



Guía de Ejercicios N^o 8: circuitos analógicos

Parte I: Amplificadores con TBJ

- ✓ 1. Se tiene el amplificador emisor común de la Fig. 1. Los datos del circuito son: $V_{CC} = 5\text{ V}$, $R_B = 172\text{ k}\Omega$, $R_C = 500\ \Omega$, $v_s = 12\text{ mV} \cdot \sin(2\pi \cdot f_s)$, $f_s = 1\text{ kHz}$, $R_s = 500\ \Omega$, $R_L = 950\text{ k}\Omega$ y $C_{in} = C_{out} = 50\ \mu\text{F}$. Los parámetros del transistor son: $\beta = 200$ y $V_A = 130\text{ V}$.

- Calcular el punto de polarización del circuito ¿Cual es el propósito de C_{in} y C_{out} ?
- Hallar los parámetros de pequeña señal y dibujar el circuito equivalente de pequeña señal a frecuencias medias. ¿A qué nos referimos con frecuencias medias?
- Calcular los parámetros del amplificador A_{v0} , A_v , A_{vs} , R_{IN} y R_{OUT} .
- En un mismo gráfico dibujar v_s , v_{in} y v_{out} . ¿Distorsiona este amplificador?

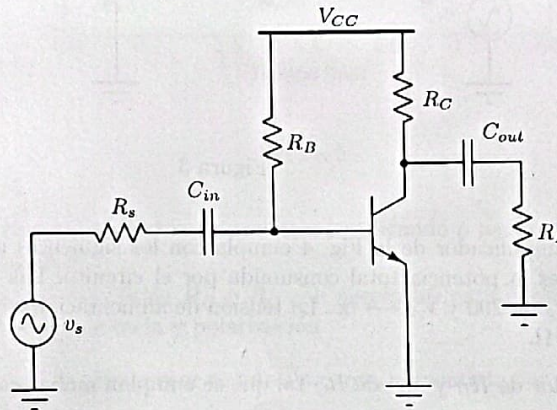


Figura 1

2. En el circuito de la Fig. 2,

- Calcule I_C y V_{BB} en términos de R_C y V_{CC} , tal que se verifique $V_{CEQ} = V_{CC}/2$.
- Calcule g_m y r_π en términos de R_C y V_{CC} .
- Demuestre que la única forma de aumentar A_v es aumentando V_{CC} . Para ello verifique que es cierta la relación $A_v = \frac{q V_{CC}}{2 k T}$.

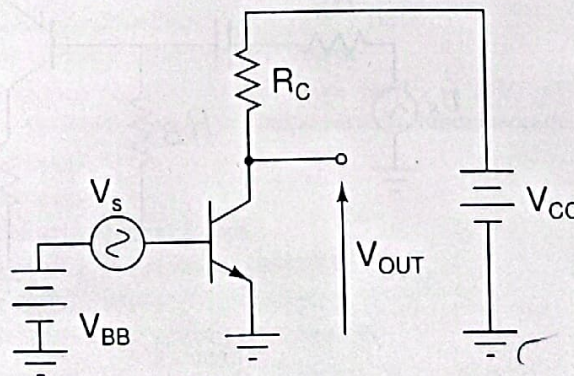
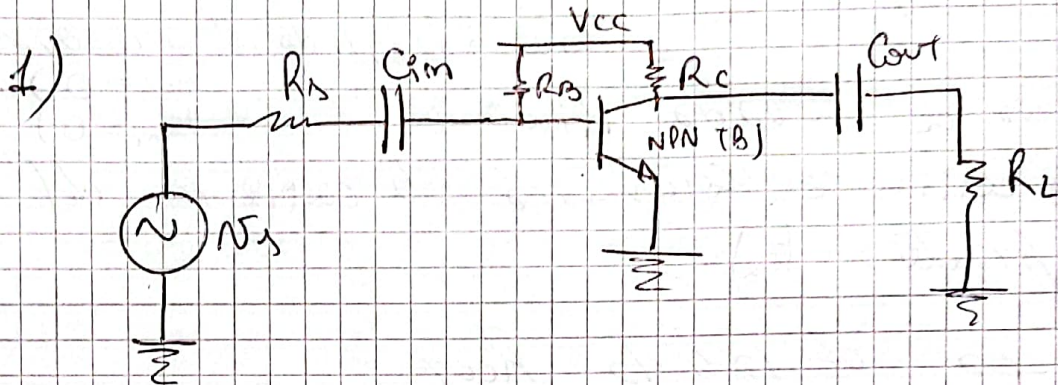


