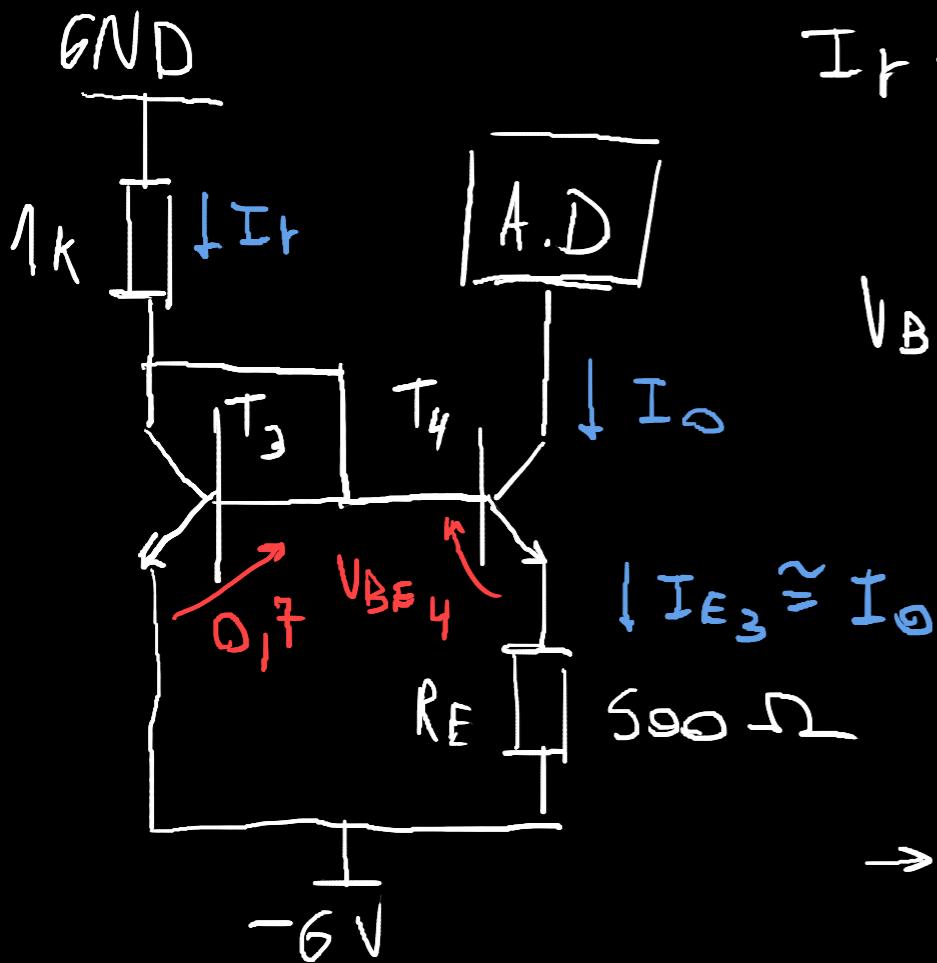


2.- $V_T = 1V$; $k = 1mA/V^2$; $\lambda \rightarrow 0$; $\beta = 100$; $V_A = 100V$

- a) Definir y obtener el Rango de modo común.
- b) Definir y obtener el valor de la RRMC en dB.
- c) Se reemplazan los resistores de carga de 20k por una fuente espejo con TBJ (T_5-T_6), de modo de tal de obtener la mayor $A_{vd} = v_{o2}/v_{id}$ posible. Dibujar y justificar el circuito resultante y analizar cualitativamente cómo se modifican los valores de reposo, el Rango de modo común y la RRMC, respecto del circuito original.

RTMC : Rango de posibles tensiones de entrada de modo común que mantienen a los transistores trabajando en MAD (TBJ) o SAT (MOS)

Polarizació



$$I_F = \frac{0 - (-6 + 0.7)}{1k} = 5.3 \text{ mA}$$

$$V_{BE_3} - V_{BE_4} - R_E \cdot I_0 = 0$$

$$V_{BE_3} = V_T \ln \left(\frac{I_{C_3}}{I_S} \right)$$

$$V_{BE_4} = V_T \ln \left(\frac{I_0}{I_S} \right)$$

$$\rightarrow V_{BE_3} - V_{BE_4} = V_T \ln \left[\frac{I_{C_3}}{I_S} \cdot \frac{I_S}{I_0} \right]$$

$$\Rightarrow I_0 R_E = V_T \ln \left[\frac{I_{C_3}}{I_0} \right]$$

$$I_{c_3} = I_T - \frac{I_{c_3}}{\beta} - \frac{I_o}{\beta} \quad \text{Si } I_o \ll I_c \quad \text{y} \quad I_{o_3} \ll I_T \Rightarrow I_{c_3} \approx I_T$$

$\therefore \boxed{I_o} \cdot R_E = V_T f_n \left[\frac{I_T}{\boxed{I_o}} \right] \rightarrow \text{ECUACIÓN de la fuente de Wilder}$

$I_o R_E = V_{BE_3} - V_{BE_4} \rightarrow$ tiene q' ser chico, del orden de mV.
 $\rightarrow I_o$ será del orden del μ V

Digamos, por decir una barbaridad, que $V_{BE_3} - V_{BE_4} = 500 \text{mV}$

$$\rightarrow I_o = \frac{199 \text{mV}}{500 \Omega} = 0,2 \text{mA} = 200 \mu\text{A}$$

$$I_0 \cdot R_E = 500 \text{ mV} \quad , \quad V_T \ln \left[5,3 \text{ mA} / 200 \mu\text{A} \right] = 43,19 \text{ mV}$$

$$\Rightarrow I_0 = \frac{43,19 \text{ mV}}{500 \Omega} = 86,4 \mu\text{A} \rightarrow V_T \ln \left[5,3 \text{ mA} / 86,4 \mu\text{A} \right] = 106,6 \text{ mV}$$

$$\rightarrow I_0 = \frac{106,6 \text{ mV}}{500 \Omega} = 213 \mu\text{A} \rightarrow V_T \ln \left[5,3 \text{ mA} / 213 \mu\text{A} \right] = 83,2 \text{ mV}$$

$$\rightarrow I_0 = \frac{83,2 \text{ mV}}{500 \Omega} = 166,4 \mu\text{A} \rightarrow V_T \ln \left[5,3 \text{ mA} / 166,4 \mu\text{A} \right] = 89,2 \text{ mV}$$

$$\rightarrow I_0 = \frac{89,2 \text{ mV}}{500 \Omega} = 180 \mu\text{A} \rightarrow V_T \ln \left[5,3 \text{ mA} / 180 \mu\text{A} \right] = 87,6 \text{ mV}$$

Yo soy um holp xq' 500mV es um valor absurdos para arrancar

Tendria q' haber arrancado en 100mV porqle

$$\therefore I_o = 180 \mu A$$

La fuente de Widlar me permite manejararme con resistencias bajas. Eso hace que 1) tenga alta resistencia de entrada xq $r_{pi} = VT/IB$

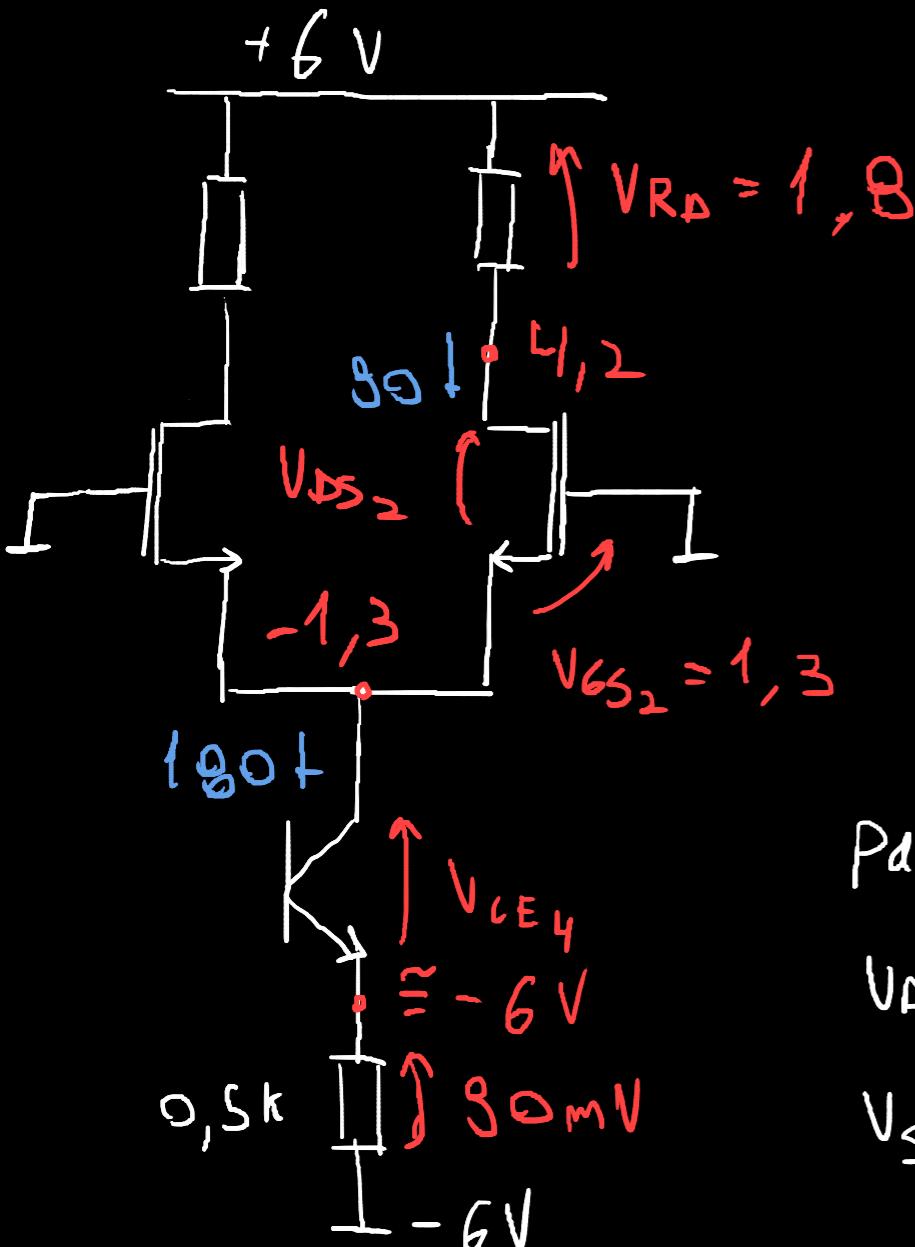
2) r_o de T4 sea grande, $r_o = V_A / I_C$

