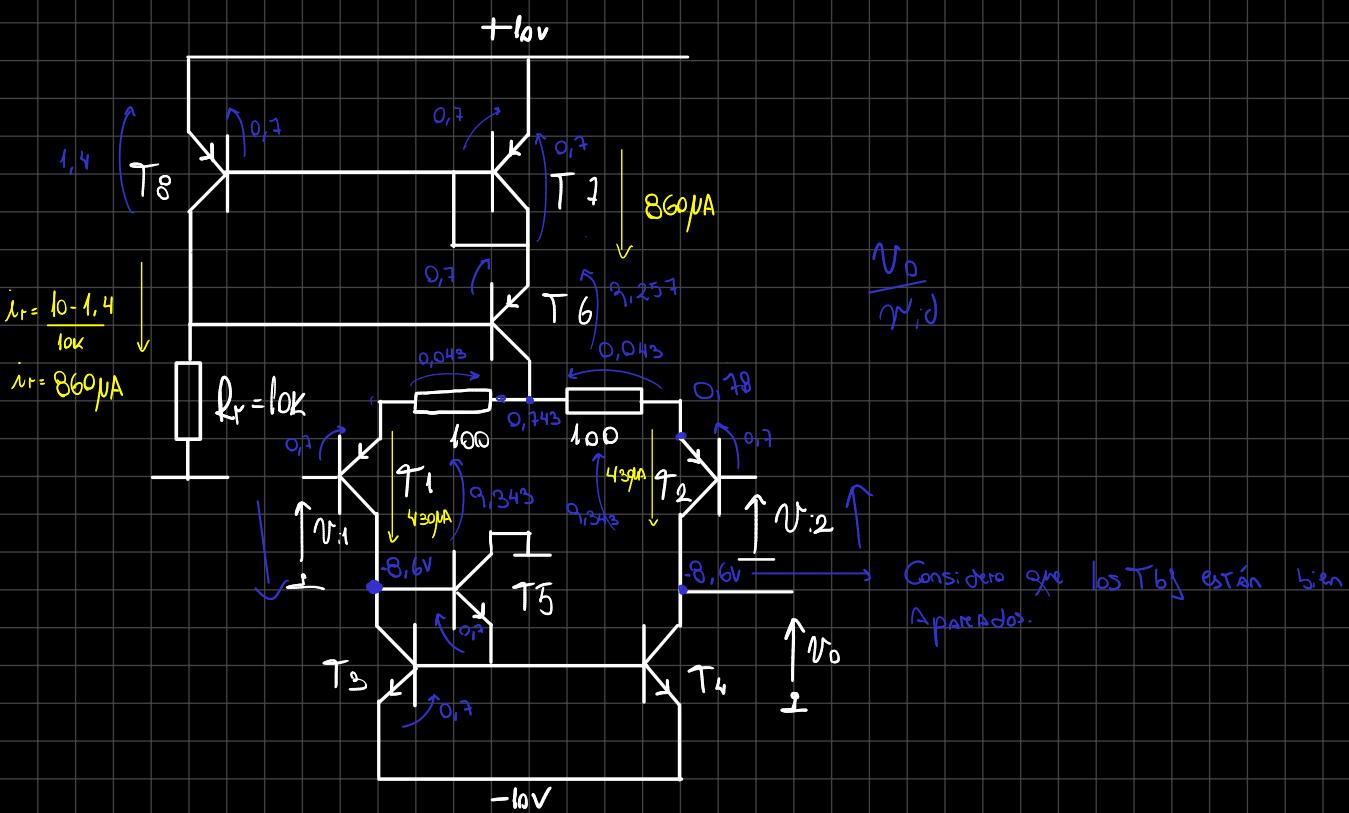


a) Justificar cualitativamente:

- El valor de la tensión de salida V_{oQ} .
- Cómo influye en el valor de la RRMC el polarizar mediante la fuente de corriente T6-T7-T8, en lugar de una espejo simple.
- Cómo influye el agregado de R_E en los parámetros característicos del amplificador.

b) Obtener el valor de la tensión de offset V_{offset} si existe un desapareamiento $|\delta| < 5\%$ entre las R_E .

c) Obtener el valor la constante de tiempo asociada al nodo de salida. Justificar cualitativamente si puede considerarse dominante para la respuesta en alta frecuencia de AV_d .



Como la RRMC depende de ΔV_c que depende inversamente de I_o de la fuente, La fuente Wilson tiene mucho mayor que un espejo simple.