Figura 2

GUIA N 8: Circuitos Analógicos

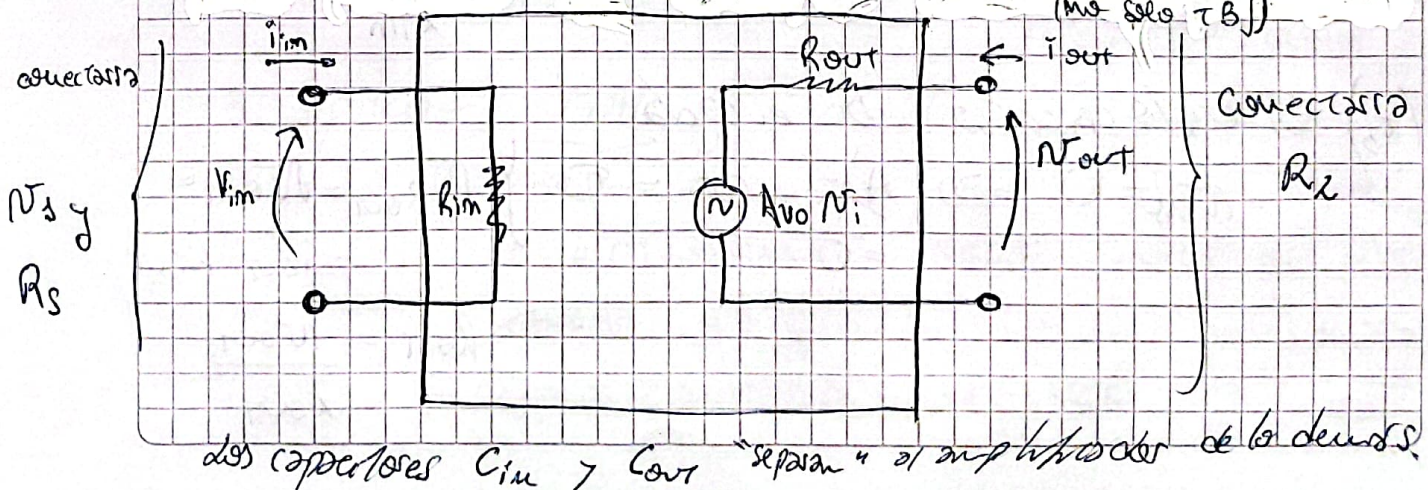
PARTE I: Amplificadores con TBJ



Los capacitores C_{in} y C_{out} tienen la función de evitar que la corriente continua ingrese a la fuente de señal N_s y a la carga R_L . Estos capacitores son cortocircuitos para la alterna.

La corriente alterna puede circular a través de los frentes de continua e ir a masa. Los frentes de continua son cortocircuitos para la alterna.

MODELO GENERAL PARA CUALQUIER AMPLIFICADOR DE TENSION.
(no solo TBJ)



Parámetros más importantes:

- ganancia de tensión A_{vo} :
 la "0" responde a que no hay ninguna carga en la salida del amplificador. "open circuit" (no se conecta nada a la salida del circuito, por lo que $i_{out} = 0$ entonces $v_{out} = 0$) (*)

- Resistencia de entrada R_{in} :
 como corriente suministrada la corriente del amplificador. (**)

- Resistencia de salida R_{out} :
 como afectará al valor de tensión a la salida. (***)

