2010

UTN

FRC

Electrónica Aplicada 2

PRÁCTICO

[Marco Alvarez Reyna UTN-FRC e-mail: marcoalrey@gmail.com]

Marco Alvarez Reyna
UTN-FRC
marcoalrey@gmail.com

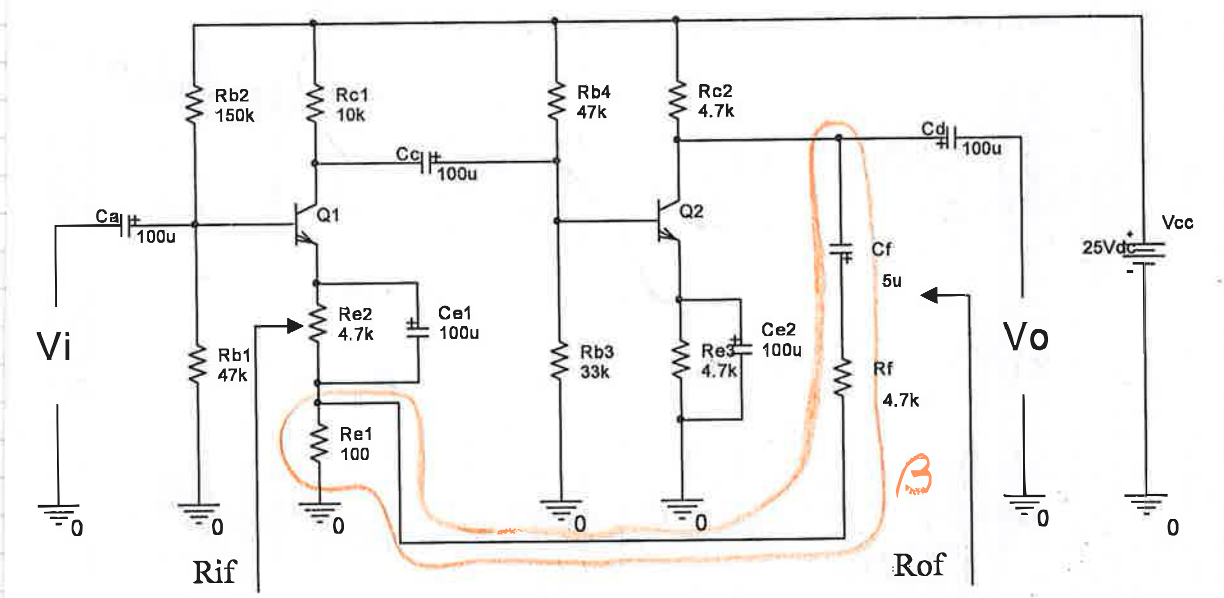
Electrónica Aplicada 2

HOJA N° 1
FECHA 05/11/2009

Ejercitación Práctica

Realimentación:

1) De la guía de T.P. del Ing. C. Olmos (N°1) Revisado ✓



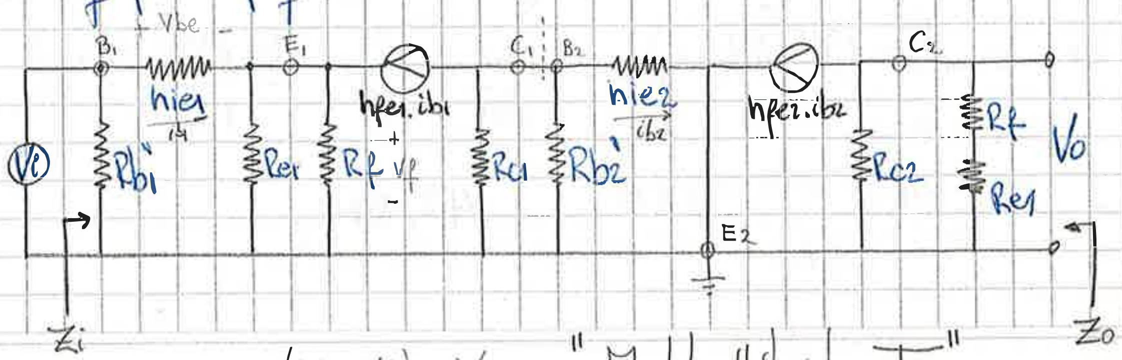
• Calcular: ΔV_f; Ro_f; Ri_f $\qquad Q_1 = Q_2$

• Datos: $R_s = 0\Omega$; $h_{fe} = 50$; $h_{ie} = 1{,}1\,K\Omega$; $h_{re} = h_{oe} = 0$;

Desarrollo:

1) Topología: $\begin{cases} \text{Muestra en el nudo de salida} \rightarrow \text{Tensión.} \\ \text{Mezcla en serie con la señal} \rightarrow \text{Tensión.} \end{cases}$ $\dfrac{V_o}{V_i} = \Delta V$

2) Circ. eq. para pequeña señal: p/ circ. entrada $V_o = 0$; p/ circ. salida $I_c = 0$;



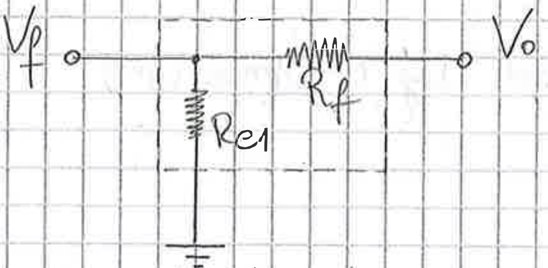
NOTA $(V_i - V_f) = V_{be}$ "Modelo Híbrido T"

- $R_{b1}' = R_{b1} // R_{b2} = \dfrac{R_{b1} \times R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \Rightarrow \dfrac{47K \times 150K}{47K + 150K} \Rightarrow 35{,}786\ K\Omega$

- $R_{b2}' = R_{b3} // R_{b4} = \dfrac{33K \times 47K}{33K + 47K} \Rightarrow 19{,}387\ K\Omega$

3) Red β:

$\dfrac{V_0}{R_f + R_e} = \dfrac{V_f}{R_e}$



$\beta = \dfrac{X_f}{X_0}$

$$\beta = \frac{V_f}{V_0} = \underbrace{\left(\frac{\cancel{V_0}}{R_{e1} + R_f} \times R_{e1}\right)}_{V_f} \times \left(\frac{1}{\cancel{V_0}}\right) = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_f} \Rightarrow \frac{100}{100 + 4{,}7K}$$

- $\beta \Rightarrow 0{,}0208 = 1/48$

4) Cálculo de A_v, Z_i, Z_o:

$A_v = \dfrac{X_0}{X_i}$

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} \Rightarrow \frac{V_0}{i_{b2}} \times \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \times \frac{i_{b1}}{V_i}$$

$i_{b1} = V_i / h_{ie1} + (R_{e1} // R_f) \times (h_{fe} + 1)$

$V_0 = -h_{fe2} \times i_{b2} \times (R_{c2} // (R_f + R_{e1}))$

$\dfrac{V_0}{i_{b2}} = -h_{fe} \times (R_{c2} // (R_f + R_{e1}))$

$\dfrac{V_0}{i_{b2}} = -50 \times (4{,}7K // (4{,}7K + 100))$

- $\dfrac{V_0}{i_{b2}} = -118{,}736 \times 10^3\ [\Omega]$

$\dfrac{i_{b1}}{V_i} = \dfrac{1}{h_{ie1} + (R_{e1} // R_f) \times (h_{fe} + 1)}$

$\dfrac{i_{b1}}{V_i} = \dfrac{1}{1{,}1K + (100 // 4{,}7K) \cdot (50 + 1)}$

- $\dfrac{i_{b1}}{V_i} \Rightarrow 164{,}1 \times 10^{-6}\ [\mho]$

$i_{b2} = \dfrac{-h_{fe1} \times i_{b1} \times (R_{c1} // R_{b2}' // h_{ie2})}{h_{ie2}} \therefore \dfrac{i_{b2}}{i_{b1}} = \dfrac{-h_{fe}\ (R_{c1} // R_{b2}' // h_{ie2})}{h_{ie2}}$

- $\dfrac{i_{b2}}{i_{b1}} = -\dfrac{50\ (10K // 19{,}3K // 1{,}1K)}{1{,}1K} = -42{,}84$

NOTA

HOJA N° 2

FECHA 05/11/2009

$\Delta v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{i_{b2}} \times \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \times \frac{i_{b1}}{V_i} \Rightarrow -118,736\,\Omega \times -42,84 \times 164,1\times 10^{-6}\,\mho$

• $\Delta v = 834,84$

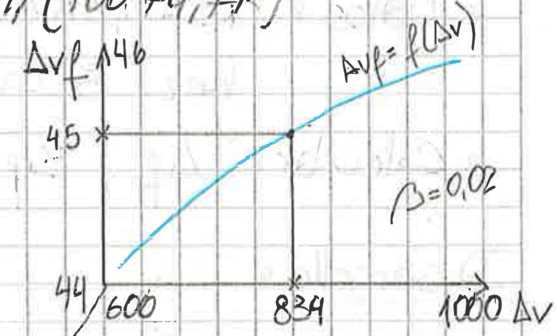
$Z_i = R_{b'1} // (h_{ie1} + (R_{e1}//R_f) \times (h_{fe}+1))$

$Z_i = 35,78\,K\Omega // [1,1\,K\Omega + (100\,\Omega // 4,7\,K\Omega) \times (50+1))$

• $Z_i = 5,2\,K\Omega$

$Z_o = \frac{V_o}{h_{fe}\, i_{b2}} = [R_{c2} // (R_f + R_{e1})] = 4,7K // (100 + 4,7K)$

• $Z_o = 2,37\,K\Omega$



5) cálculo de D, Δv_f, Z_{if}, Z_{of}.

$D = 1 + \beta \Delta v \rightarrow D = 1 + \frac{1}{48} \times 834,84$

• $D = 18,392$

• $\Delta v_f = \Delta v / D \Rightarrow 834,84 / 18,392 \Rightarrow 45,39$

• $Z_{if} = Z_i \times D \Rightarrow 5,2\,K\Omega \times 18,392 \Rightarrow 95,64\,K\Omega$

• $Z_{of} = Z_o / D \Rightarrow 2,37\,K\Omega / 18,392 \Rightarrow 128,85\,\Omega$

Conclusiones:

El amp. de Tensión mejoro sus cualidades de imp. de entrada y salida, estabilizandose su func. de transf.

