

Examen de Electrónica 2
17/12/2012

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es **sin** material.

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

Problema 1 : (36 puntos)

- Para el oscilador de la Figura 1 calcular frecuencia y condición de oscilación.
- Si la relación G_m/g_{mQ} en función de la relación $V_p/(V_{GS}-V_T)$ es la dada en la Figura 2, ¿cual es el valor de la amplitud de las oscilaciones ?
(V_p es la amplitud de la señal entre Gate y Source del transistor , V_{GS} es el valor de la tensión Gate-Source de polarización y V_T la tensión umbral del transistor).
- ¿Cual es la mínima corriente de polarización que garantiza el arranque del oscilador ?

Datos: $R_E = 750 \Omega$, $R_L = 1,2 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 330 \Omega$, $R_2 = 680 \Omega$, $C_1 = 16 \text{ pF}$, $C_2 = 50 \text{ pF}$, los condensadores C_p se podrán considerar infinitos.

$V_{DD} = 10\text{V}$

Para M1: $\beta = 2\text{mA/V}^2$, $V_T = 1\text{V}$, la polarización es tal que el transistor trabaja en la zona de saturación.

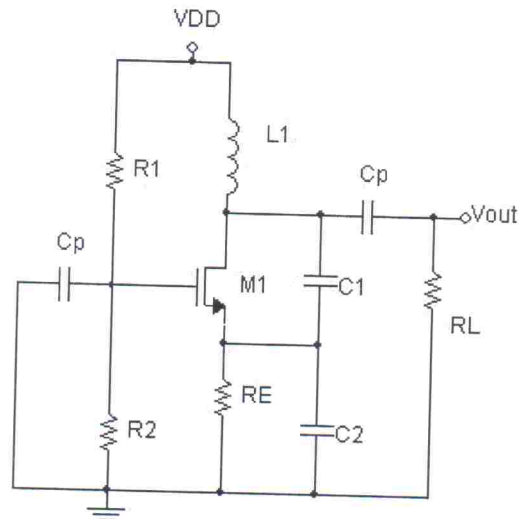


Figura 1

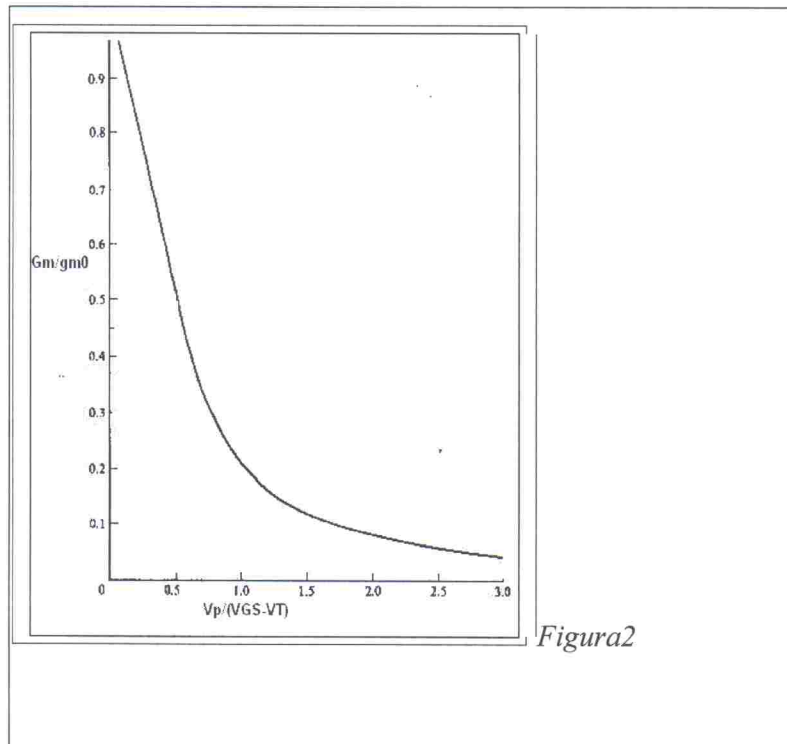
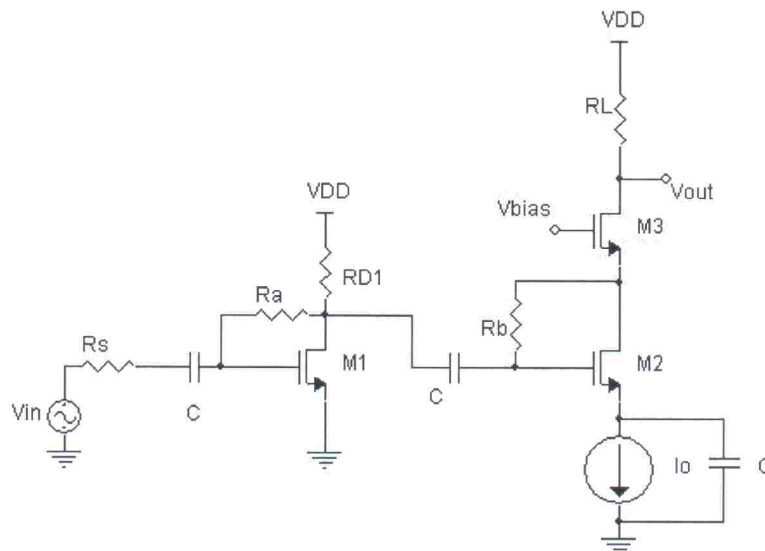


