

Parcial de Electrónica Avanzada 2
03/05/2023

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas.

La prueba es **sin** material.

Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

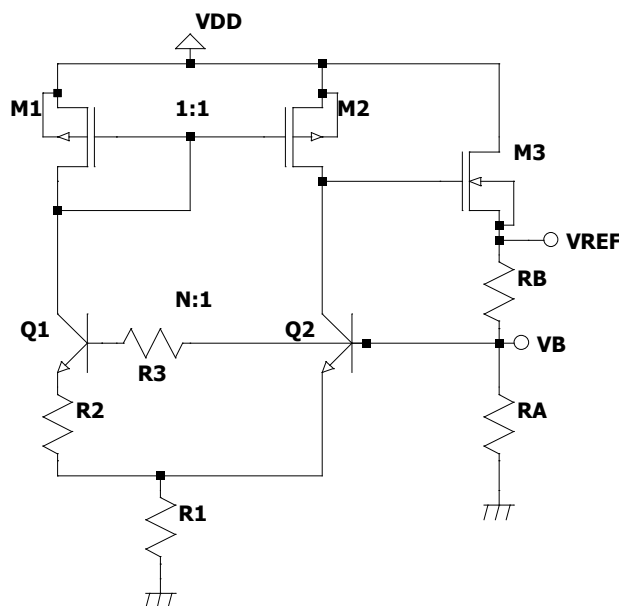
Problema 1 (34 ptos):

El circuito de la figura es una referencia de tensión tipo Brokaw. Para las partes a) y b) puede despreciar el efecto de las corrientes de base y considerar $R3=0$.

- a) Calcule la tensión V_B y determine $R1$ para que la misma sea independiente de la temperatura.
- b) Determine R_B para que $V_{REF}=2.4V$.
- c) Si consideramos que las corrientes de base no son despreciables:
 - i. Determine el error en V_{REF} en función de las corrientes de base.
 - ii. Determine cuál debe ser el valor de $R3$ para eliminar el error debido a las corrientes de base.

Datos:

- $R2=100\Omega$, $R_A=1.2k\Omega$
- $N=8$, $V_{BE}=V_{G0}-aT$, $V_{G0}=1.2V$, $a=2mV/K$



Problema 2 (33 ptos):

En el circuito de la Figura 1 calcule la ganancia y la resistencia de entrada.

Para no cargar la etapa previa (la cual no se muestra) se requiere aumentar la resistencia de entrada del circuito por lo que se modifica al de la Figura 2.

- a) Identifique los bloques A y β
- b) En lo que sigue se supondrá que se cumplen las condiciones de unidireccionalidad aproximada de los bloques que permite aplicar la representación por diagrama de bloques A y β . Determine el valor de A y β .
- c) Calcule la nueva resistencia de entrada y ganancia en función de A y β .

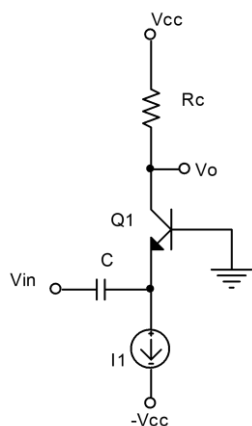


Figura 1

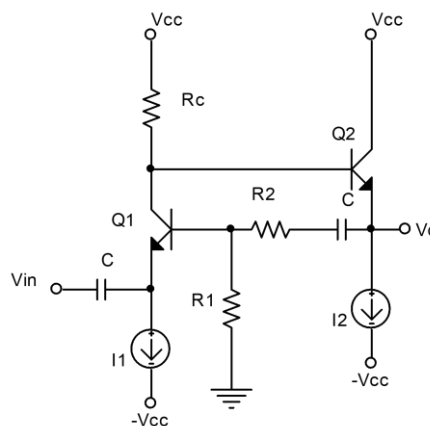


Figura 2

- Para todo el problema asuma la tensión de Early de los transistores y C infinitos.
- Exprese los resultados en función de los parámetros de pequeña señal de los transistores, indicando claramente a que transistor (Q1 o Q2) corresponden (ej. gm1 o gm2). β se asumirá igual para ambos transistores y mucho mayor que 1.