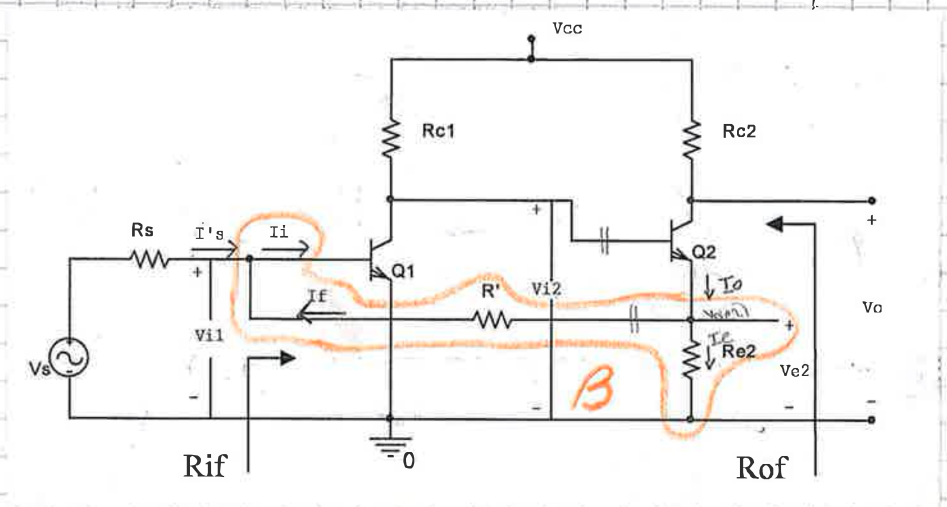
$S = 1/D = 0,0543$

NOTA

Revisado ✓

2) De la guía de T.P. del Ing. Olmos (Nº2) — 06/11/2009

Millman pág 439



Sentido de Io, If, Ie con $V_{o(e2)}$ y V_i

$Q_1 = Q_2$

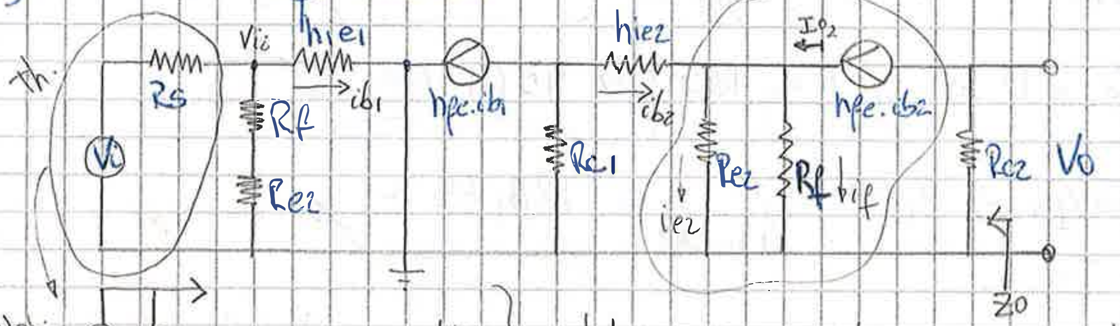
- **Datos:** $R_S = 1{,}2\,K\Omega$ ✓; $R_{C1} = 3\,K\Omega$ ✓; $R_f = 1{,}2\,K\Omega$ ✓; $R_{C2} = 500\,\Omega$ ✓
  $R_{e2} = 50\,\Omega$ ✓; $h_{fe} = 50$ ✓; $h_{ie} = 1{,}1\,K\Omega$ ✓
- **Calcular:** A_f; Z_{if}; Z_{of}

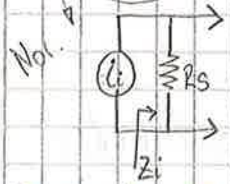
Desarrollo:

1) Topología: { Muestreo de corriente; Mezcla en paralelo / corriente } $\rightarrow A_i = \dfrac{I_o}{I_i}$

2) Circuito equivalente:

Para calcular $\beta = \dfrac{i_f}{i_o}$ ✓

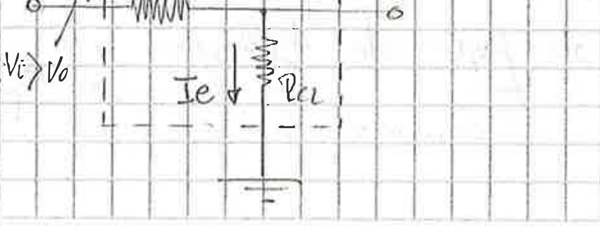




$i_i = \dfrac{V_i}{R_S}$ } Modelo más apropiado para mezcla en paralelo o de corriente.

3) Red β:

idealmente si → $V_i > V_o$



$$\beta = \frac{X_f}{X_o} \rightarrow \beta = \frac{i_f}{i_o}$$

$$\begin{cases} I_f = \dfrac{V_i - V_{o(e2)}}{R_f} \quad \wedge \quad I_e = I_f - I_o \quad p' \quad V_i > V_{o(e2)} & ① \\ I_f = \dfrac{V_{o(e2)} - V_i}{R_f} \quad \wedge \quad I_e = I_o - I_f \quad p' \quad V_i < V_{o(e2)} & ② \end{cases}$$

Teniendo en cuenta la condición $V_i = 0$ para armar el circ. eq., la red β se calcularía:

② Con $V_i = \emptyset v$; del circ. eq. de salida: $i_f = \dfrac{V_{o(e2)}}{R_f}$ $\left(\text{de } ② \quad i_f = \dfrac{V_{o(e2)} - V_i}{R_f} \Big|_{V_i = 0} \right)$

$\beta = \dfrac{i_f}{i_o}$

$$\wedge \quad V_{o(e2)} = I_o \times (R_f // R_{e2})$$

$$\therefore \quad I_f = \frac{I_o \times (R_f // R_{e2})}{R_f} \Rightarrow \frac{I_f}{I_o} \Rightarrow \frac{R_f // R_{e2}}{R_f}$$

$$\bullet \ \beta \Rightarrow \frac{I_f}{I_o} = \frac{R_{e2} \times \cancel{R_f}}{R_{e2} + R_f} \times \frac{1}{\cancel{R_f}} \Rightarrow \frac{R_{e2}}{R_{e2} + R_f} \Rightarrow 0{,}04$$

Otro camino para encontrar β: (el q' normalmente se usa!)

① $i_f = \dfrac{V_i - V_{o(e2)}}{R_f} \quad \wedge \quad i_e = i_f - I_o$; con $V_i = 0$ → condición!

$\beta = \dfrac{i_f}{i_o}$

$$i_f \Big|_{V_i = 0} = \frac{-V_{o(e2)}}{R_f} \quad \wedge \quad V_{o(e2)} = R_{e2} \times i_e = R_{e2}(i_f - i_o)$$

$$i_f = \frac{-R_{e2}(i_f - i_o)}{R_f} = \frac{i_o R_{e2} - i_f \cdot R_{e2}}{R_f}$$

$$i_f(R_f + R_{e2}) = I_o R_{e2} \ \therefore$$

$$\frac{i_f}{i_o} = \frac{R_{e2}}{(R_{e2} + R_f)} \Rightarrow \beta$$

NOTA

4) Cálculo de A_i, Z_i y Z_o:

$$\frac{A /\!/ B}{B} = \frac{A}{A+B}$$

$$A = \frac{X_o}{X_i} = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_o}{i_{b2}} \times \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \times \frac{i_{b1}}{i_i}$$

$\rightarrow i_o \Rightarrow -h_{fe}\, i_{b2}$ ∴ $\bullet\ \frac{i_o}{i_{b2}} = -h_{fe} = -50$

$$\rightarrow i_{b2} \Rightarrow \frac{-h_{fe} \cdot i_{b1} \cdot \left\{R_{C1} /\!/ \left[h_{ie2} + (R_{E2} /\!/ R_f) \cdot (h_{fe}+1)\right]\right\}}{h_{ie2} + (R_{E2} /\!/ R_f) \times (h_{fe}+1)}$$

$$\frac{i_{b2}}{i_{b1}} \Rightarrow \frac{-50 \times (3K\Omega)}{3K + \left[1{,}1K + (50 /\!/ 1{,}2K)\,(50+1)\right]}$$

$\bullet\ \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \Rightarrow -22{,}90$

$$\rightarrow i_{b1} \Rightarrow \frac{V_{ii}}{h_{ie1}} \Rightarrow i_i \times \left\{R_S /\!/ \left[(R_f + R_{E2}) /\!/ h_{ie1}\right]\right\} / h_{ie1}$$

$$\frac{i_{b1}}{i_i} = \frac{R_S /\!/ \left\{(R_f + R_{E2}) /\!/ h_{ie}\right\}}{h_{ie}} = \frac{1{,}2K /\!/ \left\{(1{,}2K + 50) /\!/ 1{,}1K\right\}}{1{,}1K}$$

585,1

$\bullet\ \frac{i_{b1}}{i_i} = 0{,}357$

$$A_i = 0{,}357 \times (-22{,}90) \times (-50)$$

$\bullet\ A_i \Rightarrow 408{,}76$

$\bullet\ Z_i = \left\{R_S /\!/ \left[(R_f + R_{E2}) /\!/ h_{ie1}\right]\right\} \Rightarrow 393{,}32\ \Omega$

$\bullet\ Z_o = R_{C2} = 500\,\Omega$

Para calcular Z_i; Z_o; se abren las fuentes de corriente y se cortocircuitan las fuentes de tensión.

NOTA

5) Cálculo de D; Zif; Zof y Aif:

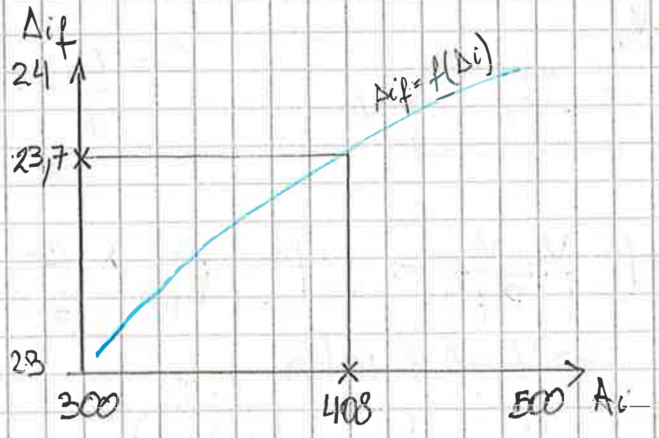
$A_{if} = A_i / D$ → $D = 1 + \beta . A_i = 1 + 0,04 . 408,76$

• $D = 17,35$

• $A_{if} = \frac{408,76}{17,35} \Rightarrow 23,56$

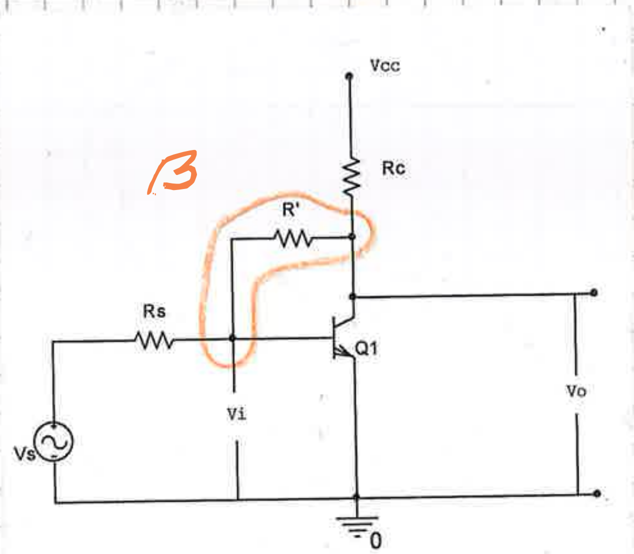
• $Z_{if} = Z_i / D = 393,32\,\Omega / 17,35 \Rightarrow 22,67\,\Omega$