Figura2

Problema 2: (36 puntos)

- a) Para el amplificador de la Figura calcular la ganancia V_{out}/V_{in} a frecuencias medias.
- b) Calcular la frecuencia de corte superior.



Datos:

$R_s = 500 \Omega$, $R_L = 1K\Omega$, $R_{D1} = 5k\Omega$, $I_o = 2mA$, $V_{DD} = 5V$, $C = \infty$;

Transistores MOS:

$V_T = 0.8V$, $\beta = 5,7 \text{ mA/V}^2$, $C_{ox} = 1,9 \times 10^{-3} \text{ pF}/\mu\text{m}^2$, $W = 1000 \mu\text{m}$, $L = 20 \mu\text{m}$,

$C_{gs0v} = C_{gd0v} = 0,1 \times 10^{-3} \text{ pF}/\mu\text{m}$.

Observación:

Vbias es tal que los transistores trabajan en saturación, los condensadores de desacople C se considerarán infinitos.

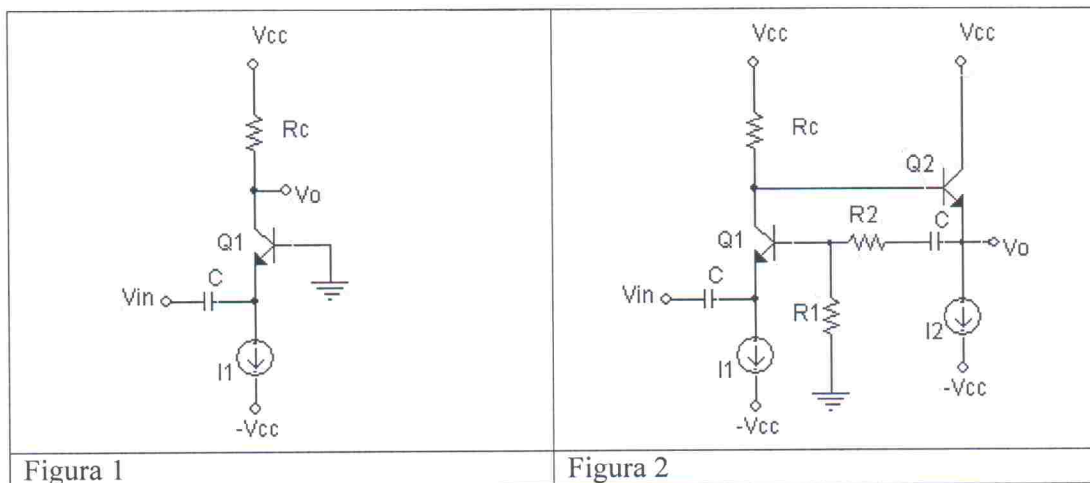
Ra y Rb son resistencias de alto valor que permiten que las tensiones DC de gate de M1 y M2 se ajusten de acuerdo a la polarización deseada, despreciándose su efecto en la ganancia y en la respuesta en frecuencia del circuito.