3) caiga el gm de T1 y T2, pierdo transconductancia, pero priorizo un alto RRMC

$$\Rightarrow I_{D1} = I_{D2} = 90 \mu A = I_D$$

$$V_{GS1} = V_{GS2} = \sqrt{I_D/k} + V_T = 1,3 V$$

$$V_{RD} = 20k \cdot 90 \mu A = 1,8 V$$



$$V_{DS_2} = V_{DS_1} = V_{DS} = 4,2 - (-1,3) = 5,5\text{ V}$$

$$V_{CE_4} = -1,3 - (-6) = 4,3\text{ V}$$

No los necesitaba, pero se req' el primero (M cortar a T4)

Para $V_{ic} > 0$ sube la tensión del nodo de los sources y los nodos de los drains quedan iguales, T1 y T2 se van de SAT
Eso me da una cota superior

Para $V_{ic} < 0$, baja la tensión del nodo del C de T4, quedando el de E igual. Se va de MAD.

Para q' T2 no se vaya de SAT necesita

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T = 0,3\text{ V}$$

$$V_S = V_{ic} - 1,3\text{ V} \rightarrow V_{DS} = 4,2 - V_S = 4,2 + 1,3 - V_{ic} > 0,3\text{ V}$$

$$\Rightarrow 4,2 + 1,3 - 0,3 > V_{IC} \Rightarrow V_{IC} < 5,2 \text{ V}$$

Para que permanezca en MAD necesita que $V_{CE} > 0,7$

$$V_{CE} = (V_{IC} - 1,3) - (-6) > 0,7 \Rightarrow V_{IC} > 0,7 + 1,3 - 6 = -4 \text{ V}$$

$$\therefore -4 \text{ V} < V_{IC} < 5,2 \text{ V}$$

b)

Parámetros de señal

	T_1	T_2	T_3	T_4
$I_{C,D}[A]$	90	90	5,3m	180
$g_m[mA/V]$	0,6	0,6	204	7
r_N	∞	∞	X	14k3
r_o	∞	∞	X	555,6k

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} = 2k(V_{GS} - V_T) = \\ = 2k \sqrt{\frac{I_D}{k}} = 2\sqrt{kI_D}$$

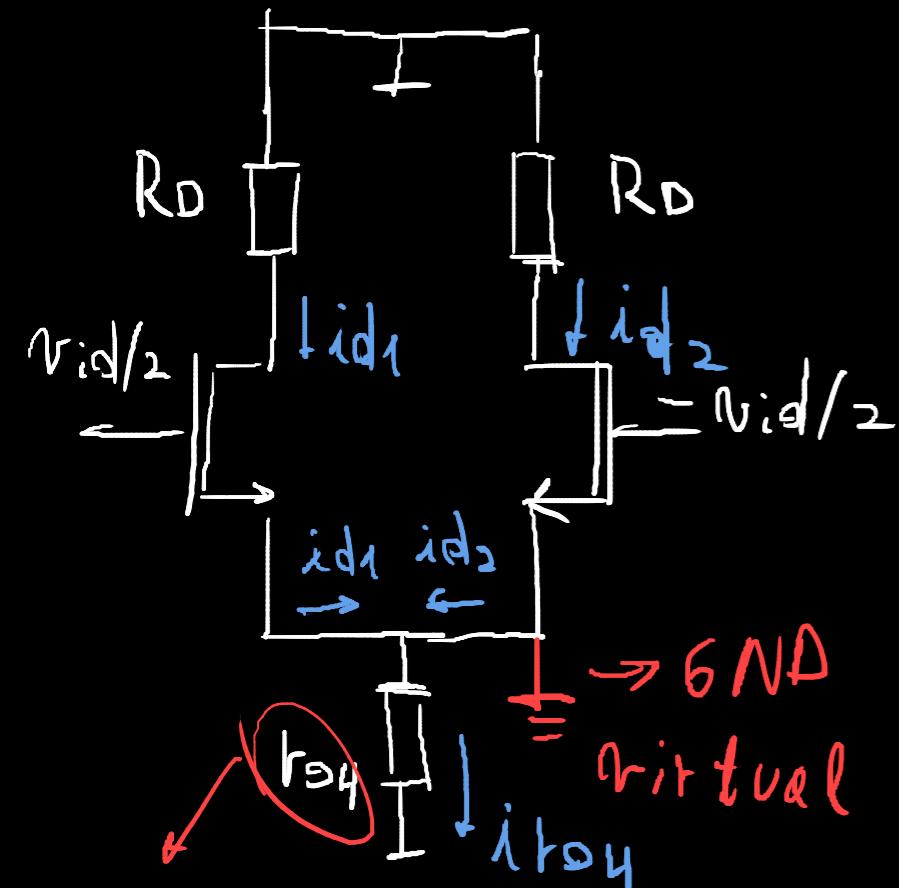
$$RRMC = 20 \log \left(\left| A_{vd}/A_{vc} \right| \right)$$

Wende $A_{vd} = N_0 / (v_{i1} - v_{i2})$

u $A_{vc} = N_0 / \frac{v_{i1} + v_{i2}}{2}$

Señal para entraida diferencial:

En los sources hay un GND virtual porque si v_{i1} sube, v_{i2} baja la misma cantidad, y como los gm son iguales, el cambio en i_{d1} es igual y opuesto al cambio en i_{d2} , por lo que no cambia la corriente que circula por r_{o4} , por lo que su tensión es cte. Al hacer el análisis en señal eso equivale a una tierra



$$M A L, \text{va } r_{o4} / (1 + g_m R_E) = 2,5 M$$

$$\text{O también: } i_{d1} + i_{d2} = i_{to4}$$

$$i_{d1} + (-i_{d1}) = i_{to4} = 0$$

⇒ En señal no calculemos en r_{o4}

Entonces, básicamente tengo un
Source Común:

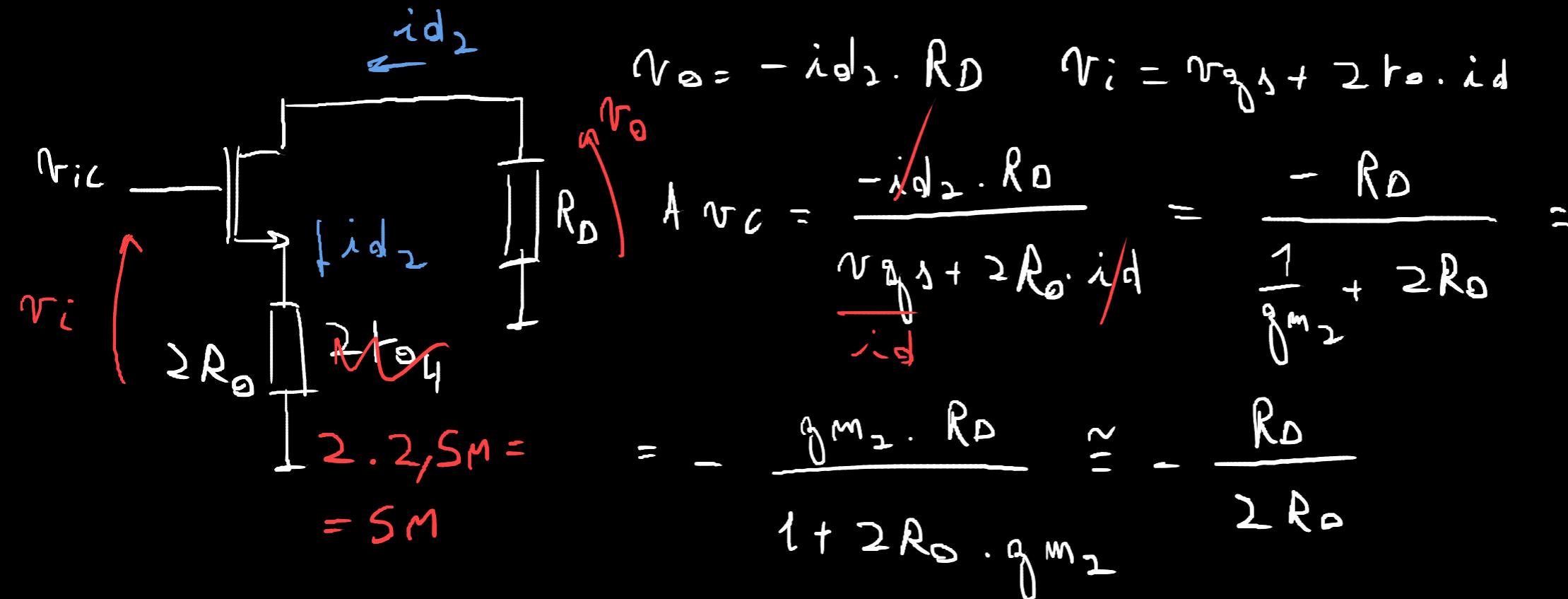
$v_o = -i_{d2} \cdot R_D = -g_m \cdot v_{gs2} \cdot R_D$
 i_{d2}