Problema 3 (33 ptos):

Se considera el circuito de la Figura 1. Indicar:

- a) ganancia diferencial en bajas frecuencias,
- b) frecuencia de ganancia unitaria,
- c) rango de entrada en modo común,
- d) resistencia de salida.

Repetir las partes anteriores para el caso del circuito de la Figura 2. Comparar los resultados obtenidos con los dos circuitos.

En ambos casos, asuma que el punto de operación del nodo Vo (fijado externamente) no influye en el ICMR.

Datos

- $V_{DD}=5\text{ V}$, $V_{SS}=-5\text{ V}$, $C_L=5\text{ pF}$.
- Fuente IB: $I_B=800\text{ }\mu\text{A}$, $\Delta V_{\text{mín}}=0.3\text{ V}$.
- $V_{tn}=|V_{tp}|=0.5\text{ V}$, $n_n=n_p=1.3$, $\mu_n C_{ox}=125\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $\mu_p C_{ox}=60\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $V_{An}'=20\text{ V}/\mu\text{m}$, $V_{Ap}'=30\text{ V}/\mu\text{m}$, $L_n=L_p=1\text{ }\mu\text{m}$, $W_n=40\text{ }\mu\text{m}$, $W_p=90\text{ }\mu\text{m}$.

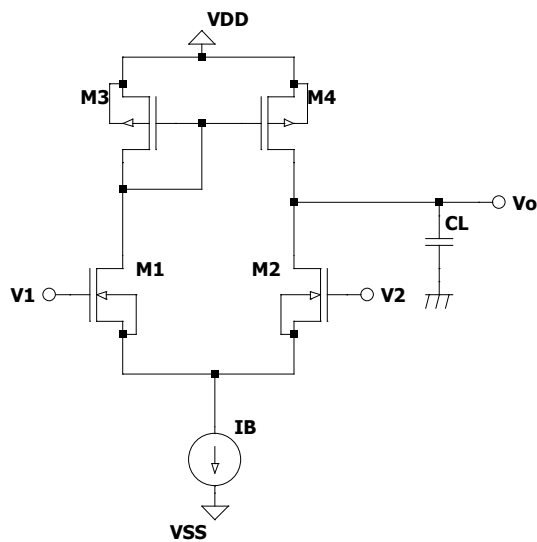


Figura 1

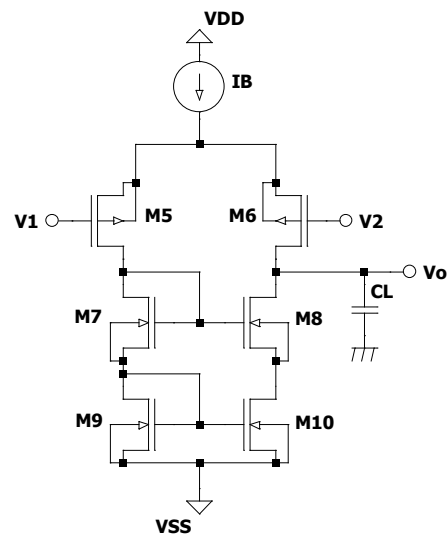
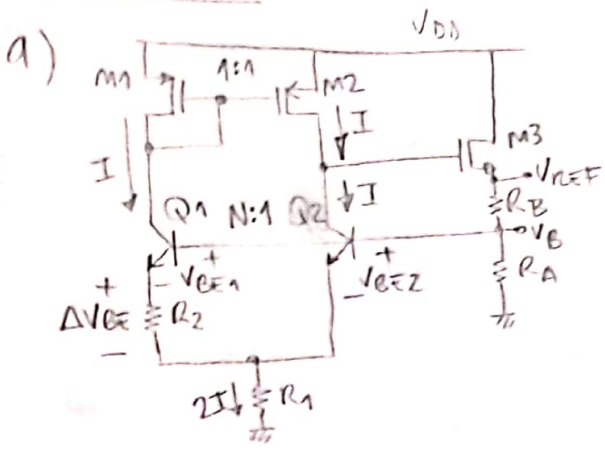