Problema 3: (28 puntos)

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

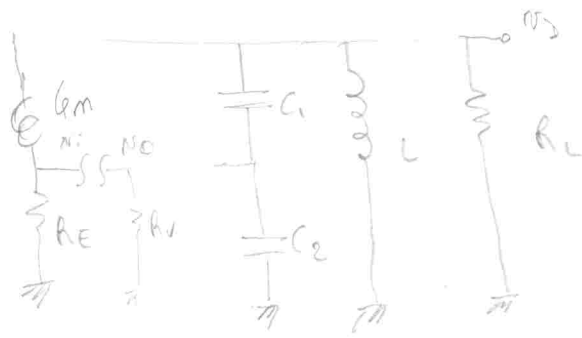
Para no cargar la etapa previa (la cual no se muestra) se requiere aumentar la resistencia de entrada del circuito por lo que se modifica al de la Figura 2.

- 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 .



Para todo el problema asuma la tensión de Early de los transistores y C infinitos. Se expresaran 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 1)



$$\therefore R_v = R_E \parallel \frac{1}{g_m} \gg \frac{1}{g_m}$$

$$N_D = g_m N_i \cdot \frac{C_1 + C_2}{s C_1 C_2} \parallel L \parallel R_L = \frac{g_m N_i \cdot L \cdot s \cdot R_L}{R_L L C_1 (C_2 s^2 + L s) + R_L (C_1 + C_2)}$$

$$N_o = \frac{N_D \cdot \frac{1}{C_2 s}}{\frac{1}{C_1 s} + \frac{1}{C_2 s}} = \frac{N_D \cdot C_1 s}{(C_1 + C_2) s}$$

$$N_o = \frac{g_m N_i \cdot L \cdot s \cdot R_L \cdot C_1}{R_L L C_1 C_2 s^2 + L (C_1 + C_2) s + R_L (C_1 + C_2)}$$

$$\frac{N_o}{N_i} = \frac{g_m R_L L C_1 s}{R_L (L C_1 C_2 s^2 + (C_1 + C_2) s) + R_L (C_1 + C_2)} \quad \frac{16 \cdot 50}{60} =$$

$$\text{Im} \left(\frac{N_o}{N_i} \right) = \phi \Rightarrow L C_1 C_2 \omega_0^2 = C_1 + C_2 \Rightarrow f_{osc} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{L C_1 C_2}} = 204 \text{ kHz}$$

$\omega = \omega_0$

Cond. osc. $\left| \frac{g_m R_L \cdot L \cdot C_1}{L (C_1 + C_2)} \right| = 1$

$$g_m R_L = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = \frac{16 \text{ pF} + 50 \text{ pF}}{16 \text{ pF}} = 4,125$$

$$g_m = \frac{4,125}{112 \text{ k}} = 3,68 \text{ mS} \quad ; \quad R_E \parallel \frac{1}{g_m} = 209 \gg \frac{1}{C_2 \cdot 2\pi \cdot 204 \times 10^3} = 15,6$$

b) $V_G = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 6,73 \text{ V}$

$$V_{S_0} = I_{D_0} \cdot R_E$$

$$I_{D_0} = \frac{\beta}{2} (V_G - I_{D_0} R_E - V_T)^2 \Rightarrow 5625 I_{D_0}^2 - 9,5625 I_{D_0} + 0,0328$$

$$\Rightarrow I_{D_0} \begin{cases} 12,3 \text{ mA} \Rightarrow V_S = 12,3 \text{ mA} \cdot 750 = 9,225 \text{ V} > V_G \quad \times \\ 4,73 \text{ mA} \Rightarrow V_S = 4,73 \text{ mA} \cdot 750 = 3,5475 \text{ V} < V_G \quad \checkmark \end{cases}$$