Estos tres parámetros son inherentes del amplificador y deberían mantenerse siempre en el mismo valor. (****)

(*) $N_{out} = A_{vo} \cdot N_{in} \Rightarrow A_{vo} = \frac{N_{out}}{N_{in}}$

(**) La salida no afecta a la entrada, por lo que:

$$N_{R_{in}} = N_{in} = i_{in} R_{in} \Rightarrow R_{in} = \frac{N_{in}}{i_{in}}$$

(***) Si corto circuito a entrada

$$N_{in} = 0 \Rightarrow \frac{A_{vo} \cdot 0}{0} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} N_{R_{out}} = N_{out} \\ = i_{out} R_{out} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow R_{out} = \frac{N_{out}}{i_{out}}$$

Para resolver el circuito del amplificador se realizan los mismos pasos que para un TBJ:

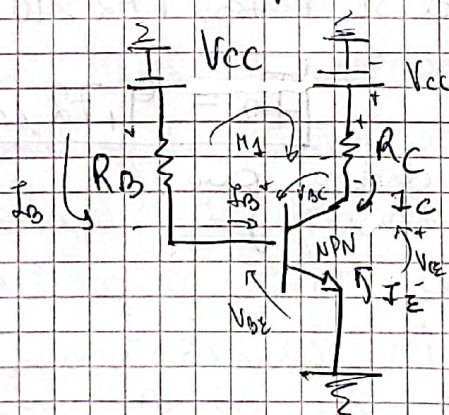
1. se resuelve el circuito de polarización
2. se halla el modelo de pequeña señal.
3. se resuelve el circuito de pequeña señal
4. se obtienen los parámetros

Del punto de polarización se obtienen los demás parámetros:

Entonces:

1. Supongo estado estacionario con capacitores cargados. (no circula corriente por dichas ramas)

2. Marco las referencias. $V_{BC} = V_{BC(0)} \approx 0,7V$



$$M1) V_{BC} - I_C R_C + I_B R_B = 0$$

$$M2) V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

$$I_C = I_B \beta \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right)$$

desprezo V_A , luego $I_C \approx I_B \beta$

$$I_C \approx I_B \beta = 200 I_B$$

3. Supongo MAD y resuelvo por métodos o mallas para que el emisor común funcione correctamente. DEBE estar en este modo ya que si no, no funcionará. Es una condición NECESARIA.

4. Verifico MAD y efecto Early despreciable.

El amplificador funciona en frecuencias medias (los capacitores externos de desacople se consideran como circuitos abiertos y los interiores como cortos).

No se consideran los capacitores.

5. Resolver Modelo de frecuencia señal en frecuencias medias.

6. Calcular los parámetros y graficar.

Entonces, regresando al circuito en cuestión, resolver por mallas:

$$M1) \quad 0,7V - 200 I_B 500\Omega + I_B \cdot 172 \cdot 10^3 \Omega = 0$$

$$I_B = 9,72 \mu A$$

De este resultado se deduce que:

$$I_C = 200 I_B$$

$$I_C = 1,94 mA$$

Reemplazo en (112) tal que:

$$V_{CE} + 1,94 mA \cdot 500\Omega - 5V = 0$$

$$V_{CE} = 4,0278V \approx 4,03V > 0,2V$$

Verifico Early

$$I_C = 9,72 \mu A \cdot 200 \left(1 + \frac{4,03V}{130V} \right) \approx 2,0047 mA$$

MAD ✓ es despreciable ✓

Por lo que el punto de polarización es:

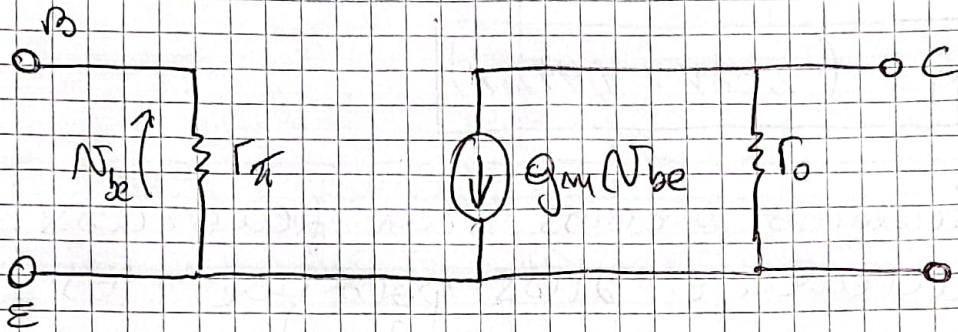
$$Q = (4,03V, 1,94mA)$$

b) Las frecuencias medias son frecuencias lo suficientemente altas para que los capacitores externos, es decir los de desacople C_{in} y C_{out} , puedan ser despreciables. Despreciamos su impedancia $(1/\omega C)$ y, así, los consideramos en cortocircuito.

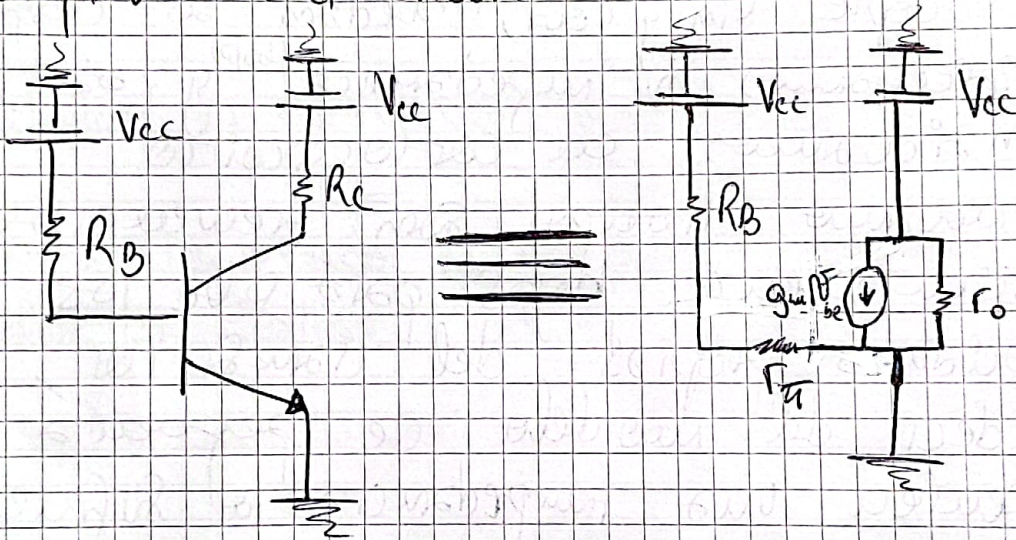
Al mismo tiempo, son frecuencias lo suficientemente bajas para que las capacidades propias del transistor, es decir del modelo de pequeña señal, presenten una impedancia lo suficientemente alta como para considerar circuitos abiertos.

“Es el rango de frecuencias donde no molesta ningún tipo de capacitor”
entonces, busquemos el modelo de pequeña señal para frecuencias bajas.

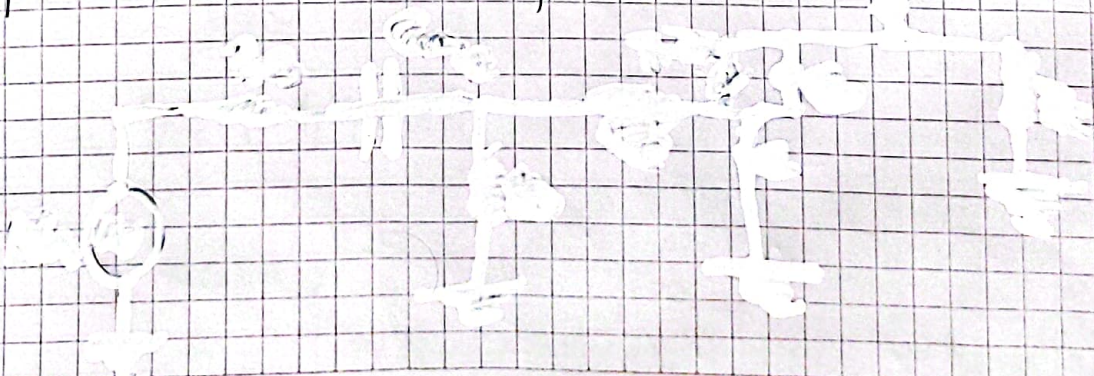
De esta manera, al igual que en la curva de TBJ :