Figura 2

Problema 1



$$\Delta V_{BE} = V_{BE2} - V_{BE1} \Rightarrow \Delta V_{BE} = V_T \ln \left(\frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{I_{S1}}{I_{S2}} \right)$$

$$V_{BE} = V_T \ln \left(\frac{I}{I_S} \right)$$

$$I_1 = I_2 = I$$

$$I_{S1} = N I_{S2}$$

$$\Rightarrow \Delta V_{BE} = V_T \ln N$$

$$\Delta V_{BE} = I \cdot R_2 \Rightarrow I = \frac{V_T \ln N}{R_2}$$

$$\Rightarrow V_B = V_{BE2} + 2 V_T \frac{R_1}{R_2} \cdot \ln N$$

$$V_B = V_{BE2} + 2 I R_1$$

$$\frac{\partial V_B}{\partial T} = \frac{\partial V_{BE2}}{\partial T} + 2 \frac{R_1}{R_2} \ln N \frac{\partial V_T}{\partial T} \Rightarrow \frac{\partial V_B}{\partial T} = -a + 2 \frac{R_1}{R_2} \ln N \frac{k_B}{q} = 0 \Rightarrow R_1 = \frac{R_2 a q}{2 k_B \ln N}$$

$$\frac{\partial V_{BE2}}{\partial T} = -a$$

$$\frac{\partial V_T}{\partial T} = \frac{k_B}{q}$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{100 \Omega \times 2 \text{ mV/K}}{2 \cdot 86,7 \mu\text{V/K} \cdot \ln 8} \Rightarrow R_1 = 555 \Omega$$

$$V_B = V_{60} - aT + 2 I R_1$$

$$I(T=300\text{K}) = \frac{V_T \cdot \ln N}{R_2} \Big|_{T=300\text{K}} = \frac{26 \text{ mV} \cdot \ln 8}{100 \Omega} = 541 \mu\text{A}$$

$$\Rightarrow V_B = 1,2 \text{ V} - 2 \frac{\text{mV}}{\text{K}} \cdot 300 \text{ K} + 2 \cdot 541 \mu\text{A} \cdot 555 \Omega$$

$$\boxed{V_B = 1,2 \text{ V}}$$

b) $V_{REF} = 2,4 \text{ V} = 2 \times V_B \Rightarrow R_B = R_A$

c) i) $\frac{V_B}{R_A} + I_{B1} + I_{B2} = \frac{V_{REF}^* - V_B}{R_B} \Rightarrow V_{REF}^* = 2 V_B + 2 I_B R_B$

$$I_B = I_{B1} = I_{B2}$$

$$R_A = R_B$$

$$\frac{V_{REF}^* - V_{REF}}{V_{REF}} = \frac{2 V_B - 2 I_B R_B - 2 V_B}{2 V_B} \Rightarrow \frac{V_{REF}^* - V_{REF}}{V_{REF}} = \frac{I_B R_B}{V_B}$$

$$c) ii) \left. \begin{aligned} V_{BE2} &= V_{R3} + V_{BE1} + V_{R2}' \Rightarrow V_{R2}' = V_T \ln N - V_{R3} \\ I_{R2}' &= \frac{V_{R2}'}{R_2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{R2}' = \frac{V_T \ln N - V_{R3}}{R_2} \Rightarrow I' = \frac{V_T \ln N - V_{R3}}{R_2} \Rightarrow$$

$$V_B' = V_{BE2} + 2I'R_1$$

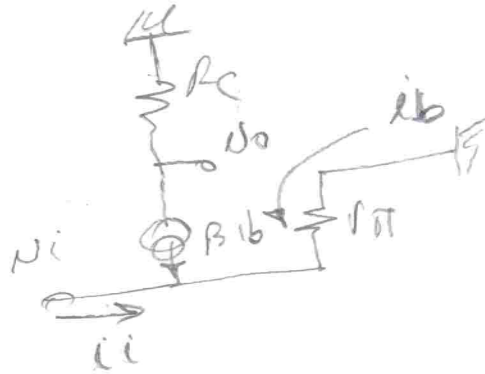
$$\Rightarrow V_B' = \underbrace{V_{GO} - qT + 2I'R_1}_{V_B} + 2 \left(-\frac{V_{R3}}{R_2} \right) \cdot R_1 \Rightarrow V_B' = V_B - 2 \frac{R_1}{R_2} V_{R3} \quad (*)$$