• $Z_{of} = Z_o \times D = 500\,\Omega \times 17,35 \Rightarrow 8,67\,K\Omega$



$\beta = 0,04$

3) De la guía de T.P. del Ing. Olmos (Nº3) Revisado



• Datos:

$R_s = 10\,K\Omega$

$R_f = 40\,K\Omega$

$R_c = 4\,K\Omega$

$h_{fe} = 50$

$h_{ie} = 1,1\,K\Omega$

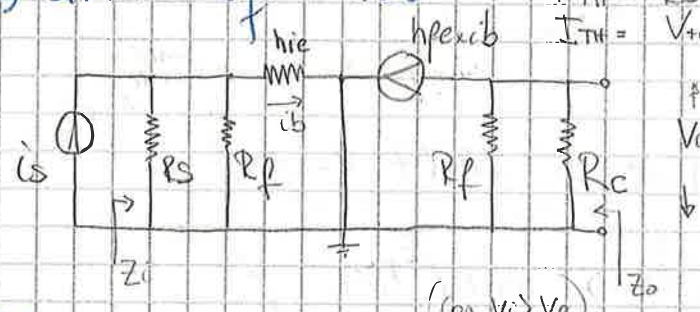
• Calcular: R_{mf}; A_{vf}; Z_{if}; Z_{of}

NOTA

Desarrollo:

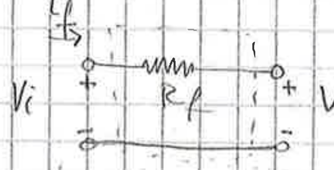
I) Topología: { Muestra de Tensión (Paral.), Mezcla en paralelo } → $\frac{V_o}{I_i} = R_M\ [\Omega]$

II) Circuito equivalente: $R_{TH} = R_S \Rightarrow 10\ K\Omega$
$I_{TH} = V_{+n}/R_S$



(en Vi y Vo)

III) Red β:



$\beta = \frac{i_f}{V_o} = \frac{i_f}{-i_f \times R_f} = -\frac{1}{R_f}$ ✓

Haciendo $V_i = 0$

$i_f = \frac{V_i - V_o}{R_f} \Rightarrow i_f = -\frac{V_o}{R_f} \wedge \beta = \frac{i_f}{V_o} \therefore \beta = \frac{-\frac{\cancel{V_o}}{R_f}}{\cancel{V_o}} = -\frac{1}{R_f}$ ✓

↳ $V_i = \emptyset$ p/ realim.

Cálculo de Δ, Zi y Zo:

• $\boxed{\beta = -25\ \mu[A/V]}$ ✓

IV) $\Delta \Rightarrow R_M = \frac{V_o}{I_i} = \frac{V_o}{i_b} \times \frac{i_b}{i_i}$ $(i_s \simeq i_i)$

→ $V_o = -h_{fe} \times i_b \times (R_f // R_c)$

∘ $\frac{V_o}{i_b} = -h_{fe} \times \frac{R_f \times R_c}{R_f + R_c} \Rightarrow -50 \times \frac{40K \times 4K}{40K + 4K} \Rightarrow \boxed{-181,81K}$

→ $i_b = \frac{i_s \times (R_S // R_f) // h_{ie}}{h_{ie}}$

∘ $\frac{i_b}{i_s} = \frac{\left(\frac{R_S \times R_f}{R_S + R_f}\right) // h_{ie}}{h_{ie}} \Rightarrow \frac{\left[\left(\frac{10K \times 40K}{10K + 40K}\right) // 1{,}1k\right]}{1{,}1K\Omega} \Rightarrow \boxed{0{,}879}$

• $R_m = -181{,}81 \times 0{,}879 = \boxed{-159{,}84\ K}\ \left[\frac{V}{A}\right]$

• $Z_i = (\underbrace{R_S // R_f}_{8K\Omega} // \underbrace{h_{ie}}_{1K\Omega}) \Rightarrow \boxed{967{,}03\ \Omega}$ ✓

NOTA

HOJA N° 5

FECHA 11/11/2009

- $Zo = Rc // Rf = \frac{40K \times 4K}{40K + 4K} \Rightarrow 3,636\ K\Omega$ ✓

IV) Cálculo de D; Af; Zif; Zof:

→ $D = 1 + Rm \times \beta = 1 + (-159,84\ K\ [\cancel{A}/V]) \times (-25\mu\ [\cancel{A}/V])$

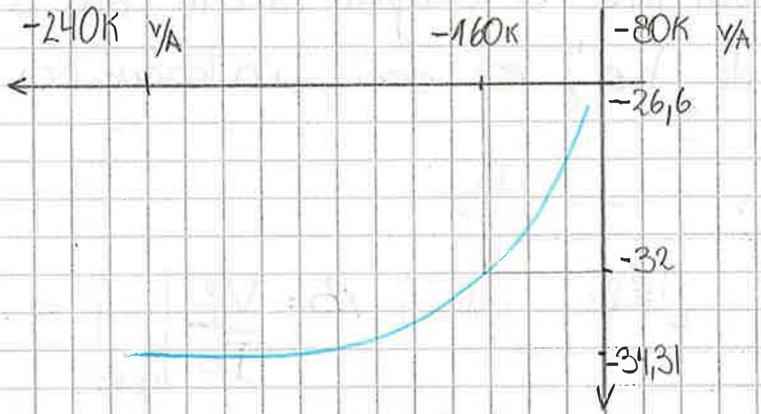
- $\underline{D = 5}$ ✓

→ $A_f = Rm_f = Rm/D = -159,84\ V/A / 5 = -32$

- $\underline{Rm_f = -32}$ ✓

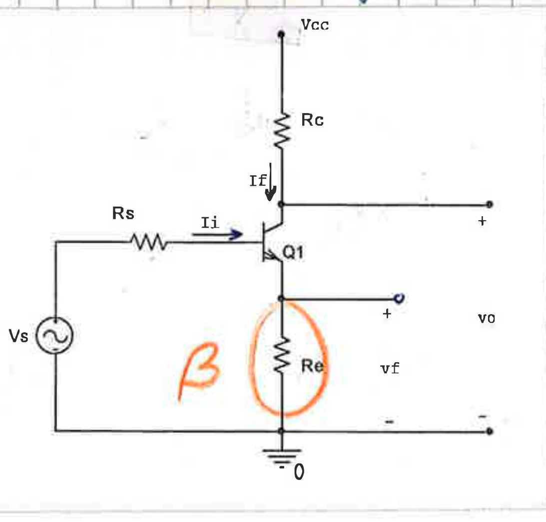
- $Zi_f = Zi/D = 967,03\ \Omega / 5 = \underline{193,4\ \Omega}$ ✓

- $Zo_f = Zo/D \Rightarrow 3,636\ K\Omega / 5 = \underline{727,3\ \Omega}$ ✓



4) De la guía de T.P. del Ing. Olmos (N°4) Revisado ✓

Similar en pág. 26



Datos:

$Rs: 1K\Omega$

$h_{fe}: 150$

$D: 50$

$\Delta v_f = -4$ ✓

$Gm_f = -1mA/V$ ✓

Calcular: R_L; Re; Zi_f; ic_a ✓

NOTA

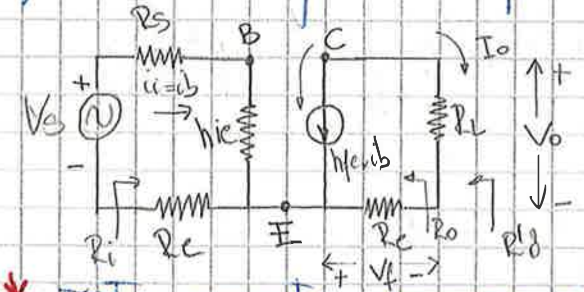
Desarrollo:

I) Topología: $\left\{\begin{array}{l}\text{Muestreo de corriente} \\ \text{Mezcla en serie (Tensión)}\end{array}\right. \rightarrow \dfrac{I_o}{V_i} = G_m$

$\wedge$

$\beta = \dfrac{V_f}{I_o}$

II) Circuito equivalente para CA: $I_o = 0$; $I_i = 0$

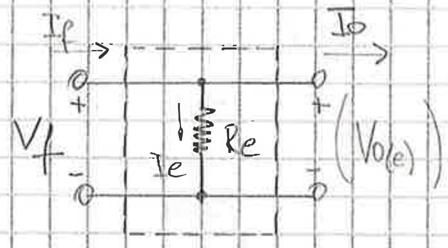


→ Posibles soluciones:
- ↳ Modelo T → Modelo π
- Dualidad de Miller

* Este circuito aparece en Millman y Halkias, pág. 433

"Re aparece tanto en el circuito de entrada como de salida haciendo '$I_o = 0$ y $I_i = 0$' ... No se puede indicar toma de tierra en este circuito, porque esto equivaldría a acoplar la entrada a la salida a través de Re; es decir, introduciría realim."

III) Red β:



$\beta = \dfrac{V_f}{I_o}\Bigg|_{I_f=0} \Rightarrow -\dfrac{\cancel{I_o} \times R_e}{\cancel{I_o}}$

$\therefore \quad \beta = -R_e$

o

$I_f = I_o + I_e \therefore I_e = I_f - I_o$

$V_f = I_e \times R_e = (I_f - I_o) \times R_e$

- $\beta = \dfrac{V_f}{I_o}\Bigg|_{I_f=0} \therefore \beta = \dfrac{-\cancel{I_o} \times R_e}{\cancel{I_o}} = -R_e$

IV) Cálculo de Δ; Z_i; Z_o

$\Delta = G_m = \dfrac{I_o}{V_i} = \dfrac{-h_{fe} \times i_b}{V_s} = \dfrac{-h_{fe}}{V_s/i_b} \quad \wedge \quad \dfrac{V_s}{i_b} = R_s + h_{ib} + R_e$

NOTA

$(V_i = V_s)$

- $G_m = \dfrac{-h_{fe}}{R_s + h_{ie} + R_e}$

- $Z_i = R_s + h_{ie} + R_e$

- $Z_o = \infty$ → La imp. de salida es ∞ debido a la fuente de corriente en serie con la malla de salida.

