

**1<sup>er</sup> Parcial de Electrónica 2**  
**17/10/2003**



Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

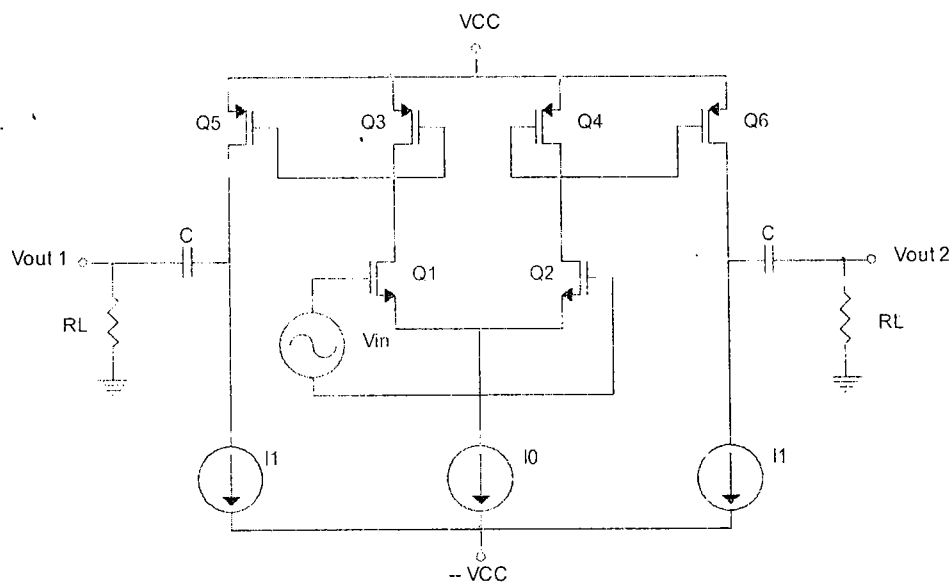
La prueba es **sin** material.

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

**Problema 1 : (25 puntos)**

- a) Para el circuito de la Figura 1 calcular la ganancia diferencial  $(V_{out1} - V_{out2})/V_{in}$  en la banda pasante y la frecuencia de caída de 3 dB si se cumple que:
- las fuentes de corriente  $I_0$  e  $I_1$  son ideales y de valores tales que todos los transistores operan en la zona de saturación.
  - las capacidades de overlap  $C_{gs0}$ ,  $C_{gd0}$  y las capacidades a sustrato  $C_{sb}$ ,  $C_{db}$  son despreciables.
  - los condensadores indicados como  $C$  se considerarán infinitos.
  - el voltaje de Early de los transistores es infinito.
  - $V_{in}$  es una fuente de señal diferencial ideal ( $R_s = 0$ ).
  - los transistores Q1..4 tienen todos largo de canal  $L_1$  y ancho  $W_1$ ; los transistores Q5 y Q6 son idénticos con largo de canal  $L_2$  y ancho  $W_2$ . La capacidad de óxido por unidad de área es  $C_{ox}$ .
- b) Si en paralelo con  $R_L$  se agrega una carga capacitiva  $C_L$ , que condición debe cumplir el valor de dicho condensador para que el margen de fase del circuito sea mayor a  $65.5^\circ$  manteniendo la frecuencia de caída de 3dB de la parte a).

Nota: Se podrán expresar los resultados en función de la transconductancia de los transistores.

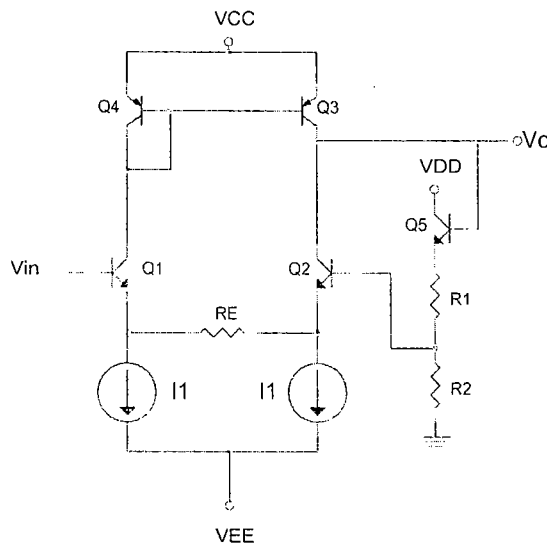


**Figura 1**

**Problema 2: (25 puntos)**

- Calcular para el caso de que no este la realimentación la ganancia  $V_o/V_{in}$  y la resistencia de salida  $R_o$ .
- Con la realimentación, dar las expresiones de las condiciones que se tienen que cumplir para que la ganancia dependa exclusivamente de  $R_1$  y  $R_2$
- Calcular, en las condiciones de la parte b), la resistencia de salida  $R_o$  para el caso realimentado.