$$V_{REF}' = 2V_B' + 2I_B \cdot R_B \quad (*) \Rightarrow V_{REF}' = 2V_B - 4 \frac{R_1}{R_2} V_{R3} + 2I_B R_B$$

$$\left. \begin{aligned} V_{REF}' = 2V_B &\Leftrightarrow 4 \frac{R_1}{R_2} V_{R3} = 2I_B R_B \\ V_{R3} &= I_B R_3 \end{aligned} \right\} \Rightarrow 4 \frac{R_1}{R_2} I_B R_3 = 2I_B R_B \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_3 = \frac{R_B}{2} \cdot \frac{R_2}{R_1} = \frac{1,2 \text{ k}\Omega}{2} \cdot \frac{100 \Omega}{555 \Omega} \Rightarrow \boxed{R_3 = 108 \Omega}$$

1. En señal:



$$i_b = -\frac{u_i}{r_{\pi}} \quad (1)$$

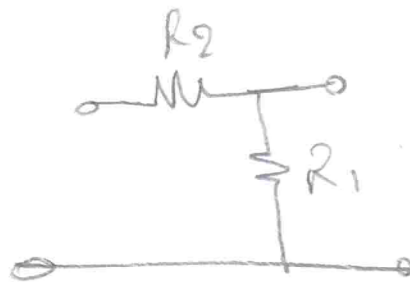
$$i_i = -(\beta + 1) i_b \quad (2)$$

$$u_o = -R_c \beta i_b \quad (3)$$

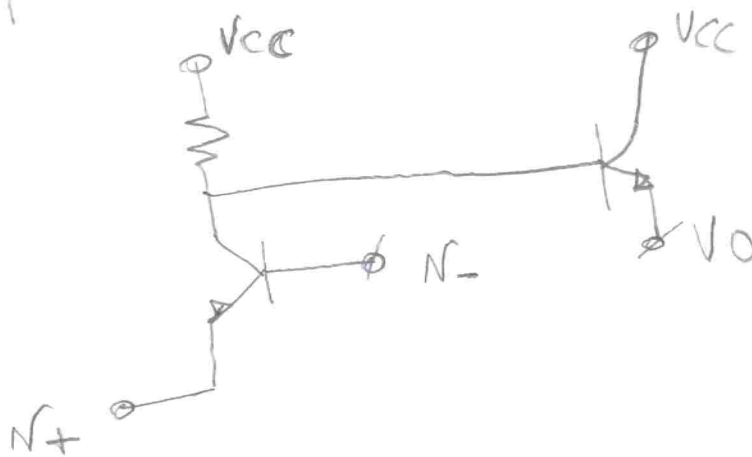
de (1) y (3) $\Rightarrow u_o = +\frac{R_c \cdot \beta}{r_{\pi}} u_i \Rightarrow \boxed{\frac{u_o}{u_i} = g_m R_c}$

$i_i = (\beta + 1) \frac{u_i}{r_{\pi}} \Rightarrow R_i = \frac{u_i}{i_i} = \frac{r_{\pi}}{(\beta + 1)} = \frac{1}{g_m} \quad \beta \gg 1$

2. Bloque B:

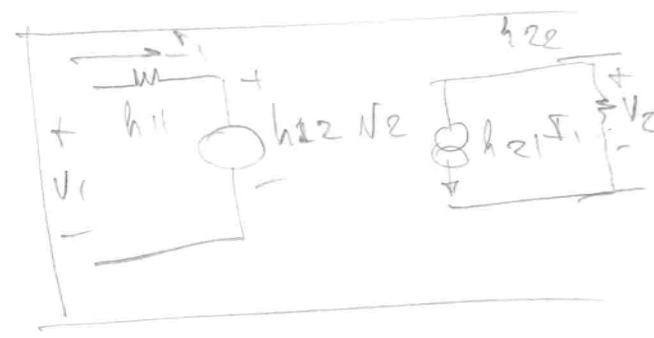


Bloque A:



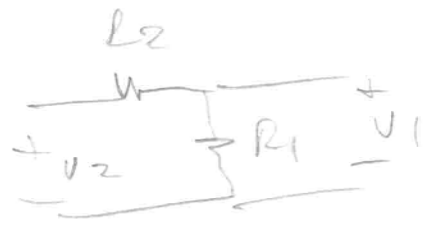
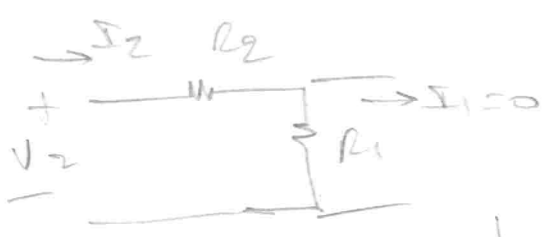
h₁₁ del bloque B = $\frac{V_1}{I_1} \Big|_{V_2=0} = R_2 \parallel R_1$

(2)



h₂₂ del bloque B

= $\frac{V_2}{I_2} \Big|_{I_1=0} = R_2 + R_1 = R_{ee}$

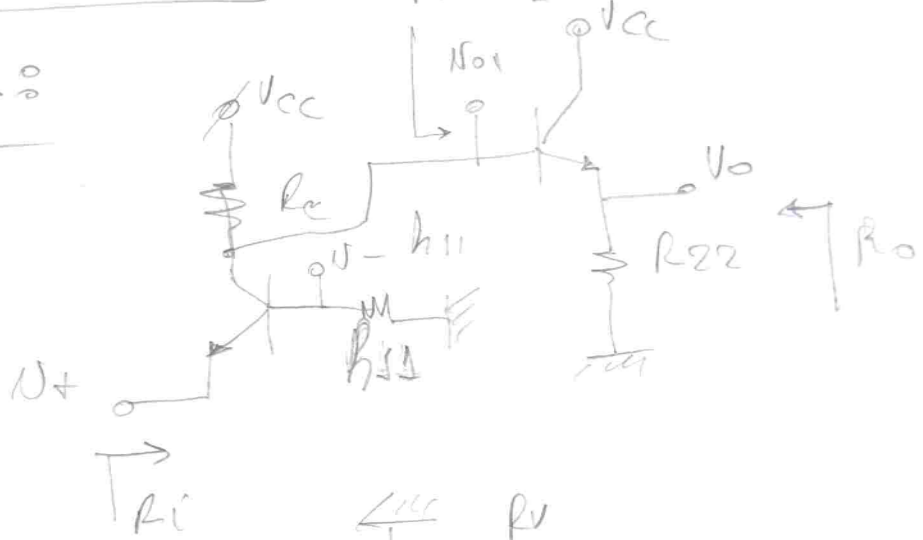


$\beta = h_{12} = \frac{N_1}{N_2} \Big|_{I_1=0}$

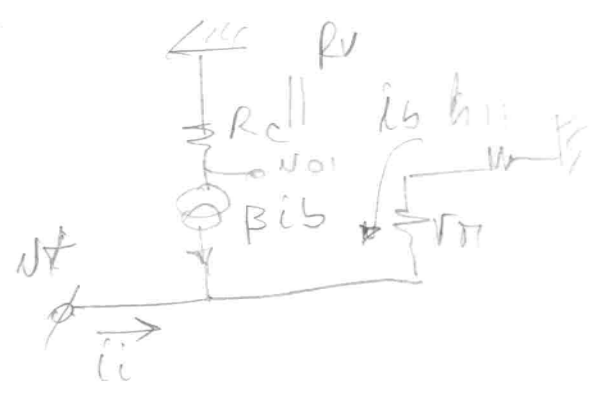
$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

$R_V = R_{T2} + (\beta + 1) \cdot R_{ee}$

Bloque A:



$A = \frac{N_0}{N_+}$



$$i_b = -\frac{v_i}{r_{\pi} + h_{11}} \quad (1) \quad v_i = -(\beta+1)i_b \quad (2) \quad (3)$$