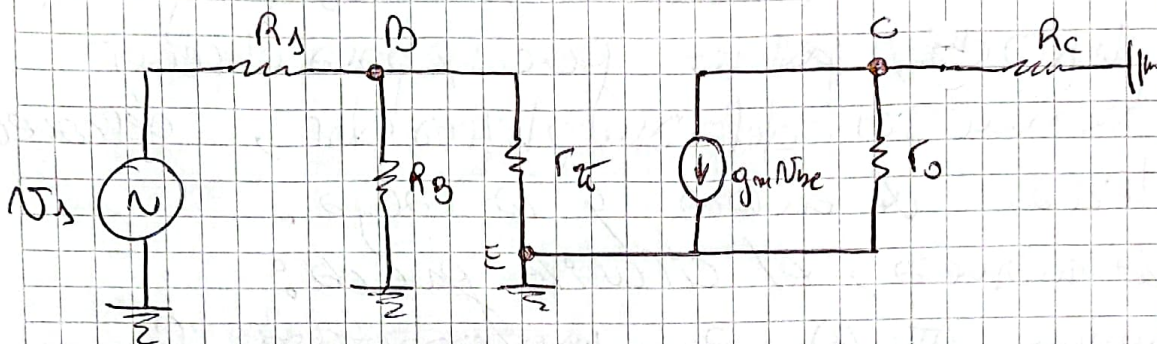


Reemplazo en el circuito:



Plantear el circuito completo paginando los fuentes de tensión (recordar que estos la tierra de la fuente) y reemplazando los capacitores por cables, recordar que están "en corto".





$$v_s = 12 \text{ mV} \sin(2\pi f_s)$$

$$g_m = \frac{I_C}{25,9 \text{ mV}} = 0,075 \text{ S}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = 2664 \Omega$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{130 \text{ V}}{1,94 \text{ mA}} = 66857 \Omega$$

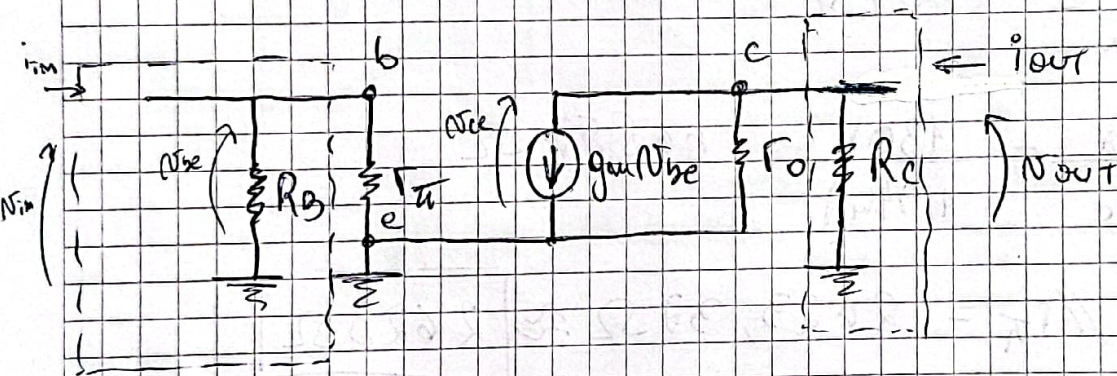
$$R^* = R_B \parallel r_{\pi} = 2623,37 \Omega \approx \boxed{2623 \Omega}$$

$$v_{BE} = v_s \cdot \frac{R^*}{R_s + R^*} = \boxed{10,08 \text{ mV} \sin(2\pi f_s)}$$

Al analizar el amplificador NO se toma en la señal de entrada ni la carga del amplificador, por lo que, para obtener los parámetros del amplificador, desconecta la señal de entrada y la carga.