**Datos:** Todos los transistores son iguales con  $\beta \gg 1$   
 Se cumple que:  $RE \gg 2 \cdot r_{\pi 1,2}$  y  $g_{m5} R_1 \gg 1$



**Problema 3: (30 puntos)**

En la figura se muestra un amplificador de dos etapas de alta frecuencia con desacople dc. El mismo está compuesto por dos transistores npn cuyas características son:

$\beta_1=50$

$\beta_2=100$

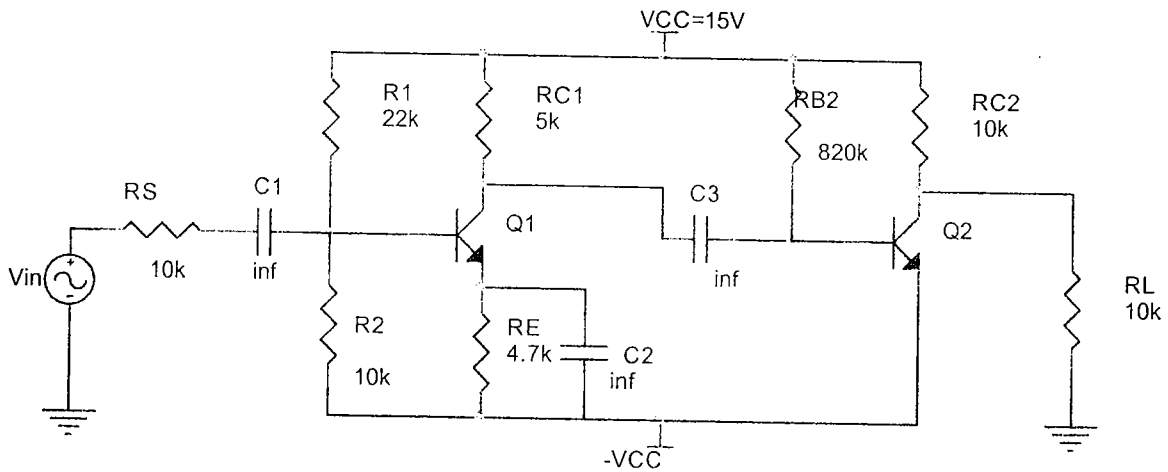
$f_T=2\text{GHz}$

$C_{\mu}^{tp}=1\text{pF}$

$C_{je}=5\text{pF}$  (@  $I_C=10\text{mA}$ )

$r_x$  despreciables

- a) Calcular la ganancia en voltaje en la banda pasante (en dB).
- b) Calcular la frecuencia de corte a alta frecuencia.



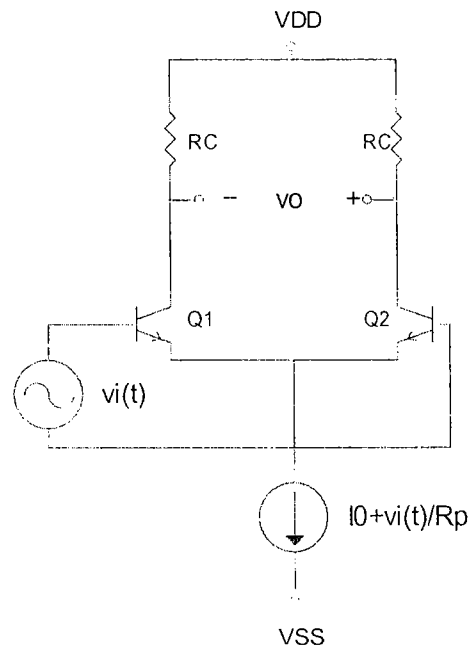
**Problema 4 : (20 puntos)**

En el par diferencial de la figura acoplamientos parásitos entre la entrada de señal  $v_i$  y el circuito de generación de la corriente  $I_0$  hacen que esta fuente de corriente tenga superpuesta una componente alterna que varía como la señal de entrada  $v_i$ .