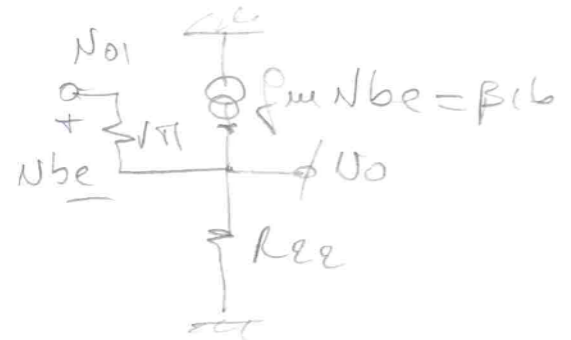
$$v_{o1} = -\beta i_b (R_c \parallel R_v) \quad (3)$$

$$\Rightarrow \frac{v_{o1}}{v_i} = \frac{\beta (R_c \parallel R_v)}{r_{\pi} + R_c \parallel R_i}$$

$$\boxed{R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{r_{\pi} + R_c \parallel R_i}{\beta+1}}$$

$$\frac{v_o}{v_{o1}} = v_o = (\beta+1) i_b \cdot R_{ee}$$

$$i_b = \frac{v_{o1} - v_o}{r_{\pi}}$$



$$\Rightarrow v_o = \frac{(\beta+1) (v_{o1} - v_o) R_{ee}}{r_{\pi}}$$

$$\Rightarrow v_o (1 + \beta_{fe} R_{ee}) = \beta_{fe} v_{o1} R_{ee} \Rightarrow \frac{v_o}{v_{o1}} = \frac{\beta_{fe} R_{ee}}{1 + \beta_{fe} R_{ee}}$$

$$\Rightarrow \boxed{A = \frac{\beta (R_c \parallel R_v)}{r_{\pi} + R_c \parallel R_i} \cdot \frac{\beta_{fe} R_{ee}}{1 + \beta_{fe} R_{ee}}}$$

$$\Rightarrow \boxed{G = \frac{A}{1 + AB}}$$

$$\boxed{R_{if} = R_i (1 + AB)}$$

Amir

$$a) I_{D_{1,2}} = \frac{I_D}{2} = 400 \mu A = I_{D_{3,4}}$$

$$I_{D_{1,2}} = \frac{\beta_{n,2}}{2n} (V_{GS} - V_T)^2 \Rightarrow V_{effn} = V_{GS} - V_T = \sqrt{\frac{2n I_{D_{1,2}}}{\beta_{n,2}}} = 0,46V$$

$$\beta_{n,2} = \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W_{1,2}}{L} = 5 mA/V^2$$

$$\beta_{p,4} = \mu_p C_{ox} \cdot \frac{W_{3,4}}{L} = 5,4 mA/V^2$$

$$I_{D_{3,4}} = \frac{\beta_{p,4}}{2n} (V_{SG} - V_T)^2 \Rightarrow V_{effp} = V_{SG} - V_T = \sqrt{\frac{2n \cdot I_{D_{3,4}}}{\beta_{p,4}}} = 0,44V$$

$$g_{m_{1,2}} = \sqrt{2 I_{D_{1,2}} \cdot \frac{\beta_{n,2}}{n}} = 1,75 mA/V$$

$$r_{o_{1,2}} = \frac{V_{A_{1,2}}}{I_{D_{1,2}}} = 50 k\Omega, \quad r_{o_{3,4}} = \frac{V_{A_{3,4}}}{I_{D_{3,4}}} = 75 k\Omega$$

$$V_{A_{1,2}} = V_{A_n}' \cdot L_{1,2} = 20V$$

$$V_{A_{3,4}} = V_{A_p}' \cdot L_{3,4} = 30V$$

$$a) \quad k = \frac{N_0}{N_1 - N_2} = g_{m_{1,2}} \cdot r_{o_2} \parallel r_{o_4} = 52,62 \text{ } \sqrt{V}$$

$$b) \quad f_T = \frac{g_{m_{1,2}}}{2\pi \cdot C_L} = 56 \text{ MHz}$$

$$c) N_{CM \min} = V_{SS} + V_{S \min} + V_{AS_{1,2}} = -5 + 0,3 + 0,96 = -3,74$$

$$\left(\underset{N_{D1}}{V_{DD}} - \underset{N_{S1}}{V_{SA3}} \right) - \left(N_{CM \max} - V_{AS1} \right) \geq \frac{V_{AS1} - V_T}{n}$$

$$\Rightarrow N_{CM \max} \leq V_{DD} - V_{SA3} + V_{AS1} - \frac{V_{AS1}}{n} + \frac{V_T}{n} = 4,67 \text{ V}$$

$$V_{SA3} = V_{thp} + V_T = 0,94 \text{ V}$$

d)