De esta manera, el circuito queda:

Reemplazamos N_{be} ; R_s , los capacitores C_{in} y C_{out} , R_L y la fuente de tensión.



$$A_{vo} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{ce}}{V_{be}} = \frac{-g_m V_{be} (r_o \parallel R_C)}{V_{be}}$$

Al imponer N_i , se enciende la fuente de corriente controlada.

Esta corriente, circula por r_o y R_C en paralelo, dando lugar a la tensión V_{ce} .

$$V_{out} = V_{ce} = -g_m (r_o \parallel R_C)$$

V_{out} de esta forma el terminal del source, el signo menos surge de definir la corriente

que impone la fuente controlada sobre las resistencias R_o y R_D se recorre en el mismo sentido.

$$A_{v0} = -0,02515 \cdot (496,288 \Omega)$$

$$A_{v0} = -32,296 \approx \boxed{-32,3}$$

Para calcular R_{in} :

$$R_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{v_{in}}{i_{in}} (R_o \parallel r_{\pi}) = \boxed{2623 \Omega}$$

Para calcular R_{out}

$$R_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}} = \frac{v_{out}}{i_{out}} (R_c \parallel r_o) = 496,29 \Omega \approx \boxed{496 \Omega}$$

con $v_{in} = 0$

(cortocircuito)

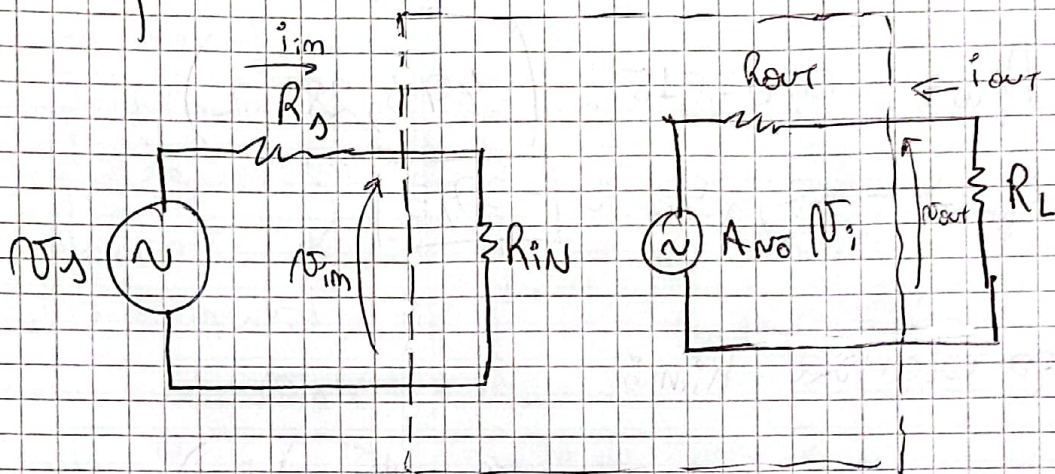
$$\left. \begin{array}{l} g_m v_{be} = 0 \\ \text{ya que } v_{be} = 0 \end{array} \right\}$$

Para obtener los parámetros restantes:

$$v_{in} \neq v_{be} \Rightarrow v_{out} \neq A_{v0} v_{in}$$

Esto sucede porque R_D se interpone entre el amplificador y la fuente.