La señal de entrada  $v_i$  es de la forma:  $A \cdot \cos(\omega_i t)$ , con  $A \ll V_T$  y la señal de alterna que aparece superpuesta a la corriente  $I_0$  es  $(A/R_p) \cos(\omega_i t)$ , siendo  $R_p$  tal que  $(A/R_p) = (I_0/10)$ .

Si se observa el espectro de la señal a la salida  $v_o$ , indicar:

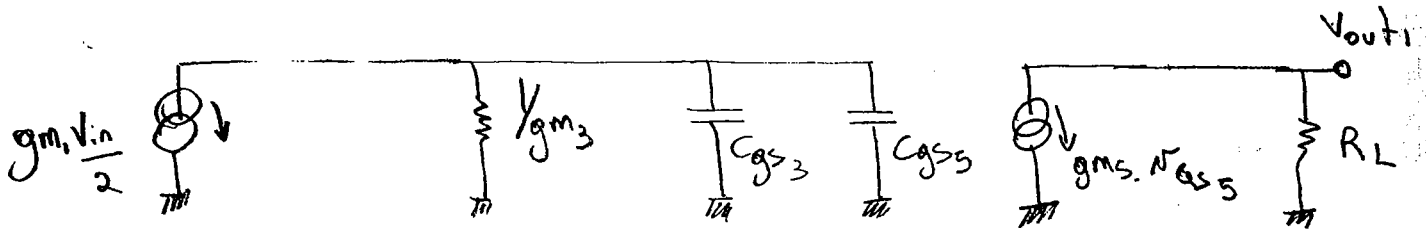
- las componentes de frecuencia (incluyendo DC) que aparecen a la salida  $v_o$ , fundamentar la respuesta.
- el valor de cada una de estas componentes.



**Figura 1**

Problema 1

2) Por simetría basta analizar medio bloque



$C_{gs0}, C_{gd0}, C_{sb}, C_{db}$  despreciables.

$V_{in}$  ideal  $\Rightarrow R_s = 0$ .

$$V_{out1} = g_{m1} \frac{V_{in}}{2} \left( \frac{1}{g_{m3}} \parallel (C_{gs3} + C_{gs5}) \right) \cdot g_{m5} \cdot R_L$$

$$C_{gs3} = \frac{2}{3} \cdot W_1 \cdot L_1 \cdot C_{ox}$$

↑  
 $Q_3 \text{ sat}$

$$C_{gs5} = \frac{2}{3} \cdot W_0 \cdot L_2 \cdot C_{ox}$$

↑  
 $Q_5 \text{ sat}$

$$\frac{V_{out1}}{V_{in}} = \frac{g_{m1} \cdot g_{m5} \cdot R_L}{2} \cdot \frac{1/g_{m3}}{\frac{1}{g_{m3}} (C_{gs3} + C_{gs5})s + 1}$$

$$\frac{V_{out1} - V_{out2}}{V_{in}} = 2 \frac{V_{out1}}{V_{in}}$$

↑  
por simetría

$$\omega_{3dB} = \frac{g_{m3}}{C_{gs3} + C_{gs5}}$$

La inclusión de  $C_L$  agrega un  
segundo polo en  $\omega_2 = \frac{1}{R_L C_L}$   
para tener un margen de fase  $> 2 \cdot 65,5^\circ$

$$\omega_2 > 2,2 \omega_T$$

$$\omega_T \approx g_{m1} \cdot g_{m5} \cdot R_L \cdot \frac{1}{g_{m3}} \cdot \frac{g_{m3}}{C_{gs3} + C_{gs5}}$$

$$= \frac{g_{m1} \cdot g_{m5} \cdot R_L}{C_{gs3} + C_{gs5}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_L C_L} > 2,2 \frac{g_{m1} \cdot g_{m5} \cdot R_L}{C_{gs3} + C_{gs5}}$$

$$C_L < \frac{C_{gs3} + C_{gs5}}{2,2 \cdot R_L \cdot g_{m1} \cdot g_{m5}}$$

Problema 2

$$r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

$$R_o = r_{o3} \parallel R_{V2}$$

$$R_{V2} = r_o \left( 1 + \frac{\beta_{DC} R_{E/2} \parallel r_{\pi}}{r_{\pi} + \frac{R_E}{2}} \right)$$