OUTPUT SWING

$$\left(V_{DD} - V_{SDSAT4}, V_{SS} + V_{S \min} + V_{SSSAT1} \right)$$

$$V_{SDSAT4} = \frac{V_{SA4} - V_T}{n} = 0,34 \text{ V}$$

$$V_{SSSAT1} = \frac{V_{AS1} - V_T}{n} = 0,35 \text{ V}$$

$$OSW = \left(4,66 \text{ V}, -4,35 \text{ V} \right)$$

$$e) R_0 = R_{O2} \parallel R_{O4} = 30 \text{ k}\Omega$$

a2) Idem 2 pero cambia r_o y g_m

$$\beta_{5,6} = \beta_{3,4}, \quad \beta_{7...10} = \beta_{1,2}$$

$$r_o = r_{o6} \parallel r_{o \text{ CASCODE } M_{8,10}}$$

$$r_{o \text{ CASCODE } M_{8,10}} = g_{mB} r_{o8} \cdot r_{o10} = 9.38 \text{ M}\Omega$$

$$g_{mB} = g_{m1,2}$$

$$r_{o10} = r_{o8} = r_{o1,2}, \quad r_{o6} = r_{o3,4}$$

$$g_{m_{5,6}} = \sqrt{2 I_{D_{5,6}} \cdot \frac{\beta_{5,6}}{n}} = 1.82 \text{ mA/V}$$

$$G = \frac{N_O}{N_1 - N_2} = g_{m_{5,6}} \cdot \underbrace{r_{o6} \parallel r_{o \text{ CASCODE } M_{8,10}}}_{73.7 \text{ k}\Omega} = 134 \text{ V/V}$$

$$b2) \quad f_T = \frac{g_{m_{5,6}}}{2\pi \cdot C_L} = 58 \text{ MHz}$$

$$c2) \quad N_{CM \text{ MAX}} = V_{DD} - V_{in_{in}} - V_{s_{5,6}} = 5 - 0.3 - 0.94 = 3.76 \text{ V}$$

$$\left(\underbrace{N_{CM \text{ min}}}_{V_{SS}} + V_{s_{5,6}} \right) - \left(\underbrace{V_{SS}}_{V_{SS}} + V_{s_{7,8}} + V_{s_{9,10}} \right) \geq \frac{V_{s_{4,5}} - V_T}{n}$$

$$\Rightarrow N_{CM \text{ min}} \geq V_{SS} + V_{s_{7,8}} + V_{s_{9,10}} - V_{s_{5,6}} + \frac{V_{s_{4,5}}}{n} - \frac{V_T}{n} = -3.68 \text{ V}$$

da)

$$OSW = \left(V_{DD} - V_{SDSAT_{S,6}} - V_{S_{n,1}}, V_{SS} + V_{DS_{10}} + V_{DSSAT_{B}} \right)$$

$$V_{SDSAT_{S,6}} = \frac{V_{eff,p}}{n} = 0,32V$$

$$V_{DSSAT_{B}} = \frac{V_{eff,n}}{n} = 0,35V$$

$$V_{DS_{10}} = V_{AS_{q}} + V_{AS_{7}} - V_{AS_{B}} = 0,96V$$

$$V_{AS_{q}} = V_{AS_{7}} = V_{AS_{B}} = V_{eff,n} + V_T = 0,96V$$

$$OSW = (4,36, -3,69)$$

e₂) $r_o = 73,7k\Omega$

Fig 1

Fig 2

g_m

52,6 V/V

134 V/V

f_T

56 MHz

58 MHz

ICMR

(-3,74V, 4,67V)

(-3,68, 3,76)

OSW

(4,66, -4,35)

(4,36, -3,69)

r_o

30k Ω

73,7k

Mejoró en ganancia y resistencia de salida,
mismo f_T , menor ICMR y OSW