- $Z'_o = Z_o \parallel R_L = R_L$

V) Cálculo de A_f; Z_{if}; Z_{of}; D

$$D = 1 + \beta \cdot G_m = 1 + (-R_e) \times \frac{(-h_{fe})}{R_s + h_{ie} + R_e}$$

- $D = \dfrac{R_s + h_{ie} + R_e + h_{fe} \cdot R_e}{R_s + h_{ie} + R_e} = \dfrac{R_s + h_{ie} + (h_{fe}+1) \cdot R_e}{R_s + h_{ie} + R_e}$

$$G_{mf} = G_m / D = \frac{-h_{fe}}{\cancel{R_s + h_{ie} + R_e}} \times \frac{\cancel{R_s + h_{ie} + R_e}}{R_s + h_{ie} + (h_{fe}+1) \cdot R_e}$$

- $G_{mf} = \dfrac{-h_{fe}}{R_s + h_{ie} + (h_{fe}+1) \cdot R_e}$

$$Z_{if} = \frac{Z_i}{D^{-1}} = \frac{R_s + h_{ie} + R_e}{\left[R_s + h_{ie} + R_e(h_{fe}+1)\right]^{-1}} \times (R_s + h_{ie} + R_e)^{-1}$$

- $Z_{if} = R_s + h_{ie} + (h_{fe}+1) \cdot R_e$

NOTA

$Z_{of} = Z_o \times D \to \infty$

- $Z'_{of} = Z'_o // R_L = R_L$

$\Delta v_f = G_{mf} \times R_L$ $\to$ Sabe de que $G_m = \dfrac{I_o}{V_i}$

$\wedge$ $\dfrac{V_o}{V_i} = \Delta v \to V_o = I_o \times R_L$

$\therefore$

$$\boxed{\Delta v = \frac{I_o \times R_L}{V_i} = G_m \times R_L}$$

Cálculo numérico. $R_C = R_L$? , R_e? ; Z_{if}?; I_{CQ}?

$\to \Delta v_f = G_{mf} \times R_L$ $(R_L = R_C)$

$\therefore$ • $R_L = \dfrac{\Delta v_f}{G_{mf}} \Rightarrow \dfrac{-4}{-1\,mA/V} = 4\,K\Omega$

$\to G_{mf} = \dfrac{G_m}{D}$

$\therefore$ • $G_m = G_{mf} \times D = -1\,mA/V \times 50 = -50\,mA/V$

$\to D = 1 + \beta \times G_m$

$\therefore$ $\beta = \dfrac{D-1}{G_m} = \dfrac{50-1}{-50\,mA/V} \Rightarrow -980 \left[\dfrac{V}{A}\right]$

$\to \beta = -R_e$

$\therefore$ • $R_e = 980\,\Omega$

$\to G_m = \dfrac{I_o}{V_i} = \dfrac{-h_{fe} \times i_b \times 1}{v_i}$ $\wedge$ $\dfrac{V_i}{i_b} = R_S + h_{ie} + R_e$

$G_m = -\dfrac{h_{fe}}{R_S + h_{ie} + R_e}$ $\therefore$ $G_m R_S + G_m h_{ie} + G_m \cdot R_e = -h_{fe}$

$h_{ie} = \dfrac{-G_m R_e - G_m R_S - h_{fe}}{G_m} \Rightarrow$

NOTA

$$h_{ie} = \left(-(-50\,mA/V)(980\,\Omega + 1\,K\Omega) - 150 \right) / -50\,mA/V$$

• $h_{ie} = 1{,}02 \times 10^3\ \Omega$ ✓

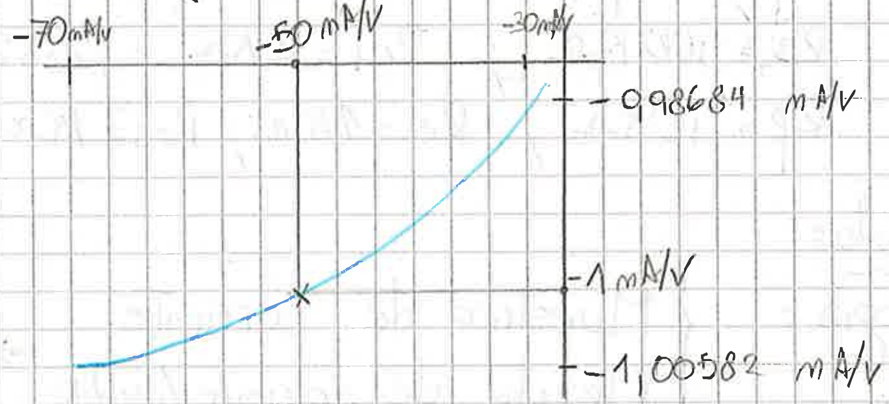
→ $Z_{if} = R_S + h_{ie} + (h_{fe}+1) \times R_e = 1K + 1{,}02K + (150+1) \times 980$

• $Z_{if} = 150\ K\Omega$ ✓

→ $h_{ie} = h_{fe} \times V_T / I_{CQ}$ $\wedge$ $V_T = 25{,}8\ mV$

$\therefore$ $I_{CQ} = h_{fe} \times V_T / h_{ie} \Rightarrow 150 \times 25{,}8\,mV / 1{,}02K$

• $I_{CQ} \Rightarrow 3{,}794\ mA$ ✓



Conclusiones:

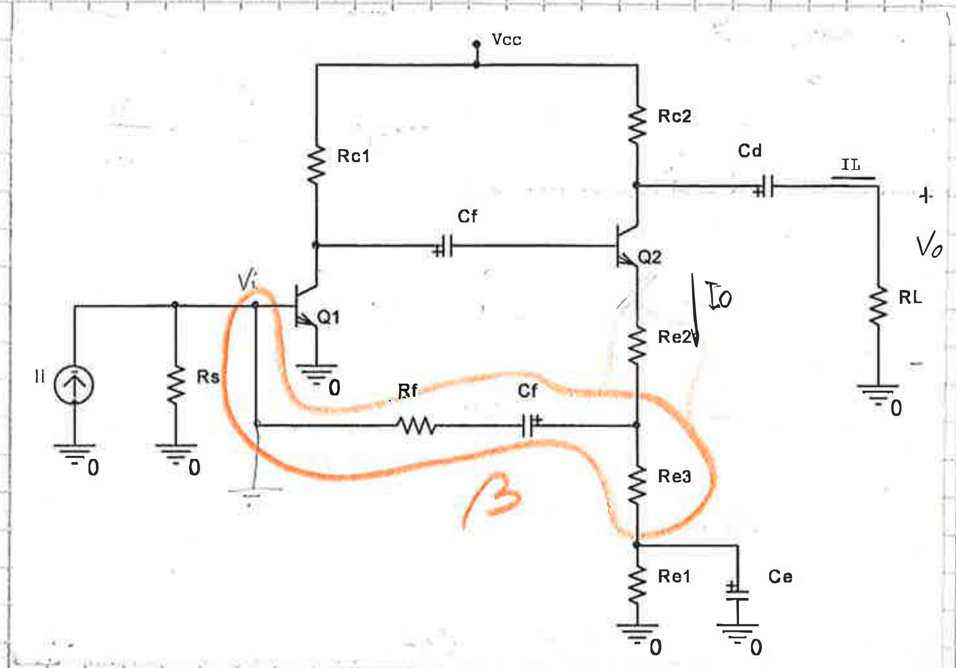
Cuando se realiza el circ. eq. para CA y pequeña señal de este circ; desde la óptica convencional, (Modelo π) "Re" aparece en el circuito de entrada reflejada por $(h_{fe}+1)$ y no aparece en el circ. de salida.
Analizado desde realimentación; "Re" aparece tanto en el circ. de entrada como de salida, sin reflejar.

* En ambos casos $Z_{i(f)}$ es equivalente; así como $Z_{o(f)}$ y $Z'_{o(f)}$

Revisado ✓

14/11/2009

5) De la guía de T.P. del Ing. Olmos (N°5a)



Calcular:

A_{if}

Z_{if}

Z_{of}

Datos: $h_{fe1} = h_{fe2} = 50$; $h_{ie1} = h_{ie2} = 1K\Omega$

$R_S = 100 K\Omega$; $R_{C1} = 2K\Omega$; $R_{C2} = 2K\Omega$; $R_L = 10\Omega$

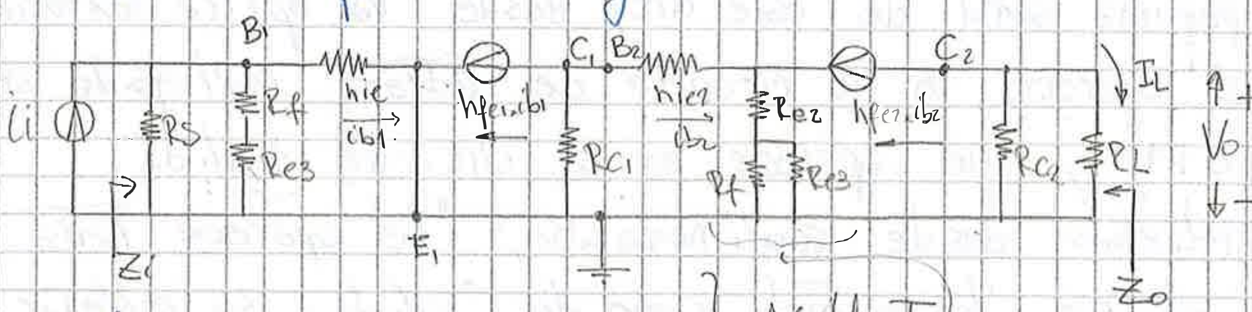
$R_f = 10K\Omega$; $R_{e2} = 1K\Omega$; $R_{e3} = 1K\Omega$; $R_{e1} = 100\Omega$

Desarrollo:

I) Topología: { Muestreo de corriente / Mezcla de corriente/paralelo } → $\beta = \frac{I_f}{I_o}$

II) Circuito eq. en CA p/ pequeña señal; sin realimentación pero con carga.

$\hat{A}_I = \frac{I_o}{I_i}$



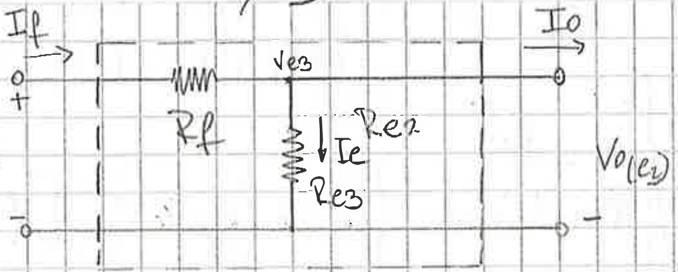
→ Modelo T

(Cuando se desdobla la fuente de corr. $i_{b2} \cdot h_{fe2}$, $\{R_{e2}; R_f \, y \, R_{e3}\}$ quedan multiplic. por $(h_{fe}+1)$)

III) Red β:

NOTA

β



$$\beta = \frac{I_f}{I_o}$$

Suponiendo β como un cuadripolo y $V_i > Vo_{(e3)}$

$$\begin{cases} I_f = I_o + I_e \\ i_f = \dfrac{V_i - Vo_{e3}}{R_f} \end{cases} \therefore \quad I_e = I_f - I_o \qquad \text{con } V_i = 0$$

$$i_f = -\frac{Vo_{e3}}{R_f} = -\frac{Re_3 \times I_e}{R_f} = -\frac{Re_3(i_f - i_o)}{R_f} = \frac{i_o Re_3 - i_f Re_3}{R_f}$$

$$i_f \times (R_f + Re_3) = i_o \times Re_3$$

$$\therefore \frac{i_f}{i_o} = \frac{Re_3}{R_f + Re_3} \rightarrow \bullet\ \beta = 90{,}9\ m$$

Nota: Haciendo la suposición de que $Vo_{e3} > V_i$, y tomando consecuentemente el sentido de las corrientes en el cuadripolo β se obtiene el mismo resultado; $\beta = Re_3/(R_f + Re_3)$