Por lo que:



$$v_{in} = v_s \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} = 1,92 \text{ mV} \sin(2\pi f_s)$$

$v_{out} \Rightarrow$ Como $i_{out} \neq 0$ dado que existe R_L , entonces $v_{out} \neq A_{vo} v_{in}$

$$v_{out} = A_{vo} v_{in} \frac{R_L}{R_{out} + R_L} \approx -74,62 \text{ mV} \sin(2\pi f_s)$$

Finalmente, es posible definir la ganancia con señal:

$$A_{vs} = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{v_{out}}{v_{in}} \cdot \frac{v_{in}}{v_s} \approx A_{vo} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s}$$

$$A_{vs} = -31,3282$$

Para obtener A_{10} , en el powerpoint lo de finen como:

$$A_{10} = \frac{N_{out}}{N_{in}}$$

Pero esto es igual a $A_{10} = \frac{N_{out}}{N_{in}}$,

por lo que no se a que se refieren.

d) Para analizar la distorsión, debe graficar las señales:

$$N_s = 12 \text{ mV} \sin(2\pi \text{ fs})$$

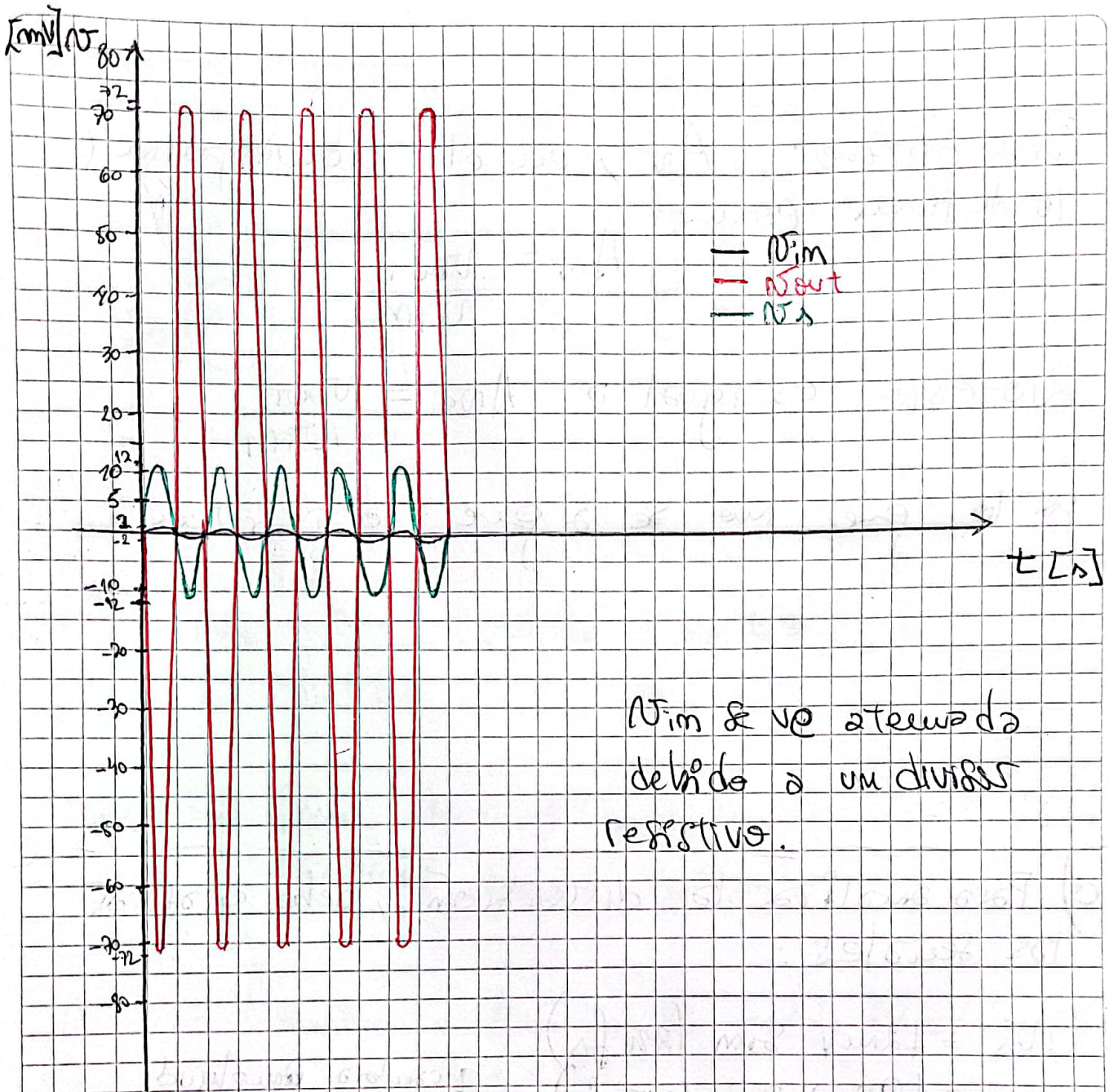
$$N_{in} = 1,92 \text{ mV} \sin(2\pi \text{ fs})$$