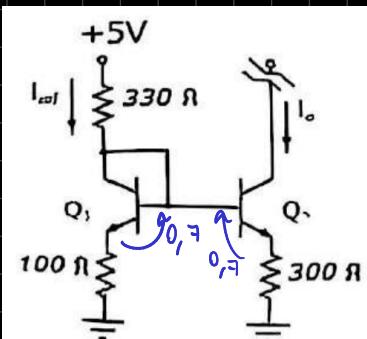
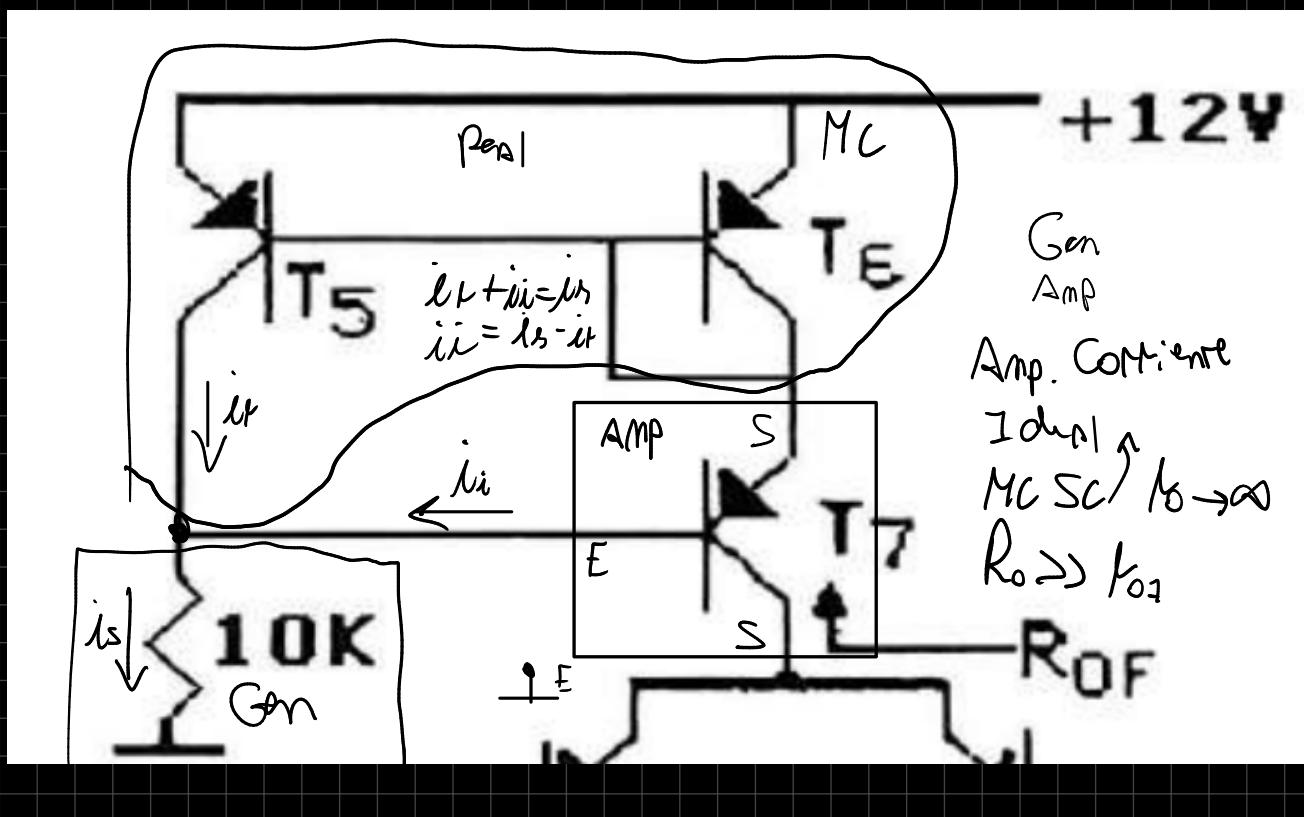
$$V_{off} = \underbrace{V_{be1} - V_{be2}}_0 + I_c R_{E1} - I_c R_{E2}$$

Por ser Transistores
1 Gatos

$$V_{of} = I_c (R_{E1} - R_{E2}) \Rightarrow I_c R_{E2} \left(1 + \frac{\delta}{100} - 1 \right) = I_c R_{E2} \frac{\delta}{100}$$

$$-2,15 \text{ mV} < V_{off} < 2,15 \text{ mV}$$

$$R_{E1} = \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) R_{E2}$$



Obtener el valor aproximado de I_0 . Justificar el procedimiento.

$$100 + 0,7 - 0,7 - 10 \cdot 300 = 0$$

$$i + .100 = 300i_0$$

$$i_0 = \frac{1}{2} i_F$$