IV) Calcular Δ_i; Z_i; Z_o

$$\Delta_i = \frac{I_o}{I_i} \quad \text{al ser dos etapas:} \quad \Delta_i = \frac{i_o}{i_{b2}} \times \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \times \frac{i_{b1}}{i_i}$$

$\rightarrow$ $i_o = -h_{fe2} \times i_{b2} \therefore \dfrac{i_o}{i_{b2}} = -h_{fe2}$

(i_L)

Suponiendo $R_{c2} \gg R_L$

NOTA $\hookrightarrow$ Si no se cumple; $\dfrac{i_o}{i_{b2}} = -h_{fe2} \times \dfrac{R_L}{R_{c2} + R_L}$

$\rightarrow\ i_{b2} = -h_{fe1} \times i_{b1} \times \dfrac{\left[R_{C1} // \{h_{ie2} + (R_{e2} + (R_f // R_{e3})) \times (h_{fe}+1)\}\right]}{h_{ie2} + (R_{e2} + R_f // R_{e3}) \times (h_{fe}+1)}$

$$\frac{i_{b2}}{i_{b1}} = -h_{fe1} \times \left\{ \frac{R_{C1}}{\left[R_{C1} + h_{ie2} + (R_{e2} + (R_f // R_{e3})) \times (h_{fe}+1)\right]} \right\}$$

$\rightarrow\ i_{b1} = \dfrac{i_i \times \left\{ R_S // \left[(R_f + R_{e3}) // h_{ie1} \right] \right\}}{h_{ie1}}$

$$\frac{i_{b1}}{i_i} = \frac{R_S // \left[(R_f + R_{e3}) // h_{ie1} \right]}{h_{ie1}}$$

- $\dfrac{i_o}{i_{b2}} = -h_{fe2} = \underline{-50}$

- $\dfrac{i_{b2}}{i_{b1}} = -50 \times \dfrac{2K}{2K + 1K + (1K + (10K // 1K)) \times (50+1)} \Rightarrow -1$

- $\dfrac{i_{b1}}{i_i} = \dfrac{100K // (10K + 1K) // 1K}{1K} = +0{,}9$

$\rightarrow$ • $A_i = \dfrac{i_o}{i_{b2}} \times \dfrac{i_{b2}}{i_{b1}} \times \dfrac{i_{b1}}{i_i} = -50 \times -1 \times 0{,}9 \Rightarrow \underline{45{,}25}$

$\rightarrow Z_i = R_S // (R_f + R_{e3}) // h_{ie1}$

• $Z_i = \underline{908{,}31\ \Omega}$

$\rightarrow Z_o = R_L // R_{C2} = 10\Omega // 2K\Omega$

• $Z_o = 9{,}95\ \Omega$

V) Cálculo de A_f; Z_{if}; Z_{of} y D.

$D = 1 + \beta \times A_i = 1 + 90{,}9 \times 10^{-3} \times 45{,}25$

• $\underline{D = 5{,}136}$

NOTA

HOJA Nº 9

FECHA 14/11/2009

- $\Delta i_f = \Delta i / D = 45{,}25 / 5{,}1136 \Rightarrow 8{,}84$ ✓

- $Zi_f = Zi / D \Rightarrow 908{,}34 / 5{,}1136 \Rightarrow 177{,}63\ \Omega$ ✓

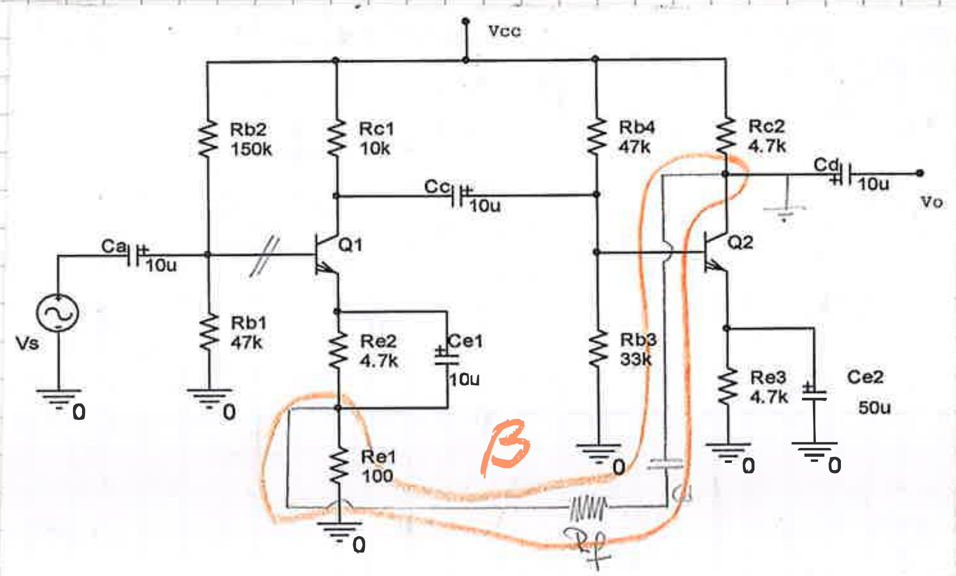
- $Zo_f = Zo \times D \Rightarrow 9{,}95 \times 5{,}1136 \Rightarrow 50{,}88\ \Omega$ ✓

---

6) De la guía de T.P. del Ing. Olmos (Nº 56) Revisado ✓

Aplicar al circuito realimentación negativa de manera que cumpla con los siguientes requerimientos:

$$\left\{ \Delta v_f = 45{,}4 \quad \text{donde} \quad \Delta Av_f = 0{,}271\% \text{ para } \Delta Av = 5\% \right\}$$



Desarrollo:

Ganancia de Tensión, → amplif. de tensión. $Av \Rightarrow \frac{Vo}{Vi}$ ∧ $\beta = \frac{V_f}{Vo}$

Mezcla en Serie

Muestra de Tensión

$$S = \frac{\Delta Av_f \%}{\Delta Av \%} = \frac{1}{D} = \frac{1}{1 + \beta \times Av} \quad \wedge \quad Av_f = \frac{Av}{D}$$

NOTA

La página de las 3 nubes blancas...

- $S = \dfrac{0{,}271\,\%}{5\%} \Rightarrow 54{,}2 \times 10^{-3}$ ✓

- $D = \dfrac{1}{S} = 18{,}45$ ✓

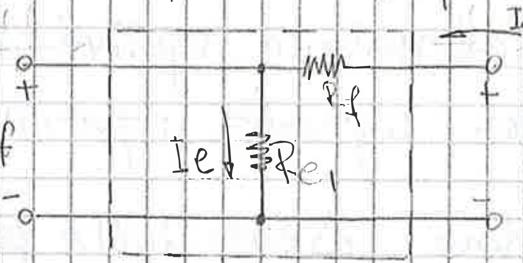
- $A_V = A_{Vf} \times D = 45{,}4 \times 18{,}45 \Rightarrow 837{,}638$ ✓

$\rightarrow D = 1 + \beta \cdot A_V$

$\therefore$ • $\beta = \dfrac{D-1}{A_V} = \dfrac{18{,}45-1}{837{,}630} \Rightarrow 20{,}83 \times 10^{-3}$ ✓

III) Red β:

Suponiendo $V_o > V_f$ $\wedge$ $i_f = \phi_{N}$:



$\rightarrow \beta = \dfrac{V_f}{V_o}$

→ realiment.

[* $i_i = 0$]

↓

($i_f = 0$)

$$\left.\begin{array}{l} V_f = i_e \times Re_1 \\ V_o = i_o \times (R_f + Re_1) \end{array}\right\} \frac{V_f}{V_o} = \frac{\cancel{i_e} \times Re_1}{\cancel{i_o} \times (R_f + Re_1)}$$

$\{ i_e = i_o \}$

$$\beta = \frac{Re_1}{R_f + Re_1}$$

$\therefore$ $R_f\beta + Re_1\beta = Re_1$

$$R_f = \frac{Re_1 - \beta Re_1}{\beta} = \frac{Re_1(1-\beta)}{\beta} \Rightarrow \frac{100 \times (1 - 20{,}83 \times 10^{-3})}{20{,}83 \times 10^{-3}}$$

- $R_f = 4{,}7\ K\Omega$ ✓

→ con los sentidos de las corrientes correspond.

! OTRO camino: Suponiendo $V_i = V_f > V_o$ y luego aplicar $i_i = i_f = 0$;

$V_f = i_e \times Re$ ✓ $\quad i_f = i_e + i_o$ ✓ $\therefore$ $i_e = (i_f - i_o)$

$V_f = (i_f - i_o)\, Re$ $\quad$ ↑ condición de realiment. $i_f = 0$

$V_f = -i_o \times Re_1$ $\quad \wedge \quad i_o = -\dfrac{V_o}{R_f + Re_1}$

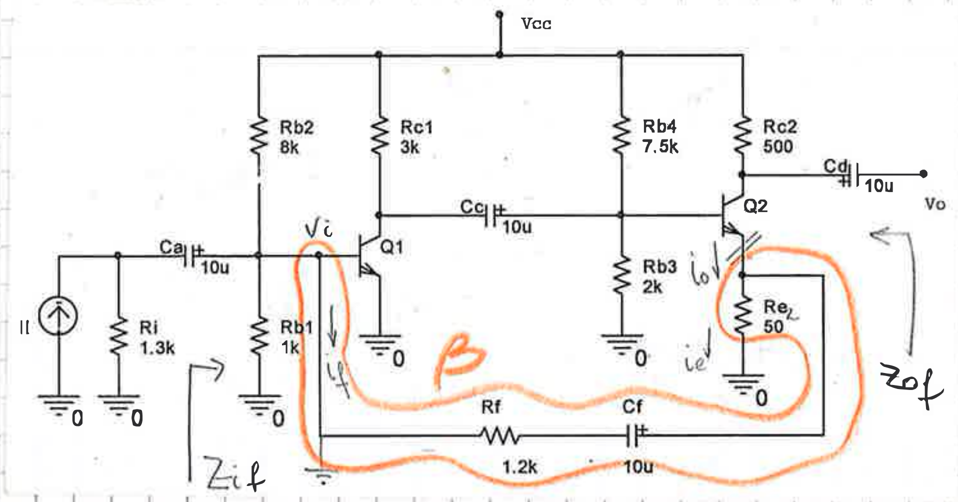
$\therefore$ $V_f = V_o\, Re_1 / (Re_1 + R_f)$ $\quad \rightarrow \beta = \dfrac{V_f}{V_o} = \dfrac{Re_1}{Re_1 + R_f}$ ✓

NOTA

HOJA N° 10

FECHA 15/11/2009

7) De la guía del Ing. Olmos (N° 5c)



Datos:

$h_{fe1} = h_{fe2} = 50$

$h_{ie1} = h_{ie2} = 1{,}1\,K\Omega$

Calcular:

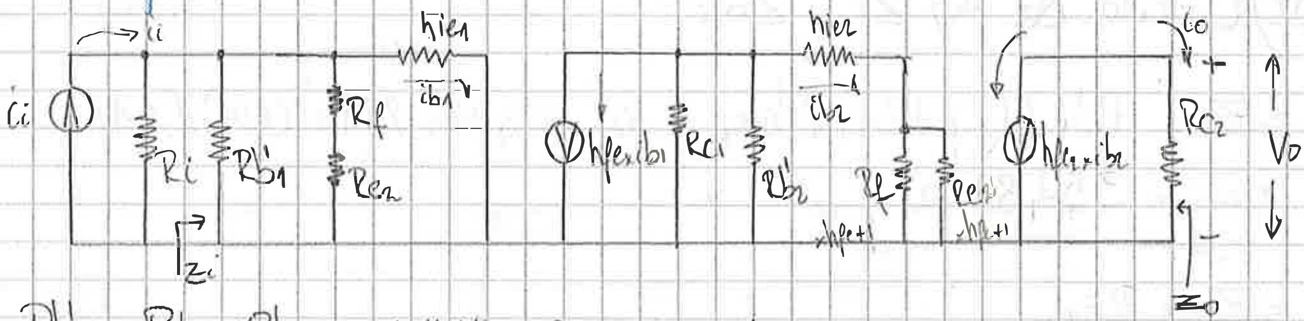
A_f; Z_{if}; Z_{of}

Desarrollo:

I) Topología:

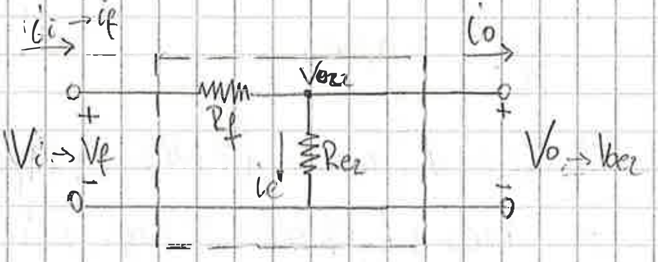
{ Muestreo de corriente
{ Mezcla en paralelo (corriente) → $\beta = \dfrac{i_f}{i_o}$; $A_i = \dfrac{i_o}{i_i}$

II) Circ. eq. CA:



- $R'_{b1} = R_{b1} // R_{b2} = 8K // 1K = 888{,}88\,\Omega$ ✓
- $R'_{b2} = R_{b3} // R_{b4} = 2K // 7{,}5K = 1{,}578\,K\Omega$ ✓

III) Red β



$\beta = \dfrac{i_f}{i_o}\Big|_{V_i = V_f = 0}$

$i_f = \dfrac{V_f - V_{e2}}{R_f}\Big|_{V_f = 0} = -\dfrac{V_{e2}}{R_f}$

$\wedge\; i_f = i_o + i_e \;;\; i_e = i_f - i_o$

$\wedge\; V_{e2} = R_{e2} \cdot i_e$

NOTA

$\therefore V_{oe2} = (i_f - i_o) \times R_{e2}$

$$i_f = -\frac{V_{oe2}}{R_f} = \frac{-(i_f - i_o)\cdot R_{e2}}{R_f} = \frac{i_o\, R_{e2} - i_f \cdot R_{e2}}{R_f}$$

$$i_f \times R_f + i_f\, R_{e2} = i_o\, R_{e2}$$

$$i_f = \frac{i_o \times R_{e2}}{(R_f + R_{e2})} \longrightarrow \frac{i_f}{i_o} = \frac{R_{e2}}{R_{e2} + R_f}$$

- $\beta = \frac{50\Omega}{1K + 50\Omega} \Rightarrow 0{,}04$ ✓

Otro método:

$$i_f = \frac{i_o \times (R_f // R_{e2})}{R_f} = i_o \times \frac{R_{e2}}{R_f + R_{e2}} \therefore$$

$$\beta = \frac{i_f}{i_o} = \frac{R_{e2}}{R_f + R_{e2}}$$

IV) Cálculo de A_i, Z_i y Z_o:

334,81Ω

481,3

$\rightarrow Z_i = R_{b1}' // (R_f + R_{e2}) // h_{ie1} \Rightarrow 888{,}88\Omega // (1K + 50\Omega) // 1{,}1K\Omega$

- $Z_i = 352{,}84\ \Omega$ ✓

$\rightarrow Z_o = R_{c2}$

- $Z_o = 500\ \Omega$ ✓

$\rightarrow \Delta_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_o}{i_{b2}} \times \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \times \frac{i_{b1}}{i_i}$ ✓

$\rightarrow i_o = -h_{fe2} \times i_{b2} \quad \therefore \quad \frac{i_o}{i_{b2}} = -h_{fe2}$ ✓

$$\rightarrow i_{b2} = -h_{fe} \times i_{b1} \times \left\{ \frac{R_{c1} // R_{b2} // [h_{ie2} + (R_f // R_{e2})(h_{fe}+1)]}{h_{ie2} + (R_f // R_{e2}) \times (h_{fe}+1)} \right\}$$ ✓

✓ $\frac{i_{b2}}{i_{b1}} = -h_{fe} \times$

NOTA

$\rightarrow i_{b1} = i_o \times \left(R_i \,//\, R_{b1} \,//\, (R_f + R_{e2}) \,//\, h_{ie1}\right) / h_{ie1}$

$\dfrac{i_{b1}}{i_i} =$

Cálculos:

- $\dfrac{i_o}{i_{b2}} = -50$

- $\dfrac{i_{b2}}{i_{b1}} = \dfrac{\left(3K \,//\, 1{,}57K \,//\, \left[1{,}1K + (1{,}2K \,//\, 50)(50+1)\right]\right)}{\underbrace{\{1{,}1K + (1{,}2K \,//\, 50)(50+1)\}}_{3{,}548\,K\Omega}} \times (-50)$

$\dfrac{i_{b2}}{i_{b1}} = -11{,}30$

- $\dfrac{i_{b1}}{i_i} = (R_i \,//\, Z_i) / h_{ie1} = (1{,}3K \,//\, 352{,}8) / 1{,}1K$

$\dfrac{i_{b1}}{i_i} = 252{,}29 \times 10^{-3}$

$A_i = 252{,}29 \times 10^{-3} \times -11{,}30 \times -50$

- $A_i = 142{,}56$

V) Cálculo de A_f; D; Z_{if}; Z_{of}:

$\rightarrow D = 1 + \beta A_i = 1 + 0{,}04 \times 142{,}56$

- $D = 6{,}7$

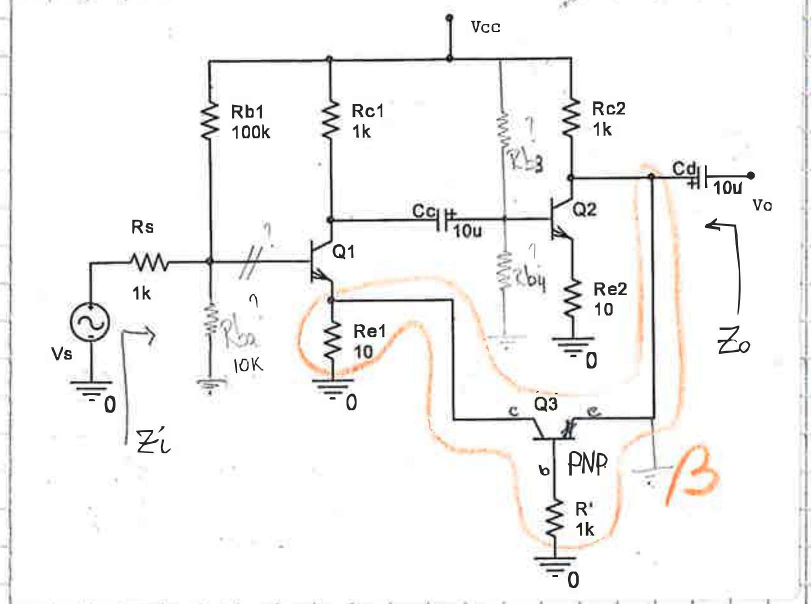
- $A_{if} = A_i / D = 142{,}56 / 6{,}7 = 21{,}7$

- $Z_{of} = Z_o \times D = 500\Omega \times 6{,}7 = 3{,}35\,K\Omega$

$Z_{if} = Z_i / D = 352{,}84\,\Omega / 6{,}7 = 52{,}66\,\Omega$

NOTA

8) De la guía de T.P. del Ing. Olmos (Nº 5c)



Datos:

$h_{fe} = 40$

$h_{ib} = 10\,\Omega$

h_{ie}

Calcular:

A_V ; A_{Vf}

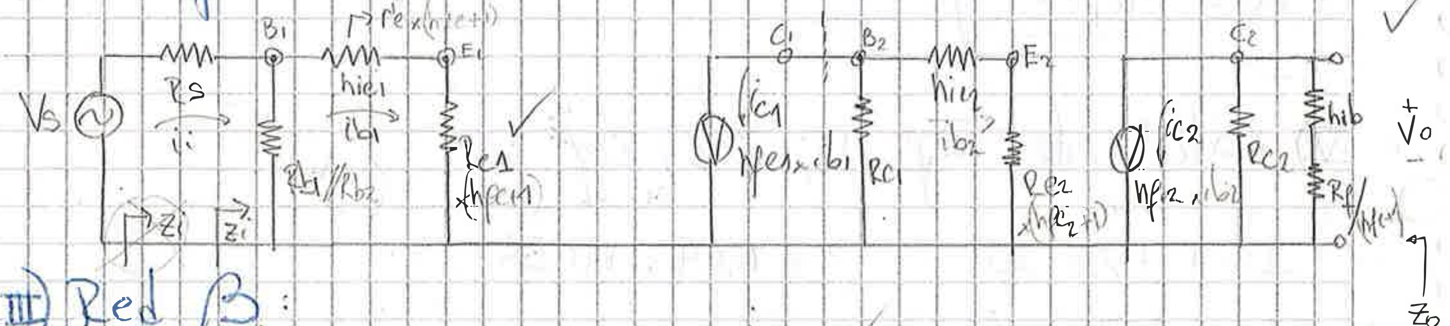
Z_i ; Z_{if}

Z_o ; Z_{of}

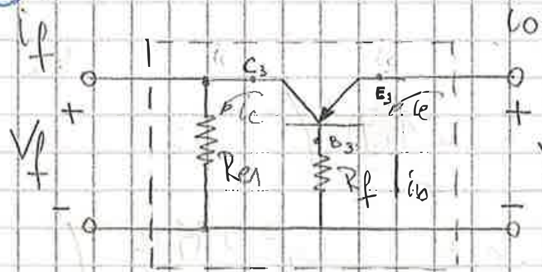
Desarrollo:

I) Topología: { Muestreo de Tensión / Mezcla en serie (tensión) } → $\beta = \dfrac{V_f}{V_o}$ ∧ $A_V = \dfrac{V_o}{V_i}$

II) Circ. eq. CA: (p/ el circ. eq.: $V_o = 0$; $i_i = 0$) $r'_e = h_{ib}$?