$v_i = v_{gs2} = -v_{i0}/2$
 $\Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{-v_{i0}/2} = \frac{-g_m v_{gs2} R_D}{v_{gs2}} = -g_m R_D$

$\Rightarrow \frac{v_o}{v_{i0}} = \frac{g_m R_D}{2} = A_{vo}$

Señal en MC: Un incremento en v_{ic} produce un incremento igual en i_{d1} y en i_{d2} , r_o recibe el doble de incremento de corriente, por lo que su tensión (en señal) sube el doble, por lo que es como si fuera una resistencia de $2 \cdot r_o$

→ Tengo otro source común, pero realimentado



$$\rightarrow RRMC = 20 \log \left[\frac{\alpha_{m2} \cdot R_D / 2}{R_D / 2 k_{O4}} \right] = 20 \log [\alpha_{m2} \cdot k_{O4}] = 20 \cdot \log [9/6 \frac{m}{V} \cdot 555k]$$

RRMC = 50 dB \rightarrow muy chico \times q' el α_m es muy chico

$$\alpha_m = 2\sqrt{k I_D} \quad k_{O4} = \frac{V_A}{2 I_D} \rightarrow \alpha_m k_{O4} = 2\sqrt{k} \cdot \sqrt{I_D} \cdot \frac{V_A}{I_D} = 2\sqrt{k} \cdot \frac{V_A}{\sqrt{I_D}}$$

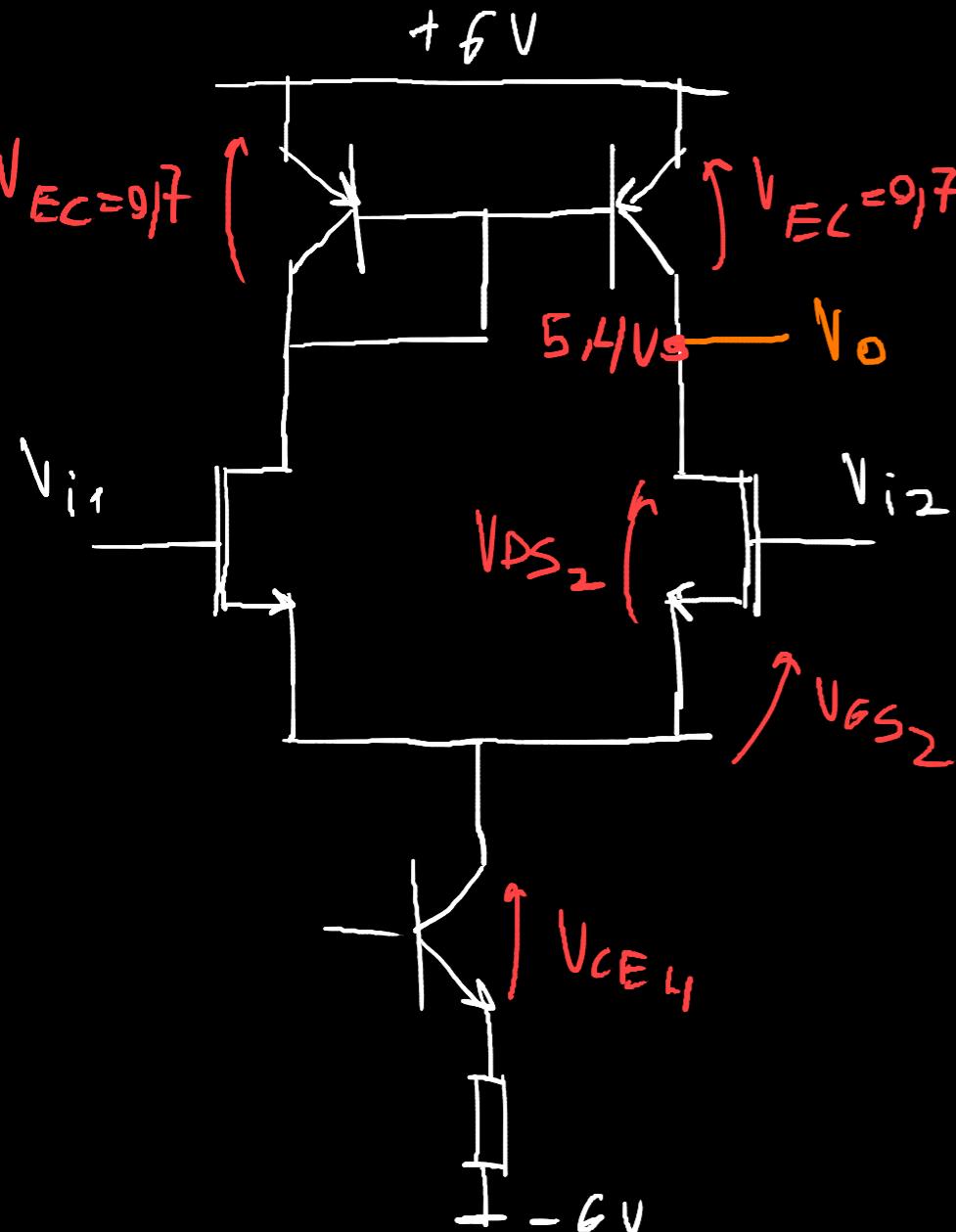
$$\rightarrow RRMC = 20 \log \left[2 V_A \cdot \sqrt{\frac{k}{I_D}} \right] = 56 \text{ dB} \quad \text{Tendría q' haber puesta MOSFET}$$

Me equivoqué con la R_o de la fuente

$$RRMC = 20 \log [g_m_2 \cdot R_o] = 20 \log [9,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 10^6] = 63 \text{ dB}$$

c) Se reemplazan los resistores de carga de 20k por una fuente espejo con TBJ (T_5-T_6), de modo de tal de obtener la mayor $A_{v_d} = V_{o2}/V_{i2}$ posible. Dibujar y justificar el circuito resultante y analizar cualitativamente cómo se modifican los valores de reposo, el Rango de modo común y la RRMC, respecto del circuito original.

El circuito queda:



Para que la ganancia crezca, desde la salida se debe ver un colector para ver una resistencia grande. Además, los transistores deben ser NPN para permitir la circulación de la corriente

Valores de reposo: no se modifican las corrientes xq la fuente es la misma

Rango de MC: si ambas ramas están apareadas, la caída VEC es igual para T5 y T6. Sube un poco la tensión del nodo del drain de T2, por lo que la cota superior del rango sube. La inferior queda igual

RRMC?