$$\approx r_o (1 + \beta_{DC} r_{\pi})$$

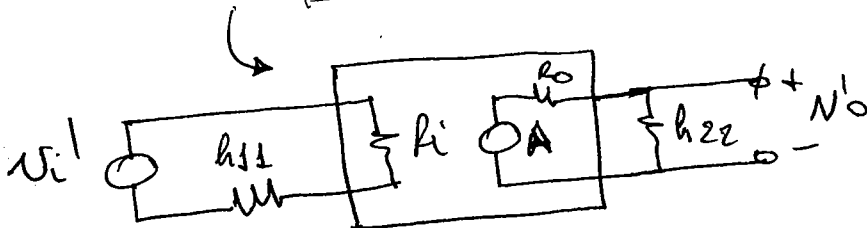
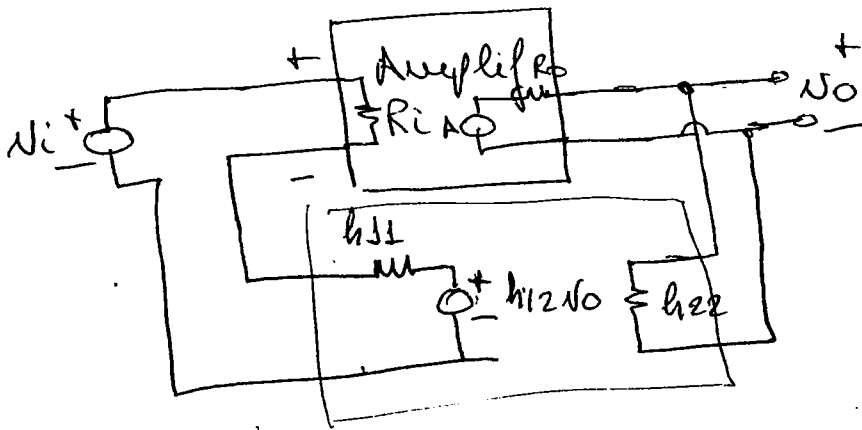
$$\frac{R_E}{2} \gg r_{\pi}$$

$$\Rightarrow R_{V2} \approx \beta r_o \gg r_o$$

$$\Rightarrow R_o \approx r_o$$

$$i = \frac{v_i}{R_E} \Rightarrow v_o = \frac{2v_i}{R_E} \cdot r_o \Rightarrow A = \frac{2r_o}{R_E}$$

b) Para llevarlo a un esquema A, B:

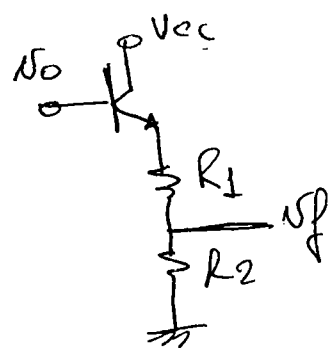


$$A = \frac{v_o}{v_i}$$

$$\beta = h_{12}$$

$$A_{cl} = \frac{A}{1 + \beta A}$$

$h_{12} =$



$$h_{12} = \frac{v_{sp}}{v_{sp}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

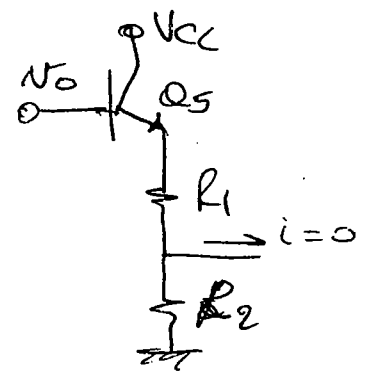
↪ pues  $R_1 \gg \frac{1}{g_m}$  (resistencia de salida del seguidor)

La ganancia depende solo de  $R_1$ , le si depende solo de  $\beta \iff \boxed{A\beta \gg 1}$

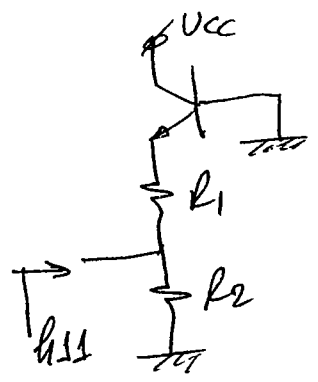
A?