$$g_{m_0} = \sqrt{2 \beta \cdot I_{D_0}} = \sqrt{2 \cdot 2 \text{ mA/V}^2 \cdot 4,73 \text{ mA}} = 4,35 \text{ mS}$$

$$\frac{A_m}{g_{m_0}} = \frac{3,44 \text{ mS}}{4,35 \text{ mS}} = 0,79$$

De la gráfica $\Rightarrow V_p / (V_{as} - V_T) \approx 0,25$

$$V_{as} - V_T = (4,73 - 3,55 - 1) = 2,18 \Rightarrow V_p = 0,545$$

$$V_{out_f} = V_p \cdot C_{2s} \cdot \left(\frac{1}{C_{1s}} + \frac{1}{C_{2s}} \right) = V_p \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_1} = V_p \cdot 2,25 = 2,25 \text{ V}$$

c) En el arranque $A_m = g_{m_0}$ para que arranque

$$A_m R_L \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2} > 1 \quad g_{m_0} > 3,44 \text{ mS}$$

$$g_{m_0} = \sqrt{2 \cdot 2 \text{ mA/V}^2 \cdot I_{D_0}} > 3,44 \text{ mS} \Rightarrow I_{D_0} > 2,96 \text{ mA}$$

Problema 2:

$$I_{D1} = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = V_{DS} = V_{DD} - R_D \cdot I_D$$

$$V_{GS} = V_{DD} - R_D \cdot \frac{\beta}{2} V_{GS}^2 + \beta V_{GS} \cdot V_T \cdot R_D - R_D \cdot \frac{\beta}{2} V_T^2$$

$$-14,25 V_{GS}^2 + 21,8 V_{GS} - 4,12$$

$$V_{GS} = \frac{-21,8 \pm \sqrt{21,8^2 - 4 \cdot 14,25 \cdot 4,12}}{2 \cdot 14,25}$$

$$= \frac{-21,8 \pm 15,5}{-28,5}$$

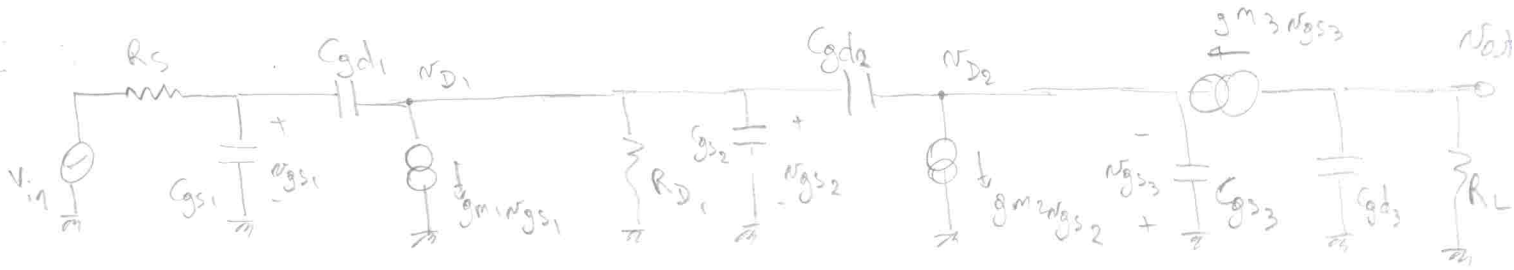
0,22 < V_T
1,31

$$I_{D1} = \frac{5 - 1,31}{5 \text{ k}} = 0,74 \text{ mA} \Rightarrow g_{m1} = \sqrt{2\beta \cdot I_{D1}} = 2,9 \text{ mS}$$

$$g_{m2} = g_{m3} = \sqrt{2\beta I_0} = 4,77 \text{ mA/V}$$

$$C_{gd1,2,3} = W \cdot C_{gdov} = 0,1 \text{ pF}$$

$$C_{gs1,2,3} = \frac{2}{3} W \cdot L \cdot C_{ox} + W C_{gsov} \approx 26,1 \text{ pF}$$



A Frec. medias.