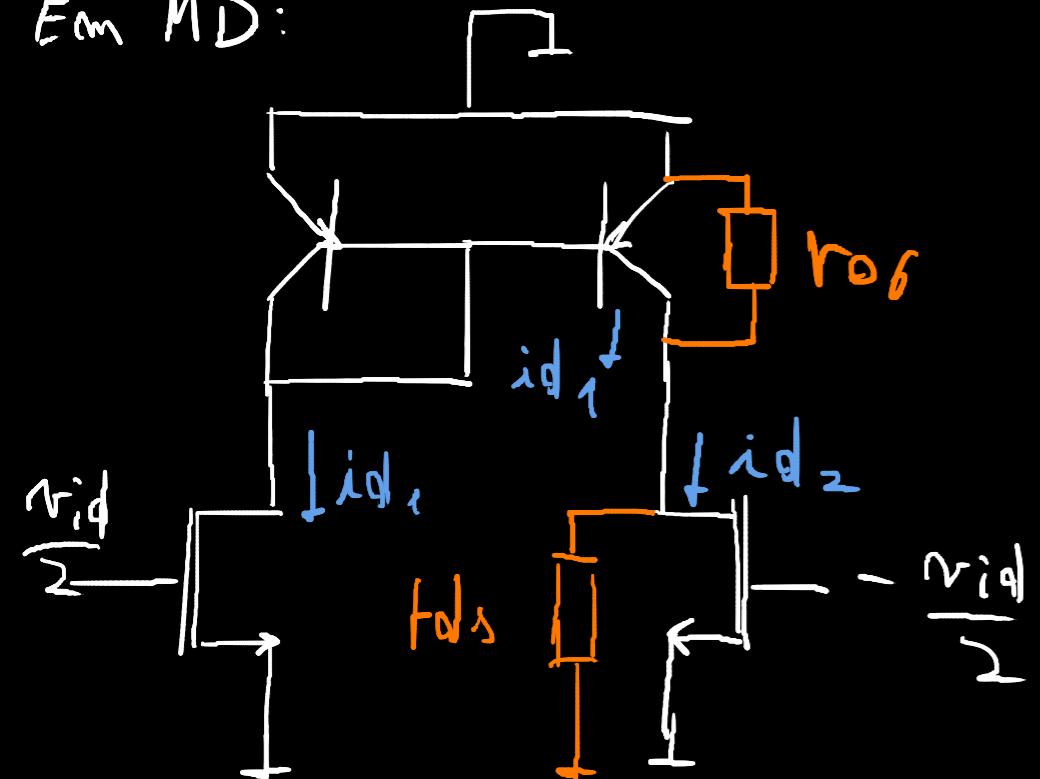
No cambia xq no depende de la resistencia de drain.

¿Cuál es el punto de la fuente de la carga activa entonces?

¿Sí sirve para mejorar la transconductancia? s

Si que cambia, pasa q' sea media BOT.

En MD:



Parece q' la carga anota es

$$r_{os} \parallel r_{ds} = r_{os}$$

La circula una corriente dc

$$i_{d1} - i_{d2} = g_m \frac{V_{rid}}{2} - g_m - \frac{V_{rid}}{2} = g_m V_{rid}$$

$$\rightarrow V_o = g_m \cdot V_{rid} \cdot r_{os}$$

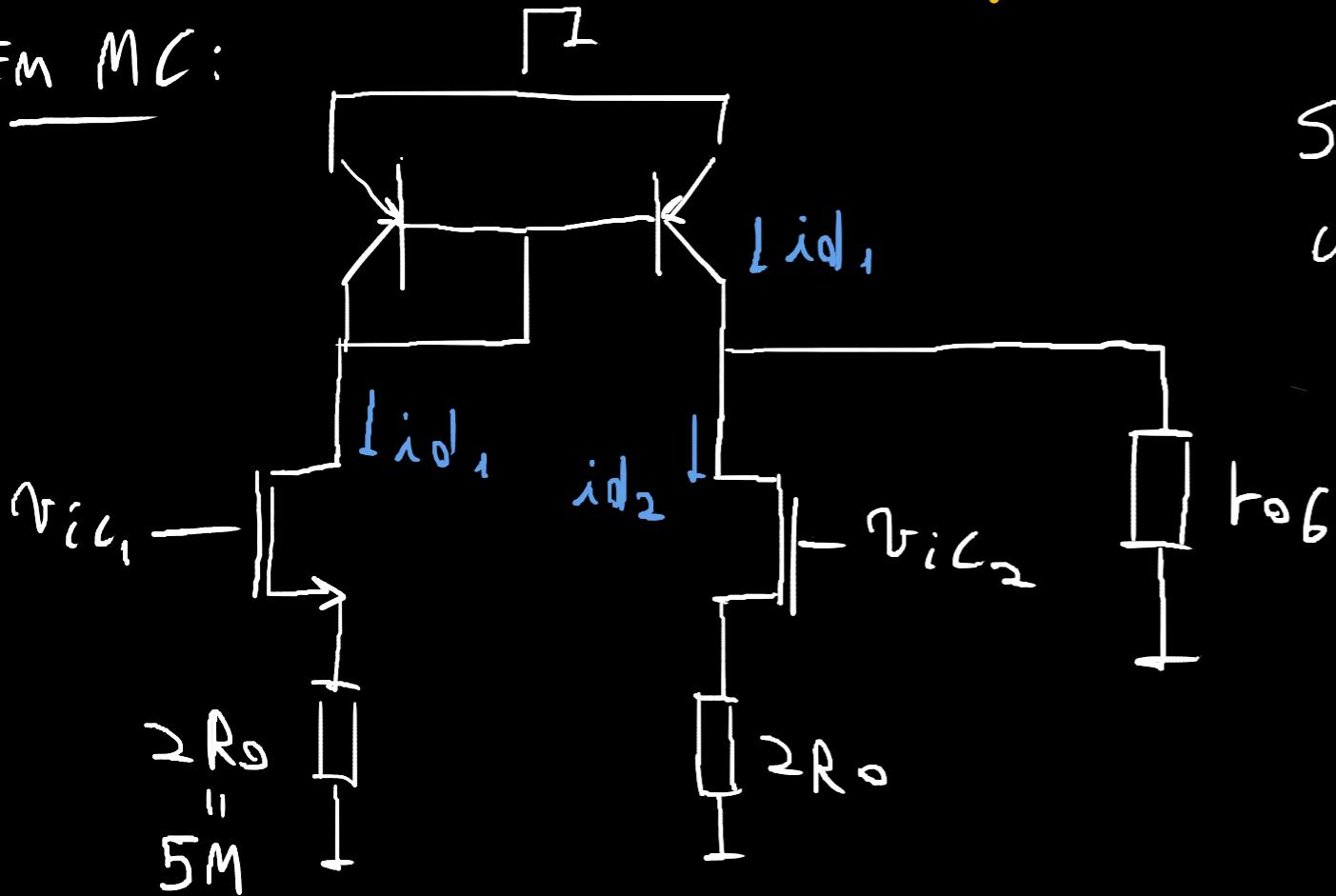
OBS: La fuente relaciona $\rightarrow A_{vd} = g_m \cdot r_{os}$ ANTES: $\frac{g_m \cdot R_D}{2}$
las 2 ramas, de forma tal q' el g_m de

Aca si importa

la primera aparta a la ganancia, desaparece el $1/2$

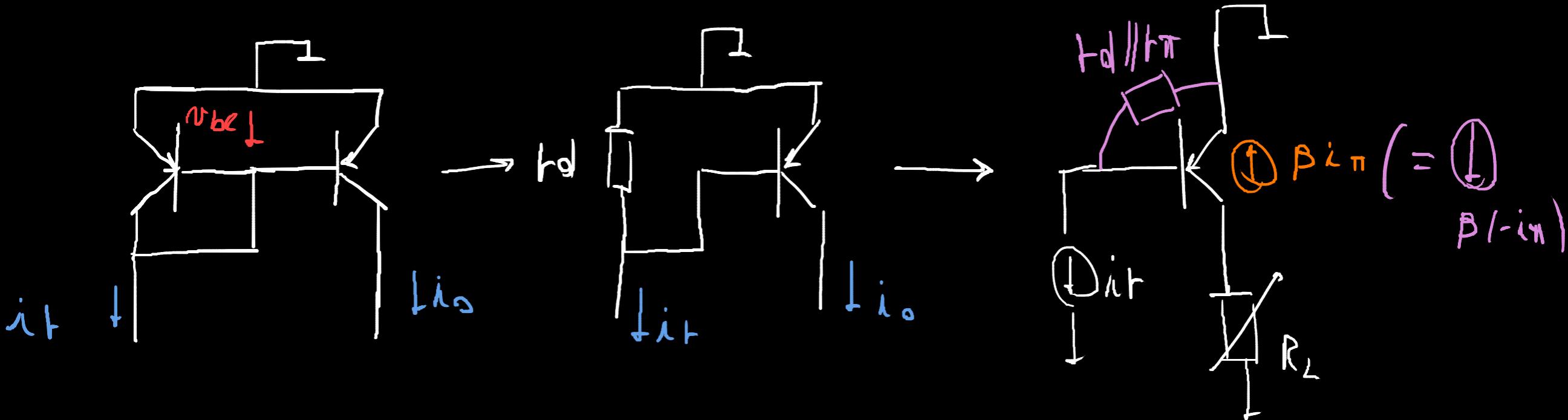
También sube R_o .