$$\Rightarrow h_{22} \Rightarrow R_{22} = \frac{1}{h_{22}}$$

$$R_{22} = r_{\pi 5} + (\beta + 1)(R_1 + R_2)$$



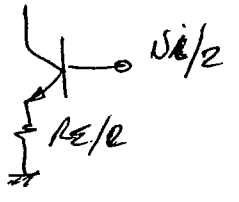
$\Rightarrow h_{11}$



$$h_{11} = R_2 \parallel \left( R_1 + \frac{1}{g_m} \right) \approx R_2 \parallel R_1$$

↪  $\frac{1}{g_m} \ll R_1$  por lo tanto

$\Rightarrow R_i$  amplificador (resistencia de entrada diferencial)



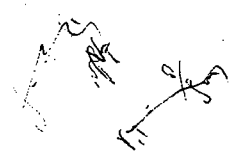
$$\Rightarrow \underline{R_i = 2r_{\pi} + (\beta + 1)R_E}$$

$$\Rightarrow \boxed{A = \frac{R_i}{h_{11} + R_i} \cdot A_o \cdot \frac{R_{22}}{R_o + R_{22}}}$$

↓  
determinado en a)

$$c) \boxed{R_{o\text{real}} = \frac{R_o \parallel R_{22}}{1 + A\beta}}$$

*[Handwritten signature]*





$$f_T |_{I_{CQ} = 10 \mu A} = \frac{g_m}{2\pi(C_{\pi} + C_{\mu})} = 2 \text{ GHz} \Rightarrow (C_{\pi} + C_{\mu}) |_{I_{CQ} = 10 \mu A} = 30,6 \text{ pF}$$

$$g_m |_{I_{CQ} = 10 \mu A} = 0,32 \text{ A/V}$$

$$\Rightarrow C_{\pi} = C_{je} + C_{de} = 29,6 \text{ pF} \Rightarrow C_{de} |_{I_{CQ} = 10 \mu A} = 24,6 \text{ pF}$$

DC

$$Q_1: V_{B_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} 2V_{CC} - V_{CC} = -5,62 \Rightarrow V_{E_1} = -6,32 \text{ V}$$

$$\rightarrow I_{E_1} \approx I_{C_1} = 1,85 \text{ mA} \quad (\text{sup } I_{B_1} \rightarrow I_{E_1})$$

$$I_{D_1} = \frac{2V_{CC}}{R_1 + R_2} = 0,94 \text{ mA}$$

$$I_{B_1} = \frac{I_{C_1}}{\beta} = 37 \mu A \ll I_{D_1} \quad \checkmark$$

$$Q_2: V_{B_2} = -14,3 \Rightarrow I_{B_2} = 35,7 \mu A \rightarrow I_{C_2} = 3,57 \text{ mA}$$

$$C_{\pi_1} = C_{je} + C_{de} |_{I_{C_1}} = 9,55 \text{ pF}$$

$$r_{\pi_1} = 703 \Omega$$

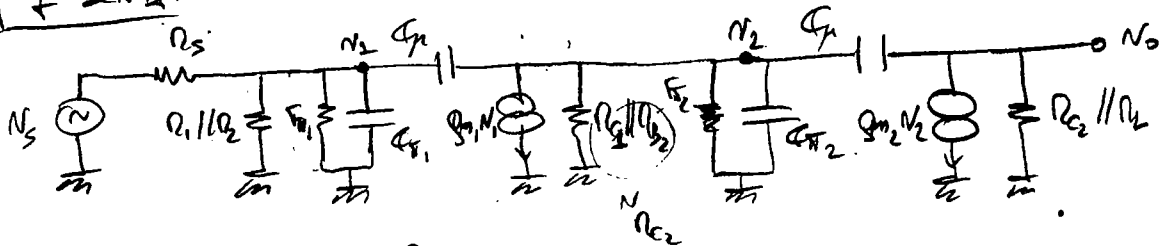
$$g_{m_1} = 71,2 \text{ mS}$$

$$C_{\pi_2} = C_{je} + C_{de} |_{I_{C_2}} = 13,78 \text{ pF}$$

$$r_{\pi_2} = 728 \Omega$$

$$g_{m_2} = 137,3 \text{ mS}$$

req señal



GANANCIAS e BANDA PASANTE

$$A_1 = \frac{N_3}{N_1} = \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi_1}}{R_s + R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi_1}} = 0,06$$