III) Red β:



$\beta = \dfrac{V_f}{V_o}$

Con $i_f = 0$; $V_f = +\, i_c \times R_{e1}$ (Suponiendo $V_o > V_f$)

$V_o = i_e \times \left(h_{ib} + R_f/(h_{fe}+1)\right)$ $\alpha \times (h_{fe}+1) = h_{fe}$

$\Rightarrow \beta = \dfrac{V_f}{V_o} = \dfrac{i_c \times R_{e1}}{i_e \cdot \left(h_{ib} + R_f/(h_{fe}+1)\right)} =$ ∧ $i_c = h_{fb} \times i_e$

NOTA

$\hat{}$ Rs: puede o no incluirse en el cálculo.

$\left\{ \begin{array}{l} R_{b1} // R_{b2} \gg h_{ie1} \\ R_{b3} // R_{b4} \gg h_{ie2} \end{array} \right.$ $\hat{}$ $T_1 = T_2 = T_3$

$$\beta = \frac{h_{fb} \times \cancel{ie} \times R_{e1}}{\cancel{ie} \times \left(R_f/(h_{fe}+1) + h_{ib} \right)} = \frac{h_{fb} \times R_{e1}}{R_f/(h_{fe}+1) + h_{ib}}$$

$$\beta = \frac{0{,}9756 \times 10\Omega}{1K/41 + 10\Omega}$$

• $\beta = 0{,}2836$ ✓

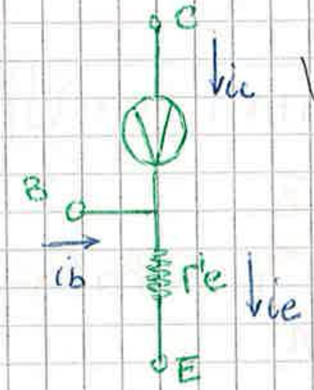
$$h_{fb} = -\alpha = \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1}$$

• $h_{fb} = 0{,}9756$ ✓

"Modelo T" del Tr. en BC:

NPN

En el PNP Todas las corrientes están alrevez.



$$V_{BE(cc)} = \overbrace{0{,}7v}^{V'_{BE}} + I_E \times \overbrace{r'e}^{V_T/I_{CQ}}$$
$$+ \underbrace{I_B \times r'e \times (h_{fe}+1)}_{I_B \times h_{ie}}$$ ✓

• Si este Término $< 0{,}1v$ es muy pequeño; V_{BE} se aplica directamente sobre el diodo Emisor.

IV) Cálculo de Δ; Z_i; Z_o:

$$\rightarrow Z_i = \left\{ \cancel{R_s +} \left[R_{b1} // \left(h_{ie1} + R_{e1} \times (h_{fe1}+1) \right) \right] \right\}$$

$$Z_i = \left\{ \cancel{1K +} \left[100K // \left(410\Omega + 10\Omega \times (40+1) \right) \right] \right\}$$

813 820

• $Z_i = 813{,}33\,\Omega$

$$h_{ie} = h_{ib} \times (h_{fe}+1)$$
$$h_{ie} = 10\Omega\,(40+1)$$

• $h_{ie} = 410\,\Omega$

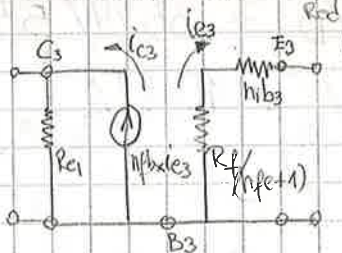
$$\rightarrow Z_o = \left[h_{ib} + R_f/(h_{fe}+1) \right] // R_{C2}$$

$$Z_o = \left[10\Omega + 1K\Omega/(40+1) \right] // 1K\Omega$$

• $Z_o = 33{,}24\,\Omega$

$$\rightarrow \Delta v = \frac{V_o}{V_s} = \left(\frac{V_o}{i_{b2}} \right) \times \left(\frac{i_{b2}}{i_{b1}} \right) \times \left(\frac{i_{b1}}{V_s} \right)$$

Otro modelo del Tr. en base-Común:



β PNP c/Polariz. y carga.

$$\beta = \frac{V_f}{V_o} \Rightarrow \frac{i_{c3} \times R_{e1}}{i_{e3}\,(h_{ib3} + R_f/(h_{fe}+1))} = \frac{h_{fb} \times \cancel{i_{e3}} \times R_{e1}}{\cancel{i_{e3}}\,(h_{ib3} + R_f/(h_{fe}+1))}$$ ✓

$$\beta = \underbrace{\left[\frac{h_{fe}}{(h_{fe}+1)} \right]}_{h_{fb}} \times \frac{R_{e1}}{(h_{ib} + R_f/(h_{fe}+1))} \Rightarrow \frac{40}{41} \times \frac{10}{34} \Rightarrow 0{,}2836$$ ✓

NOTA

$\rightarrow V_o = -h_{fe2} \times i_{b2} \times \left[R_{c2} \,//\, \left(h_{ib} + R_f/(h_{fe}+1) \right) \right]$

$$\frac{V_o}{i_{b2}} = -h_{fe} \times \left[R_{c2} \,//\, \left(h_{ib} + R_f/(h_{fe}+1) \right) \right]$$

$$\circ \ \frac{V_o}{i_{b2}} = -40 \times 33{,}24\,\Omega \Rightarrow -1{,}329K$$

$\rightarrow i_{b2} = -h_{fe1} \times i_{b1} \times \left\{ R_{c1} \,//\, \left[h_{ie2} + R_{e2} \times (h_{fe}+1) \right] \right\} \Big/ \left[h_{ie2} + R_{e2}(h_{fe}+1) \right]$

$$\frac{i_{b2}}{i_{b1}} \Rightarrow -h_{fe1} \times \frac{R_{c1}}{R_{c1} + \left[h_{ie2} + R_{e2} \times (h_{fe}+1) \right]}$$

$$\circ \ \frac{i_{b2}}{i_{b1}} = -40 \times \frac{1K}{1K + \left[410\,\Omega + 10 \times (40+1) \right]} = -21{,}97$$

$\rightarrow i_{b1} = \dfrac{V_s}{\left\{ R_s + \left[\underbrace{R_{b1} \,//\, (h_{ie1} + R_{e1} \times (h_{fe}+1))}_{Z_i} \right] \right\}} \times Z_i \times \dfrac{1}{h_{ie1} + R_{e1} \times (h_{fe}+1)}$

$$\frac{i_{b1}}{V_s} = \underbrace{\frac{Z_i}{R_s + Z_i}}_{\rightarrow V_i} \times \frac{1}{h_{ie1} + R_{e1}(h_{fe}+1)} = \frac{813{,}33}{813{,}33 + 1K} \times \frac{1}{410 + 10(40+1)}$$

$$\circ \ \frac{i_{b1}}{V_s} = 546{,}986\,\mu$$

$* \ A_V = -1{,}329K \times -21{,}97 \times 546{,}986\mu = 15{,}98$

Cálculo de A_f; Z_{if}; Z_{of}; D:

$\rightarrow D = 1 + \beta . A_V = 1 + 0{,}2836 \times 15{,}98 = 5{,}532$

$\rightarrow Z_{if} = Z_i \times D = 813{,}33 \times 5{,}532 \Rightarrow 4{,}5\,K\Omega$

$\rightarrow Z_{of} = Z_o / D = 33{,}24 / 5{,}532 \Rightarrow 6{,}0\,\Omega$

$\rightarrow A_{vf} = A_V / D = 15{,}98 / 5{,}532 \Rightarrow 2{,}88$

Nota: No confundir los parametros y ecuaciones para señal con las ecuaciones y parametros para polarización (cc).

NOTA

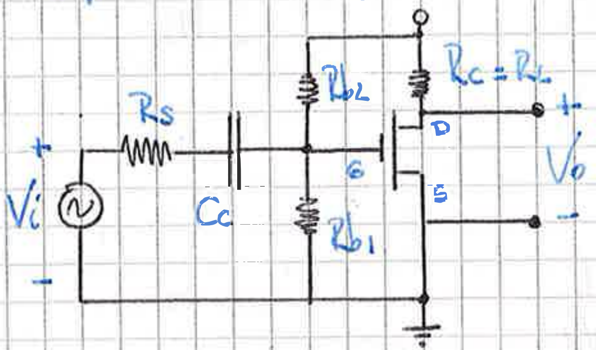
No Va

Respuesta en frecuencia de amp. no realimentados:

9) Del libro Gray-Searle; "Resp. frec." (14.1.4; pag. 534)

Problema de análisis.

Amplificador con fuente común:



Datos:

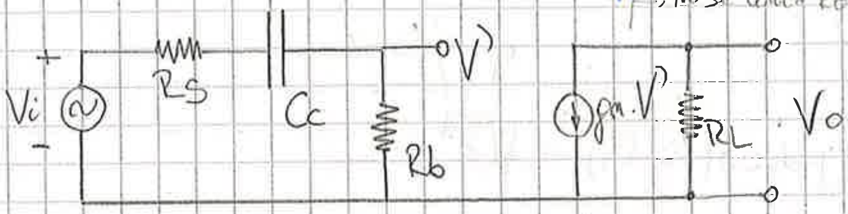
- Tr. MOS canal n
- Rs = 50 KΩ
- Rb = 500 KΩ
- gm = 1 m mho
- RL = 100 KΩ
- f_L = 50 Hz

Encontrar: Cc ; Av ; Z

Desarrollo:

Modelo lineal incremental para baja frecuencia:

→ No se coloca Ro por ser RL << Ro;



$R_b = R_{b1} // R_{b2}$

$$V' = \frac{V_i}{(R_s+R_b)+Z_c} \times R_b$$

$$V_o = -(g_m \times V') \times R_L$$

$$V_i = \frac{V'}{R_b} \times [(R_s+R_b)+Z_c]$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m \times \cancel{V'} \times R_L \times \frac{R_b}{\cancel{V'}[(R_s+R_b)+Z_c]}$$

$$A_v = \frac{R_b}{(R_s+R_b)} \times -g_m \times R_L \times \frac{1}{1+\left(\frac{Z_c}{R_s+R_b}\right)}$$

$$\therefore A_v = \frac{R_b}{(R_s+R_b)} \times -g_m \times R_L \times \underbrace{\left[\frac{S}{S+\left\{\frac{1}{(R_s+R_b)C_c}\right\}}\right]}$$

Término dependiente de la frecuencia.