En MC:



Si la copia es unitaria, $i_{d_1} = i_{d_2}$
y por los NO circula corriente
En realidad no es tan así

¿Cómo es la copia?



$$r_{\pi} - g_m = \beta$$

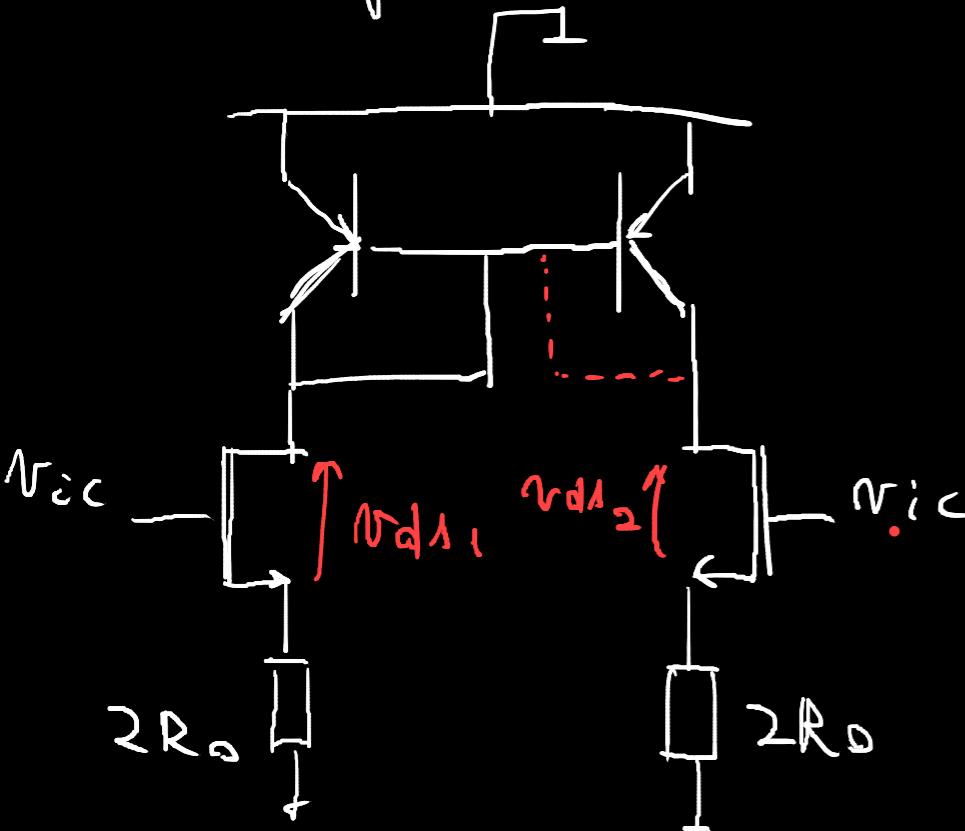
$$i_{\pi} = \frac{-r_{\pi}}{r_{\pi} + r_o} \cdot i_{in}$$

RARO

$$i_o = \beta(-i_{\pi}) = i_{in} \cdot \frac{\beta/g_m}{\beta/g_m + 1/g_m} = i_{in} \cdot \frac{\beta}{\beta+1} \stackrel{?}{=} \frac{\beta}{\beta+2}$$

CONSULTAR

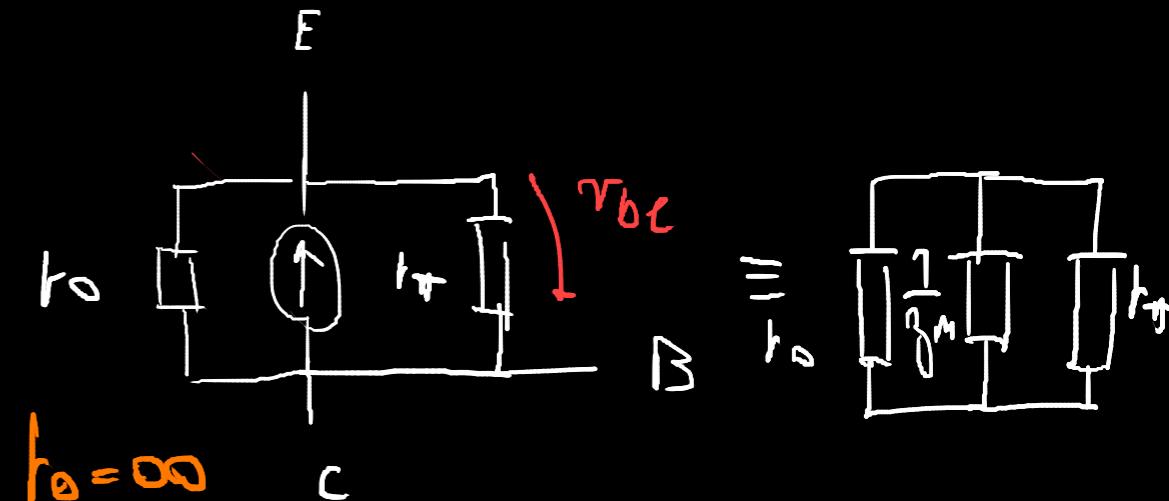
Además hay otro tema: como las entradas son las mismas



Como las entradas son las mismas

$$V_{ds1} = V_{ds2} \rightarrow \text{Corte virtual}$$

?



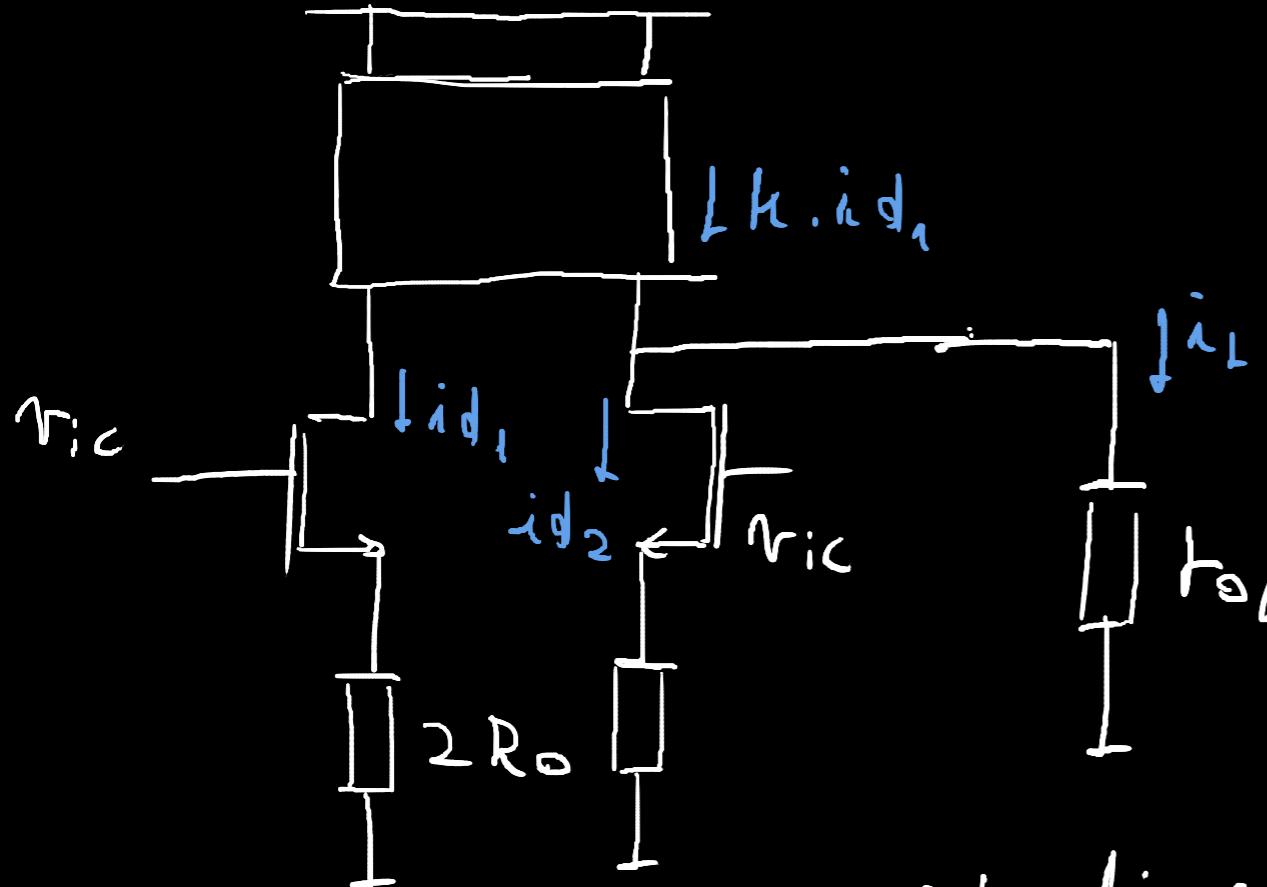
$$r_o \parallel r_T \parallel \frac{r_T}{\beta} = \frac{r_T \cdot r_T / \beta}{r_T + r_T / \beta} = \frac{r_T}{\beta + 1} = r_{eq}$$

Si V_{MB} desprecia r_o , el TBJ conectado como dioda es una resistencia req

$$\Rightarrow \text{Desarrolla en la fuente: } i_0 = \beta (-i\pi) = \beta \cdot \frac{r_{eq}}{r_{eq} + r_\pi} \cdot i_r =$$

$$= \beta \cdot \frac{\frac{r_\pi}{B+1} \cdot i_r}{\frac{r_\pi}{B+1} + r_\pi} = \beta \cdot \frac{\cancel{r_\pi} \cdot i_r}{\cancel{r_\pi} + (B+1)\cancel{r_\pi}} = \frac{\beta}{B+2} \cdot i_r \xrightarrow{\text{factor dc copiado}}$$

$$k = \frac{\beta}{B+2} < 1$$



$$\begin{aligned}
 v_o &= i_L \cdot R_{o6} = (k i_{d1} - i_{d2}) R_{o6} = \\
 &= (k - 1) i_{d1} \cdot R_{o6} \\
 &\quad \left. \begin{array}{l} \text{?} \\ \text{Cómo } \frac{i_{d1}}{R_{ic}} \end{array} \right\}
 \end{aligned}$$