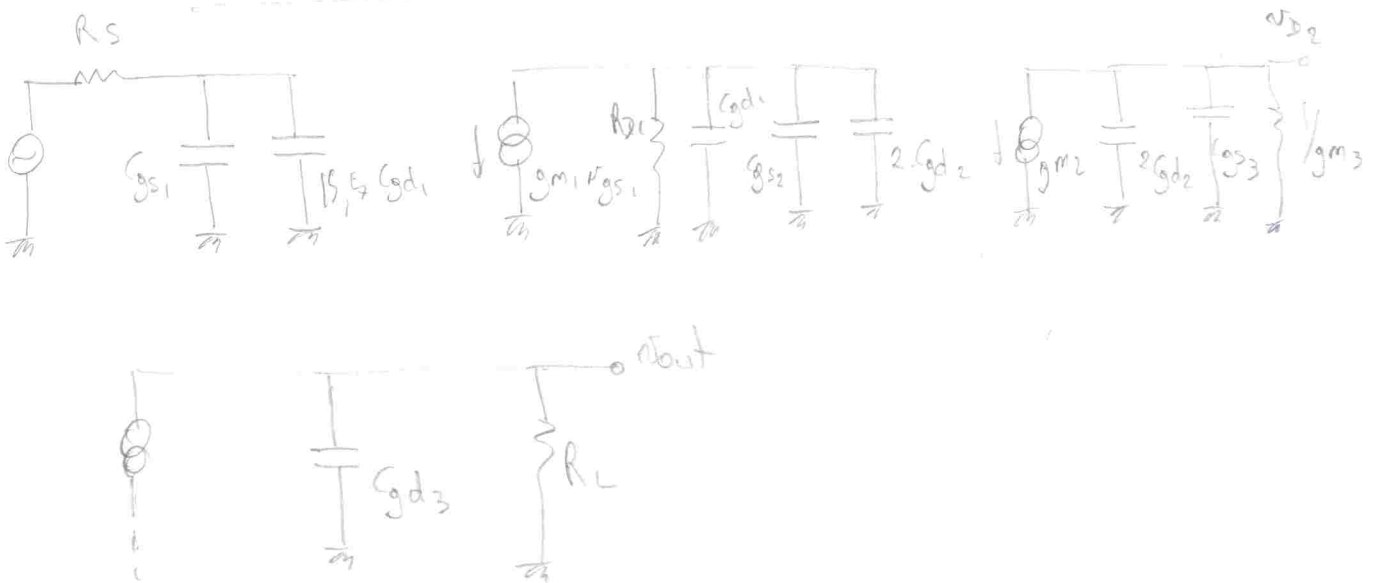
$$\frac{V_{D1}}{V_{gs1}} = -g_{m1} R_{D1} = -14,5$$

$$\frac{V_{D2}}{V_{D1}} = -g_{m2} \cdot \frac{1}{g_{m3}} = -1$$

$$V_{out} = -g_{m3} \cdot V_{D2} \cdot R_L$$

$$\frac{V_{out}}{v_{in}} = -g_{m1} R_{D1} \cdot \frac{-g_{m2}}{g_{m3}} \cdot g_{m3} \cdot R_L = 2,9 \text{ mS} \cdot 5 \text{ k} \cdot 4,77 \text{ mA/V} \cdot 2 \text{ k}$$

$$= 69$$



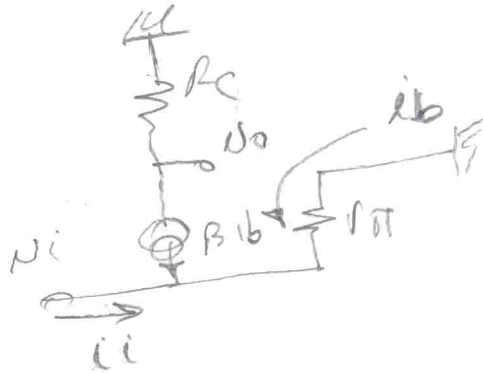
$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi \cdot R_S \cdot (C_{gs1} + 1/\beta_1 C_{gd1})} = 11,8 \text{ MHz}$$

$$f_{p4} = \frac{1}{2\pi \cdot R_L \cdot C_{gd3}} = 1,66 \text{ Hz}$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{D1} \cdot (C_{gs2} + 2C_{gd2} + C_{gd1})} = 1,24 \text{ MHz}$$