$$N_{out} = -71,62 \text{ mV} \sin(2\pi \text{ fs})$$

} cambia amplitud
con respecto a N_s

} cambia amplitud
e invierte la señal
con respecto a N_s

El gráfico se presenta a continuación:



V_m & V_s atenuada
 debido a un divisor
 resistivo.

La distorsión ocurre cuando el transistor
 no está trabajando en el régimen que
 corresponde.

Existe una deformación de la señal de salida
 y entonces

$$A_{out} \neq A_{no} \cdot A_m$$

Para verificar esto se propone verificar las siguientes condiciones:

• Distorsión por no linealidad:

Se debe verificar que N_{be} se encuentre dentro del rango de validez del modelo de pequeña señal:

$$N_{be} \leq 10mV$$

Si no se verifica, distorsión por no linealidad

• Distorsión por corte o saturación:

- Límite superior de la señal de salida:

para v_{in} demasiado negativa, el transistor se va a régimen de corte, i.e. toda la corriente de señal anula la corriente de polarización.

$$i_c = -I_{CQ} \Rightarrow i_c = 0$$

$$N_{out, max} = V_{cc}$$

$$\Rightarrow N_{out, max} = I_{CQ} \cdot R_c = V_{cc} - V_{CEQ}$$

- Límite inferior de la señal de salida: para v_{in} muy positiva el TBJ entrará en régimen de saturación. El caso límite tolerable es:

$$N_{out, min} = V_{CEsat}$$

$$\Rightarrow N_{out, min} = V_{CEQ} - V_{CEsat}$$

Estos son los máximos de N_{out} , que dependen o no de β de N_{in} .

Entonces, dado que $V_{be} = 10,08 \text{ mV} \rightarrow 10 \text{ mV}$
se tiene distorsión por no linealidad
(no se puede despreciar mejor dicho).

Verifico los límites superior e inferior

$$V_{out, max} = V_{cc} \Rightarrow V_{out, max} = I_{cq} R_c = V_{cc} - V_{ceq}$$

$$V_{ceq} = 4,03 \text{ V} \quad \text{y} \quad V_{cc} = 5 \text{ V} \Rightarrow$$

$$V_{out, max} = 5 \text{ V} - 4,03 \text{ V} = 0,97 \text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} \text{para } v_{in} \\ \text{muy negativas} \end{array} \right\}$$

y límite inferior

$$V_{out, min} = V_{ceq} - V_{cesat} = 4,03 \text{ V} - 0,2 \text{ V} \approx 3,83 \text{ V}$$

$$V_{out, min} = 3,83 \text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} \text{para } v_{in} \\ \text{muy positivas} \end{array} \right\}$$

Recordar que ambas son cotas máximas de v_{out} . Como puede observarse, NO superan NINGUNO de estos valores ya que:

$$v_{out} = 71,62 \text{ mV} \approx 0,07162 \text{ V} < 0,97 \text{ V}$$

$$" < 3,83 \text{ V}$$

No hay distorsión por corte o saturación.
Entonces, solo hay distorsión por no linealidad.