→ realimentando com tempo um amp de T.C.

$$\frac{\frac{g_m N_{f2}}{1 + g_m 2R_o}}{v_{gs} + \underline{i_d} \cdot 2R_o} = \frac{g_m}{1 + g_m 2R_o} \approx \frac{1}{2R_o} \rightarrow \text{realimentador}$$

vgs

$$\frac{V_o}{V_{ic}} = (k-1) f_{os} \cdot \frac{q_m}{1 + q_m 2 R_0} \quad \text{Antes era } - R_D / 2 R_0$$

$$RRM C = 20 \log \left(\frac{\frac{q_m f_{os}}{(1-k) f_{os} q_m}}{1 + q_m 2 R_0} \right) = 20 \log \left(\frac{1 + q_m 2 R_0}{1 - k} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{1 + 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^6}{\frac{2}{102}} \right) = 103 \text{ dB}$$

$$1 - k = 1 - \frac{\beta}{\beta + 2} = \frac{2}{\beta + 2}$$

$$RRMC = 20 \log \left(1 + g_m 2 \cdot R_o \right) + 20 \log \left(\frac{1}{1-k} \right) = \\ = 20 \log \left(1 + g_m 2 R_o \right) + 20 \log \left(\frac{B+2}{2} \right)$$

Antes era $20 \log \left(g_m \cdot R_o \right)$

Conclusión: sin la FES, en señal tengo 2 hemicircuitos descorrelacionados.

con FES, en modo diferencial, las corrientes de AMBOS transistores T1 y T2 fluyen x la carga, aumentando la ganancia en modo diferencial

$$\text{SIN FES: } A_{vd} = \frac{g_m \cdot R_o}{2} \quad \text{CON FES: } A_{vd} = g_m \cdot \cancel{R_o}$$

Aumenta la carga y se va el 2.

En modo común, la FES también correlaciona ambas ramas. Si la copia fuera perfecta, no hay ganancia común, lo que da una RRMC inf.

Para obtener algo más coherente hay que hacer un análisis más detallado, considerando que el factor de copia es < 1 . Igualmente va a ser cercano a 1, de forma tal que por la carga ro6 no circule casi corriente.

3 DUDAS:

1) ¿qué pasa si el factor de copia sí es unitario, es decir, armo la carga activa con MOS?
RTA: nunca es unitario, hay que considerar el EMLC

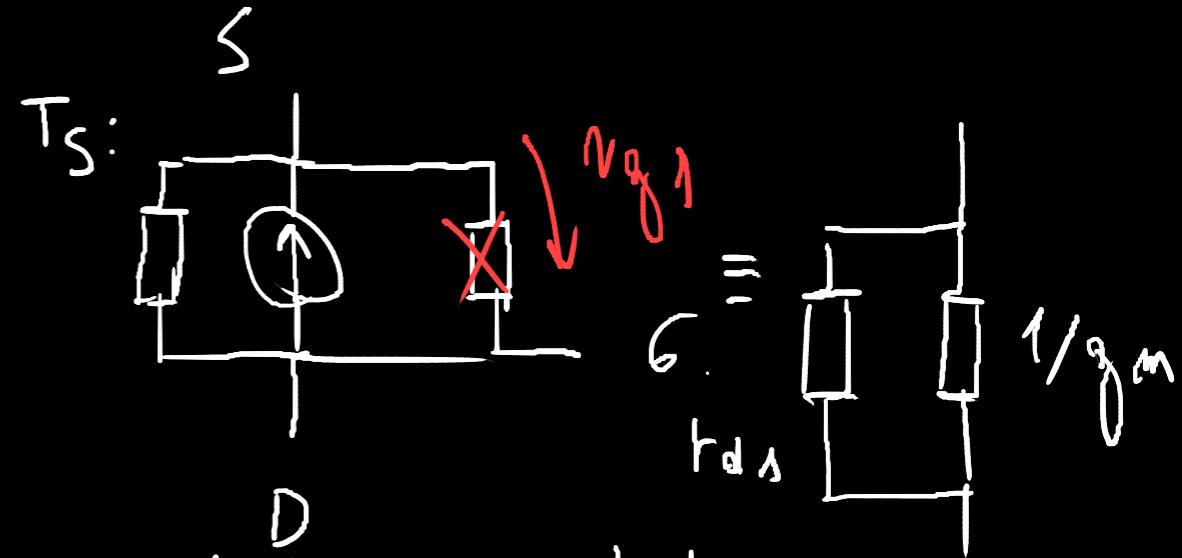
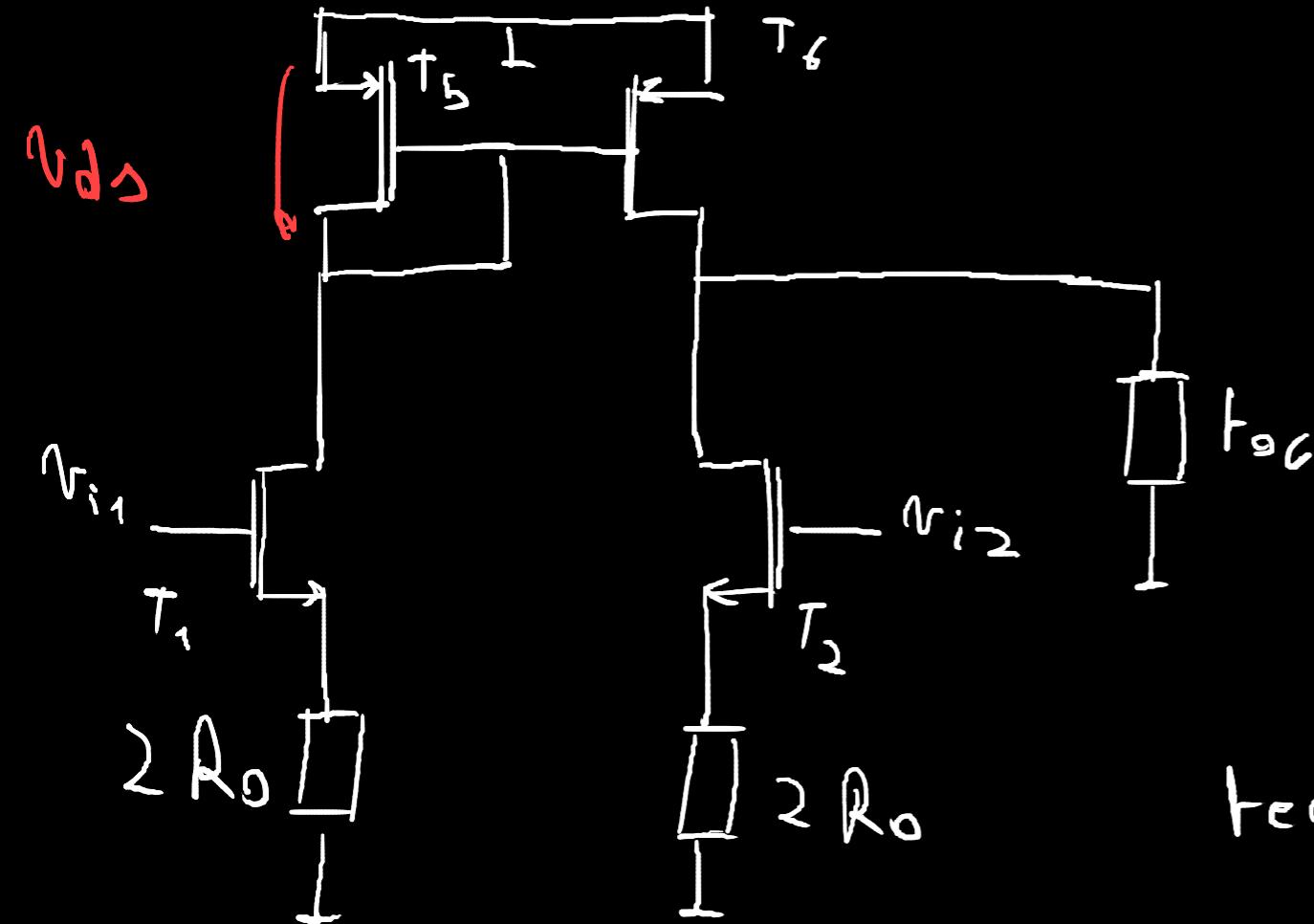
2) ¿Qué pasa si reemplazo el tbj conectado como diodo por una resistencia?
Es lo que ya hice, se forma un divisor de corrientes entre r_{pi_6} y r_{eq}
OJO al piojo: hay que considerar el paralelo r_{pi_5} y $1/gm5$, no vale despreciar.
También podría considerar EE, pero ya es un despopósito me parece.

3) ¿Corto virtual???