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi \cdot 1/g_{m3} \cdot (C_{gs3} + 2C_{gd2})} = 29,7 \text{ MHz}$$

1. En señal:



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

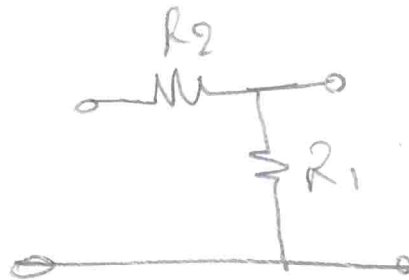
$$i_i = -(\beta + 1) i_b \quad (2)$$

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

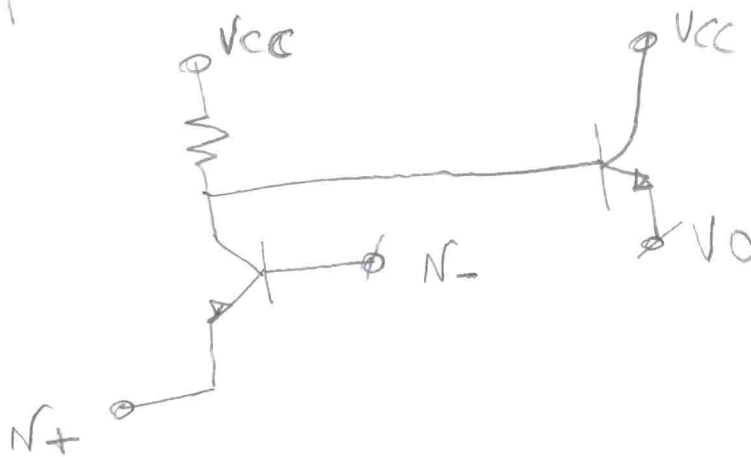
de (1) y (3) $\Rightarrow u_o = +\frac{R_c \cdot \beta}{r_{\pi}} u_i \Rightarrow \boxed{\frac{u_o}{u_i} = \beta_{m} R_c}$

$i_i = (\beta + 1) \frac{u_i}{r_{\pi}} \Rightarrow R_i = \frac{u_i}{i_i} = \frac{r_{\pi}}{(\beta + 1)} = \frac{1}{\beta_{m}}$
 (1) y (2) \downarrow $\beta \gg 1$

2. Bloque B:

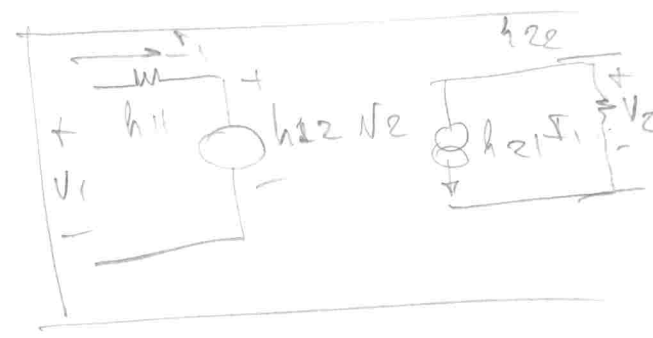


Bloque A:



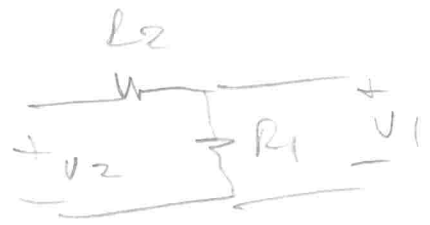
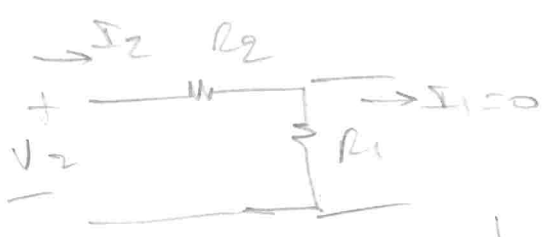
h₁₁ del bloque B = $\frac{V_1}{I_1} \Big|_{V_2=0} = R_2 \parallel R_1$