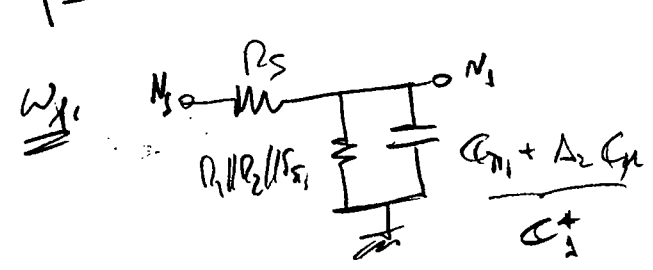
$$\rightarrow \frac{N_6}{N_5} = 1862 \text{ V/V}$$

$$A_2 = \frac{N_2}{N_1} = -g_{m_1} R_{E1} \parallel R_{B2} \parallel C_{\pi_2} = -45,2$$

$$\rightarrow \boxed{A_{BP} = 65,4 \text{ dB}}$$

$$A_3 = \frac{N_6}{N_2} = -g_{m_2} R_{E2} \parallel R_L = -685,5$$

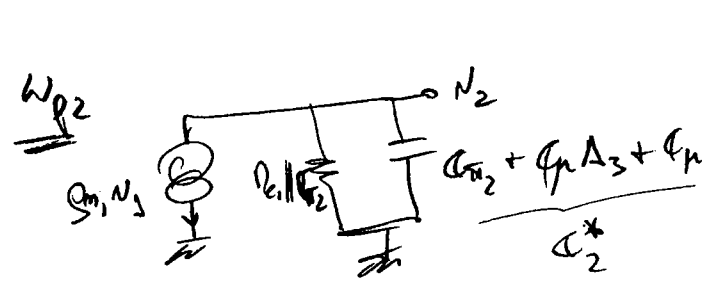
5) fbos



$$\omega_{p1} = \frac{1}{C_1^* R_1 \parallel R_2 \parallel R_5}$$

$$C_1^* = 59,75 \text{ pF} \quad R_1 \parallel R_2 \parallel R_5 = 597 \Omega$$

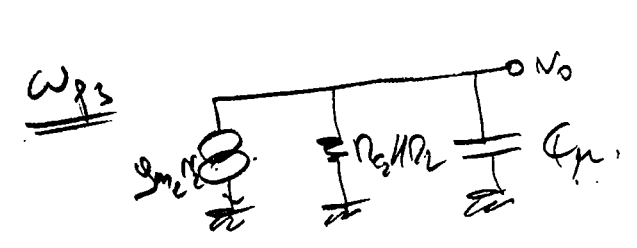
$$\omega_{p1} = 30,57 \times 10^6 \Rightarrow \boxed{f_{p1} = 4,87 \text{ kHz}}$$



$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_2^* (R_1 \parallel R_2)}$$

$$C_2^* = 700 \text{ pF} \quad R_1 \parallel R_2 = 635 \Omega$$

$$\omega_{p2} = 2,25 \times 10^6 \Rightarrow \boxed{f_{p2} = 358 \text{ kHz}}$$



$$\omega_{p3} = \frac{1}{C_n R_2 \parallel R_2} = 200 \times 10^9$$

$$\Rightarrow \boxed{f_{p3} = 31,8 \text{ kHz}}$$

Problema 4

$$N_o = R_e \cdot f_{in} \cdot N_i = R_e \left( \frac{I_o + N_i / R_p}{2V_T} \right) \cdot N_i$$

$$\Rightarrow N_o = \frac{R_e \cdot A}{2V_T} \left[ I_o \cdot A \cos \omega t + \frac{I_o A}{I_o} \cos^2 \omega t \right]$$

$$\cos^2 \omega t = \frac{1 + \cos 2\omega t}{2}$$

$$\Rightarrow N_o = \frac{R_e A I_o}{2V_T} \left[ \cos \omega t + \frac{1}{2} + \frac{\cos 2\omega t}{2} \right]$$

$\Rightarrow$  Debido a que el pa diferencial actúa como un multiplicador a la salida además de la frecuencia de la señal de entrada se tiene la frecuencia doble y una componente de corriente, con los amplitudes que se muestran en la expresión anterior.

*Fernando J. J.*