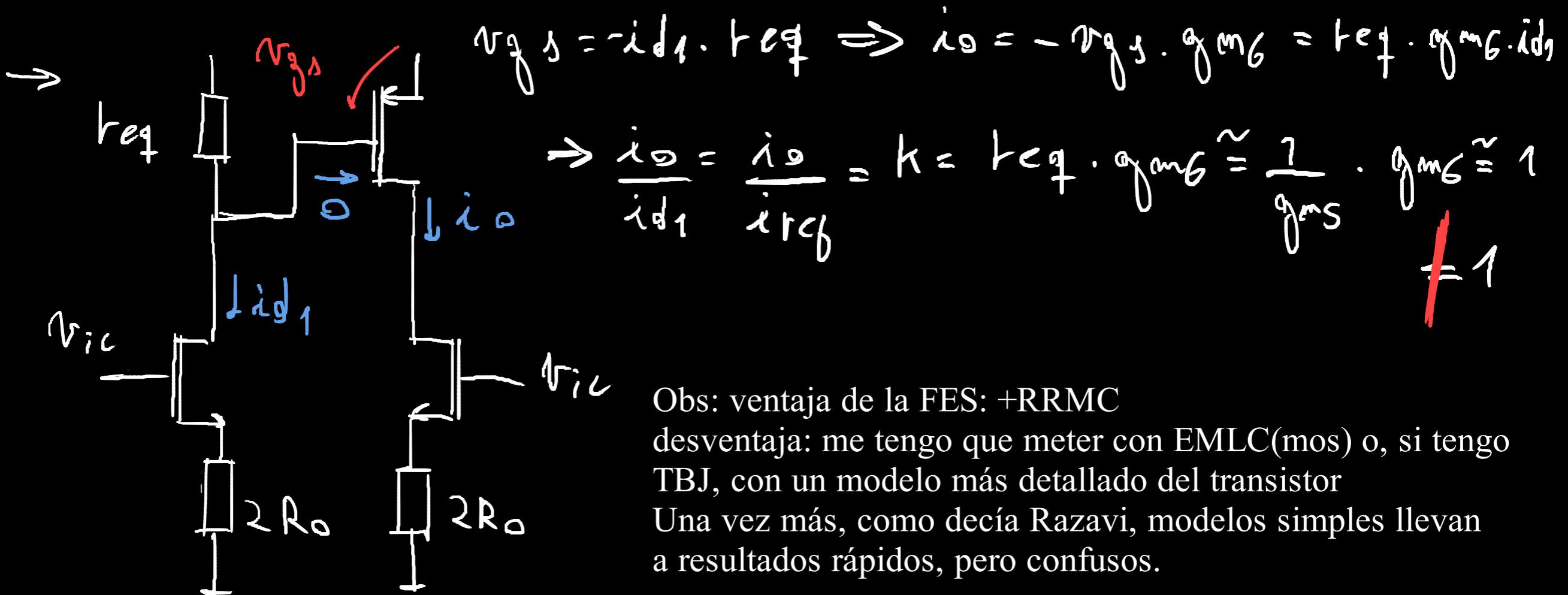
El circuito en modo común emisor Idea: el factor de copia

No va a ser 1 x'

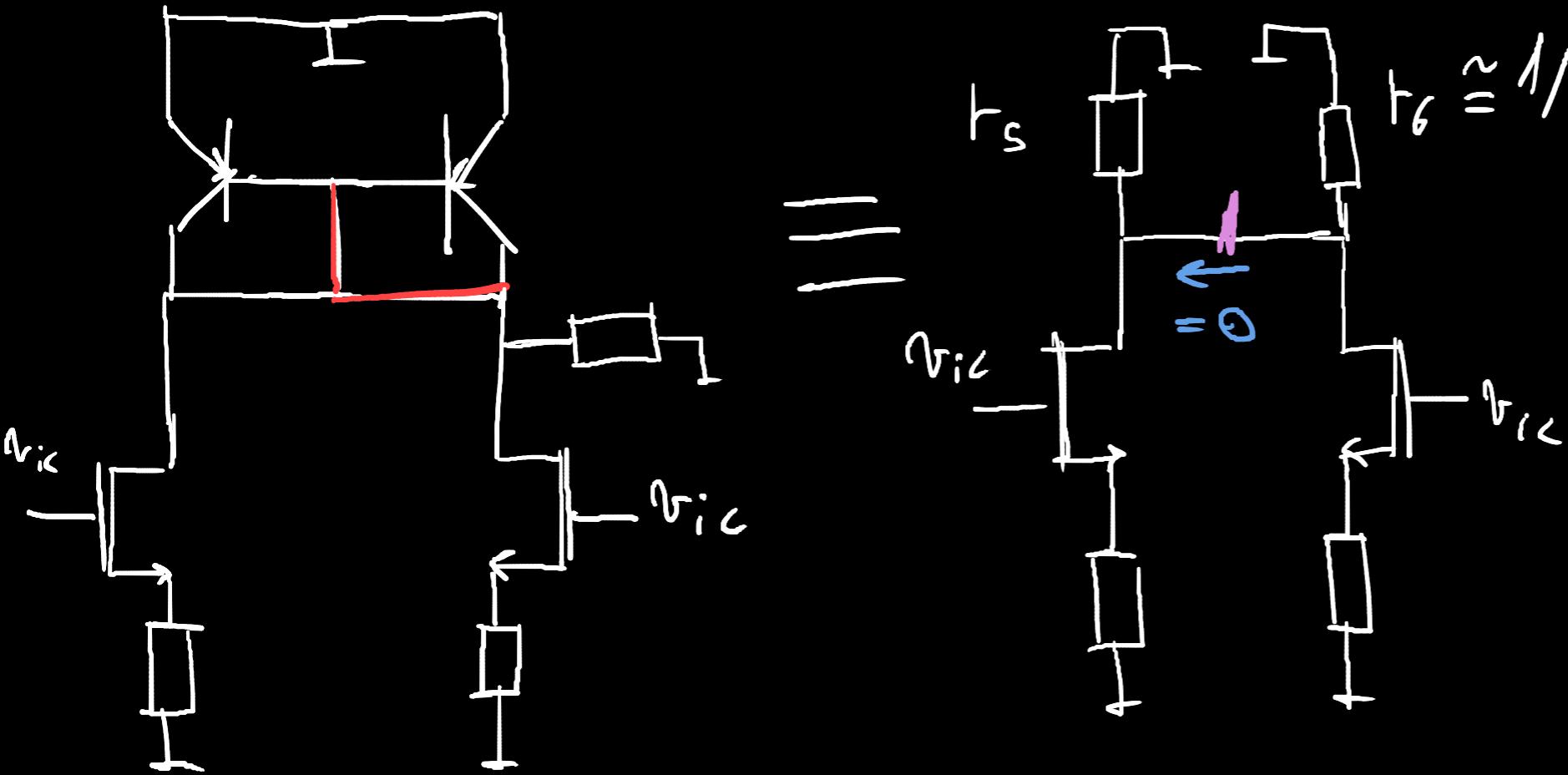
el efecto EMLC



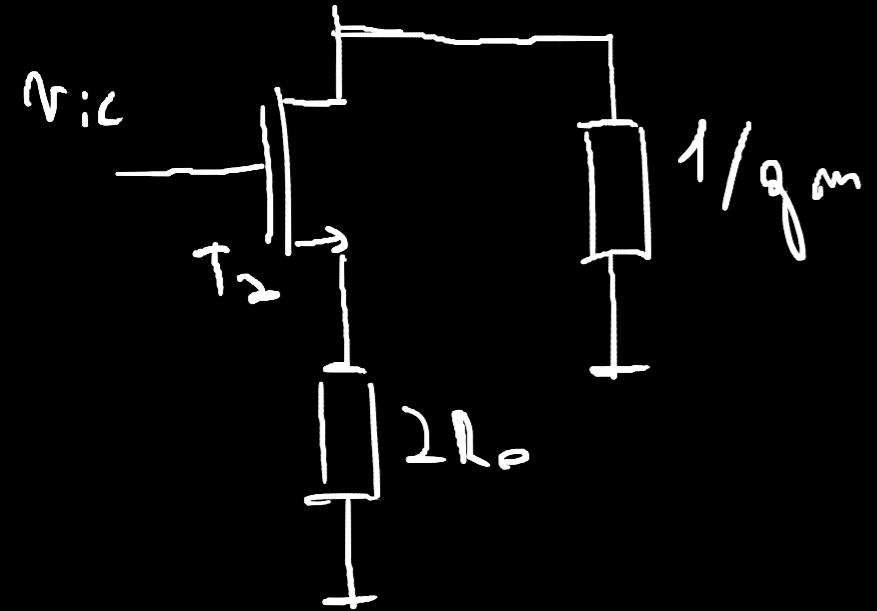
$$t_{eq} = \frac{r_{ds}/g_m}{r_{ds} + 1/g_m} = \frac{r_{ds}}{1 + r_{ds} \cdot g_m} \approx \frac{1}{g_m s}$$