2



h₂₂ del bloque B

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

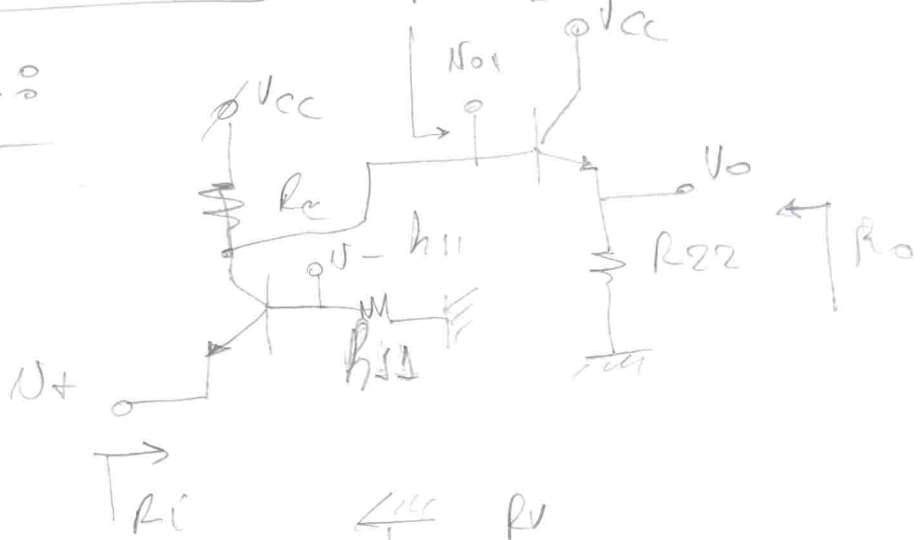


$\beta = h_{12} = \frac{N_1}{N_2} \Big|_{I_1=0}$

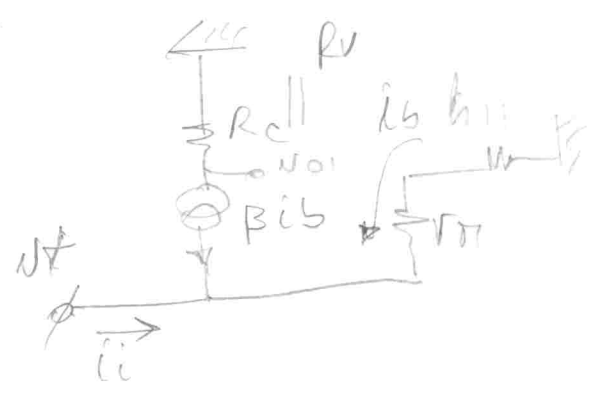
$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

$R_V = r_{\pi 2} + (\beta + 1) \cdot R_{EE}$

Bloque A:



$A = \frac{N_O}{N_I}$



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

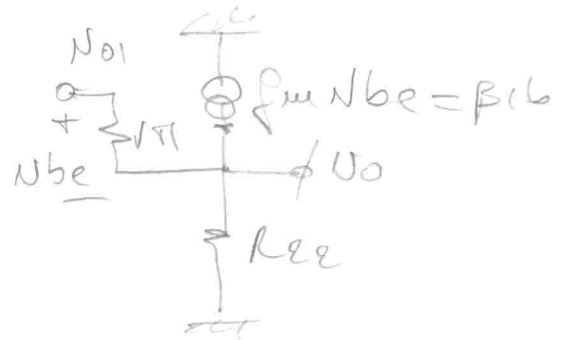
$$v_{o1} = -\beta i_b (R_c \parallel R_v) \quad (3)$$

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

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

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

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



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

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

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

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

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

Amir