Duda 3: ¿Qué pasa si en lugar de considerar $k < 1$ considero que hay un corte virtual



$$r_s \quad r_o \approx 1/g_m \quad \text{termina quedando um SC}$$



$$A_{V_C} = \frac{-i_D / g_m}{\frac{V_{ic} + i_D 2R_o}{i_D}} = \frac{-1 / g_m}{\frac{1 + 2R_o}{g_m}} = \frac{-1}{1 + g_m 2R_o}$$

Carga Resistiva: $A_{V_C} = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m 2R_o}$

Carga activa $k \leq 1$: $A_{V_C} = (1 - k) \frac{-g_m t_{06}}{1 + g_m 2R_o}$

Carga activa: $A_{V_C} = \frac{-1}{1 + g_m 2R_o}$
(carga virtual)

$$1 - k = \frac{2}{\beta + 2} \approx \frac{2}{\beta}$$

$$g_m k \pi = \beta$$

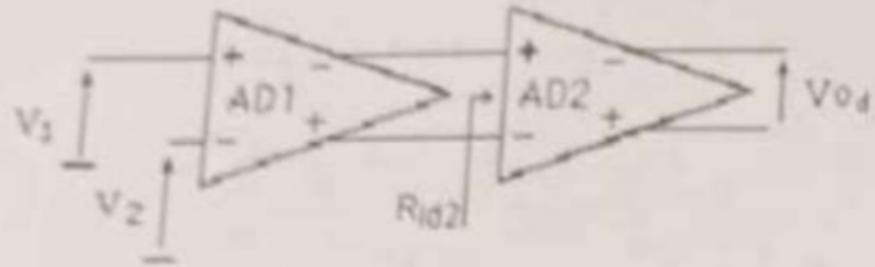
$$\frac{g_m}{\beta} = \frac{1}{r_{\pi}} \quad \frac{r_o}{r_{\pi}} = \frac{V_A / I_c}{V_T / \frac{I_c}{\beta}} = \frac{V_A / I_c}{\beta \cdot V_T / I_c} = \frac{V_A}{\beta V_T} \quad \{$$

Haciendo los 2 análisis de distinto. CONSULTAR

$$\left. \begin{array}{l} \text{y si } r_6 = \frac{1}{g_m} // r_{og} = \frac{r_{og} / g_m}{1 + r_{og}} = \frac{r_{og}}{1 + g_m r_{og}} ? \text{ No lo veo} \end{array} \right.$$

ESTE del corte virtual me confundiría más. CONSULTAR

1.- Se utilizan dos amplificadores diferenciales, conectados como se indica (se omiten en el esquema las fuentes de alimentación). Se admite que $R_{id2} \rightarrow \infty$ y que $A_{vd1} = A_{vd2} = 100$.



a) Definir y hallar la V_{offset} total del circuito completo si se conocen las V_{offset} de cada AD en forma independiente, siendo:

$$V_{off}(AD1) = V_{off}(AD2) = 1 \text{ mV}$$

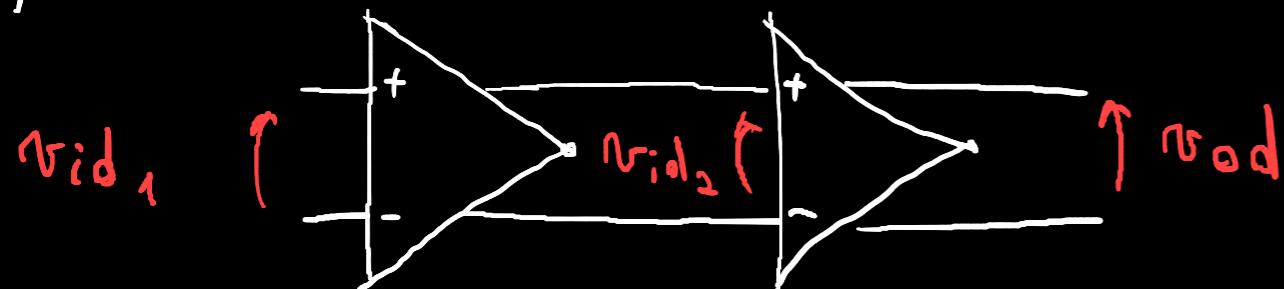
b) Si se tiene un AD con RRMC = 120 dB y otro con RRMC = 80 dB, ¿cuál es conveniente ubicar en el lugar de AD1 y cuál en AD2? Justificar. (se conocen A_{vd} y A_{cd} de c/u)

V_{offset} : tensión de entrada diferencial a aplicar para que la salida sea nula en reposo

Sería más correcto: tensión diferencial en reposo que hay que aplicar para compensar los desapareamientos entre las 2 ramas del diferencial.

Si por las 2 ramas circula la misma corriente, la salida diferencial debe ser 0

a)



V_{id_1}

V_{id_2}

$\uparrow V_{rod}$

Para que V_{rod} sea 0 necesitamos

$$V_{id_2} = 1 \text{ mV}$$

Para que $V_{id_2} = 1 \text{ mV}$ necesitamos

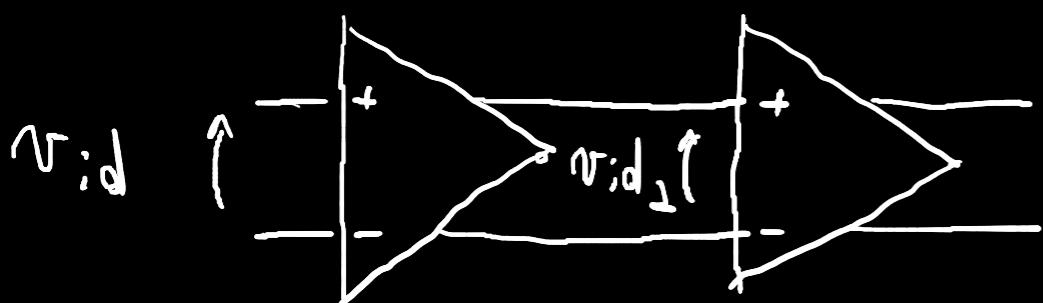
$$V_{id_1} = \frac{1 \text{ mV}}{100} = 10 \mu\text{V} \quad \text{Pone } V_{od_1} = 0$$

CONSULTAR SI ESTA

BIEN (creo q' no) \rightarrow Creo q' si es q' $V_{os} = V_{os_1} + \frac{V_{os_2}}{A_{rod_2}}$

$$\therefore V_{os} = 10 \mu\text{V}$$

b) Pensemos un poquito: Arod de la etapa:



V_{id}

V_{id_2}

$\uparrow V_{rod}$

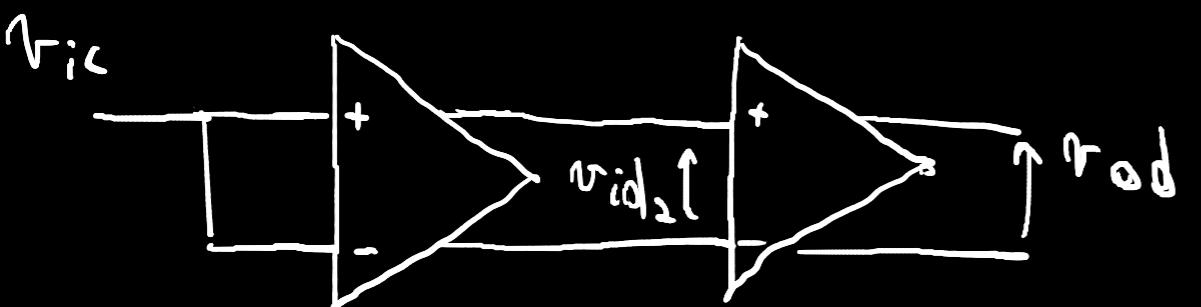
$$V_{rod} = A_{rod_2} \cdot A_{rod_1} \cdot V_{id} \rightarrow A_V = A_{rod_1} \cdot A_{rod_2}$$

$$\text{Pone } V_{od_1} = 1 \text{ mV}$$

$A_{vdc} \rightarrow$ Salida diferencial y entrada común ¿ A_{vdc} de la etapa?

$$RRMC = 20 \log \left(\frac{|A_{vdcl}|}{|A_{vdc1}|} \right) \rightarrow \text{Este es lo q' quiere maximizar}$$

Si me pongo



$$V_{vdcl} = A_{vdc1} \cdot V_{ic} \quad \text{Voy a la entrada}$$

$$V_{od} = A_{vdcl} \cdot A_{vdc1} \cdot V_{ic} \quad \text{Voy a tener}$$

una tensión no

deseada a la salida de AD1.

$$\Rightarrow A_{vdc} = A_{vdcl} \cdot A_{vdc1}$$

$$\rightarrow \frac{A_{vdcl}}{A_{vdc}} = \frac{A_{vdc1} \cdot A_{vdcl}}{A_{vdcl} \cdot A_{vdc1}} = \underbrace{\frac{A_{vdcl}}{A_{vdc1}}}_{A_{vdc1}} \rightarrow \text{La RRMC de toda la etapa depende solo de la RRMC del AD1}$$

Tiene sentido, xq' al AD₂ No hay entrada común, solo diferencial

- Combinando la mayor RRMC en la entrada xq' la 2da etapa solo toma la salida diferencial

DUD_d: ¿Cómo es la salida común del AD?