NOTA [Marco Alvarez Reyna UTN-FRC marcoalrey@gmail.com]

Av : $\begin{cases} \text{Tiene un polo en} \rightarrow S = \dfrac{-1}{(Rs + Rb) \times Cc} \\ \text{y un cero al origen} \rightarrow S = 0 \end{cases}$

Cc :

Demostración :

$$\left| \frac{S}{S + \frac{1}{(Rs+Rb)Cc}} \right| = \frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow (-3\,dB)$$

$$\left| \frac{1}{1 + \frac{1}{SCc(Rs+Rb)}} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\left| 1 + \frac{1}{S \times Cc \times (Rs+Rb)} \right| = \sqrt{2}$$

Siendo $S = JW$

$$\left| 1 + 1/JWCc(Rs+Rb) \right| = \sqrt{2}$$

$$\left| 1 - J \times \frac{1}{W \times Cc \times (Rs+Rb)} \right| = \sqrt{2}$$

Así, para que la igualdad se cumpla :

$$\frac{1}{W \times Cc \times (Rs+Rb)} = 1$$

$$\therefore \quad W_L \Rightarrow \frac{1}{Cc \times (Rs+Rb)}$$

$$f_L = \frac{1}{2 \pi \times Cc \times (Rs + Rb)}$$

NOTA

HOJA Nº 15
FECHA 31/12/2009

$$C_C \Rightarrow \frac{1}{2\pi f_L \times (R_S + R_b)} \Rightarrow \frac{1}{2\pi \times 50\,\text{Hz} \times (50K\Omega + 500K\Omega)}$$

- $C_C \Rightarrow 5{,}787\ nf$ ó $0{,}0058\,\mu f$

Av:

Av para frec. centrales: $A_V = \dfrac{R_b}{R_b + R_S} \times -g_m \times R_L$

$$A_V = \frac{500K}{500K + 50K} \times -1 \times 10^{-3}\,\mho \times 100K$$

- $A_V \Rightarrow -90{,}9$

τ:

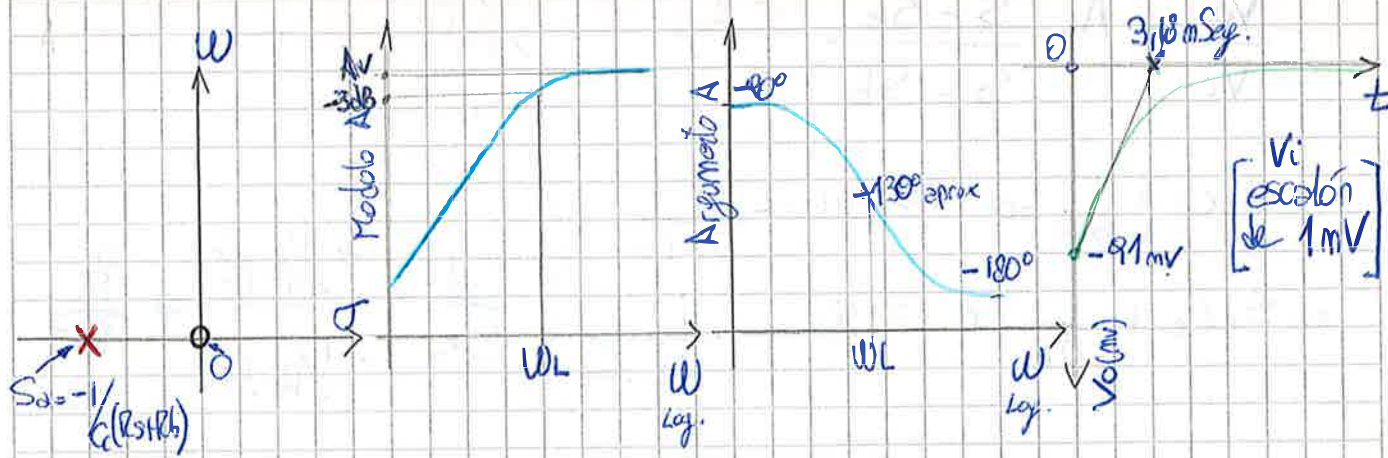
$$\tau = \frac{1}{|S_0|} \qquad \tau = R \times C$$

$$\tau = \frac{1}{\omega_L} = \frac{1}{2\pi \times 50\,\text{Hz}}$$

- $\tau = 3{,}18\ [\text{mSeg}]$ ó $\tau = C_C \times (R_S + R_b) = 5{,}787\,nf \times (550K\Omega)$

$\tau = 3{,}18\ \text{mSeg}$!

Gráficas:



NOTA

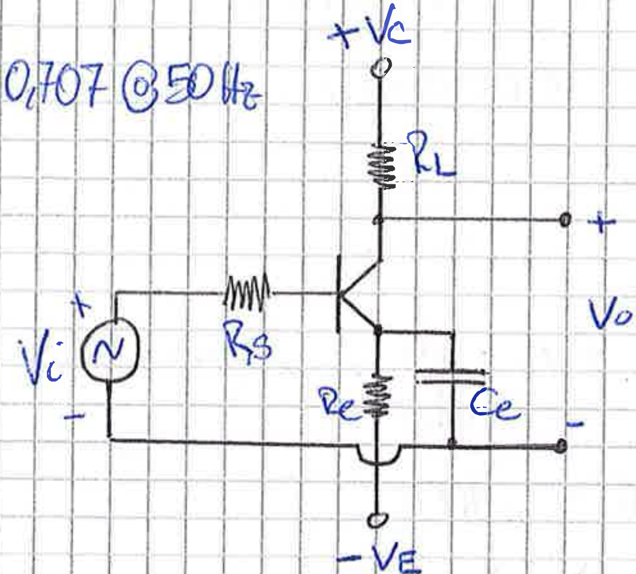
/

10) Del libro de Grey-Searle, Resp. Frec; (14.2.2 pag. 542)

Problema de análisis.

Amplificador con emisor común:

$K_A = 0{,}707 \ @ \ 50\,Hz$



Datos:

- $R_L = 910\,\Omega$
- $R_S = 1\,K\Omega$
- $R_b = 10\,K\Omega$
- $r_x = 100\,\Omega$
- $r_\pi = 400\,\Omega$
- $g_m = 0{,}1\ \mho$
- $R_e = 0{,}3\,K\Omega$
- $\beta = 40$

$f_L \Rightarrow 50\,Hz$

Encontrar: R_T; S_d/S_e; C_e; S_c; A_o; $A_o|_{dc}$; τ;

Desarrollo:

"Pulsación propia: es aquella pulsación compleja que de origen a un cero de admitancia medida entre los terminales de cualquier parte conectada a la red."

$Y_T = Y_1 + Y_2 + \dots Y_n$

$Y' \Rightarrow$ elementos conectados en paralelo.

$Y_T|_{\omega_L} = \emptyset$

$$\frac{V_o}{V_i} = A_o \cdot \frac{S - S_e}{S - S_b} \Rightarrow A_o \times \frac{S - \frac{1}{R_e C_e}}{S - \frac{1}{R_T C_e}}$$

- $S \cdot C_e + \frac{1}{R_T} = 0 \rightarrow S_b = -\frac{1}{R_T \cdot C_e}$
- $S \cdot C_e + \frac{1}{R_e} = 0 \rightarrow S_e = -\frac{1}{R_e \cdot C_e}$

$$\frac{S_b}{S_e} = \frac{\cancel{+}\,1/R_T \cdot \cancel{C_e}}{\cancel{+}\,1/R_e\,\cancel{C_e}} \Rightarrow \frac{R_e}{R_T}$$

NOTA

HOJA Nº 16

FECHA 04/01/2010

$\rightarrow R_T = Re \parallel (Rs + r_X + r_\pi) / (\beta+1)$

$R_T \Rightarrow 0{,}3K \parallel \left[(1K + 0{,}1K + 0{,}4K) / (40+1) \right]$

• $R_T \Rightarrow 32{,}6\ \Omega$ ✓

$\rightarrow \bullet \dfrac{Sd}{Se} = \dfrac{Re}{R_T} = \dfrac{300\ \Omega}{32{,}6\ \Omega} = 9{,}2$ ✓

El polo se ve poco afectado por el cero! así:

$\rightarrow |Sb| = \omega_b = \dfrac{1}{R_T \times Ce} \therefore Ce = \dfrac{1}{\omega b \times R_T}$

• $Ce = \dfrac{1}{2\pi \times 50\,Hz \times 32{,}6\,\Omega} = 97{,}64\ \mu f$ ✓

$\rightarrow \bullet |Se| = \dfrac{1}{Re \times Ce} = \dfrac{1}{300\,\Omega \times 97{,}64\,\mu f} = 34{,}13\ r/seg$ ✓

$\rightarrow A_o \Rightarrow \dfrac{V_o}{V_i}$ (frec medias)

$V' = \dfrac{V_i}{Rs + r_X + r_\pi} \times r_\pi \quad \therefore \quad \text{(I)}\ V_i = \dfrac{V' \times (Rs + r_X + r_\pi)}{r_\pi}$

(II) $V_o = -gm \cdot V' \cdot R_L$

$A_o = -gm \cdot \cancel{V'} R_L \times \dfrac{r_\pi}{\cancel{V'} \times (Rs + r_X + r_\pi)}$

$A_o = -\left(\dfrac{r_\pi}{Rs + r_X + r_\pi} \right) \times gm \cdot R_L$

$A_o = -\left(\dfrac{400}{1K + 100 + 400} \right) \times 0{,}1 \times 910\ \Omega$

• $A_o = -24{,}26$ ✓

NOTA

$$A_{dc} \Rightarrow \left.\frac{V_o}{V_i}\right|_{dc}$$

$$V_{o\,dc} = -g_m \times V' \times R_L$$

$$V_{i\,dc} \Rightarrow V' = \frac{V_i}{R_s + r_x + r_\pi + R_e(\beta+1)} \times r_\pi$$

$$\therefore V_i = \frac{V' \times \left(R_s + r_x + r_\pi + R_e(\beta+1)\right)}{r_\pi}$$

$$A_{dc} = \frac{-g_m \times \cancel{V'} \times R_L \times r_\pi}{\left(R_s + r_x + r_\pi + R_e(\beta+1)\right) \times \cancel{V'}}$$

$$A_{dc} = -\left(\frac{r_\pi}{R_s + r_x + r_\pi + R_e(\beta+1)}\right) \times g_m R_L \Rightarrow \underbrace{A_o \times \frac{R_T}{R_e}}$$

Sale de valor $A_v = A_o \times \left.\frac{S - S_e}{S - S_d}\right|_{S \to 0}$

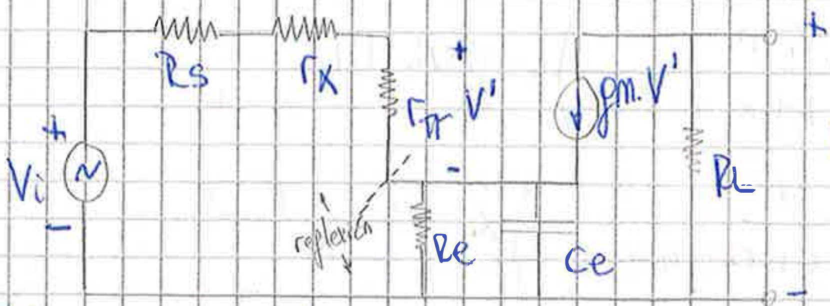
$$A_{dc} \Rightarrow -\left(\frac{400}{1k + 100 + 400 + 300(40+1)}\right) \times 0{,}1 \times 910$$

• $A_{dc} \Rightarrow -2{,}637$ ✓

↳ Aplicando $A_{dc} = A_o \times \frac{R_T}{R_e} \Rightarrow -24{,}26 \times \frac{32{,}6}{300} \Rightarrow -2{,}636$

$$\tau = \frac{1}{|S_d|} \Rightarrow R_T \times C_e \Rightarrow 32{,}6 \times 97{,}64\,\mu f$$

• $\tau = 3{,}18$ mSeg ✓

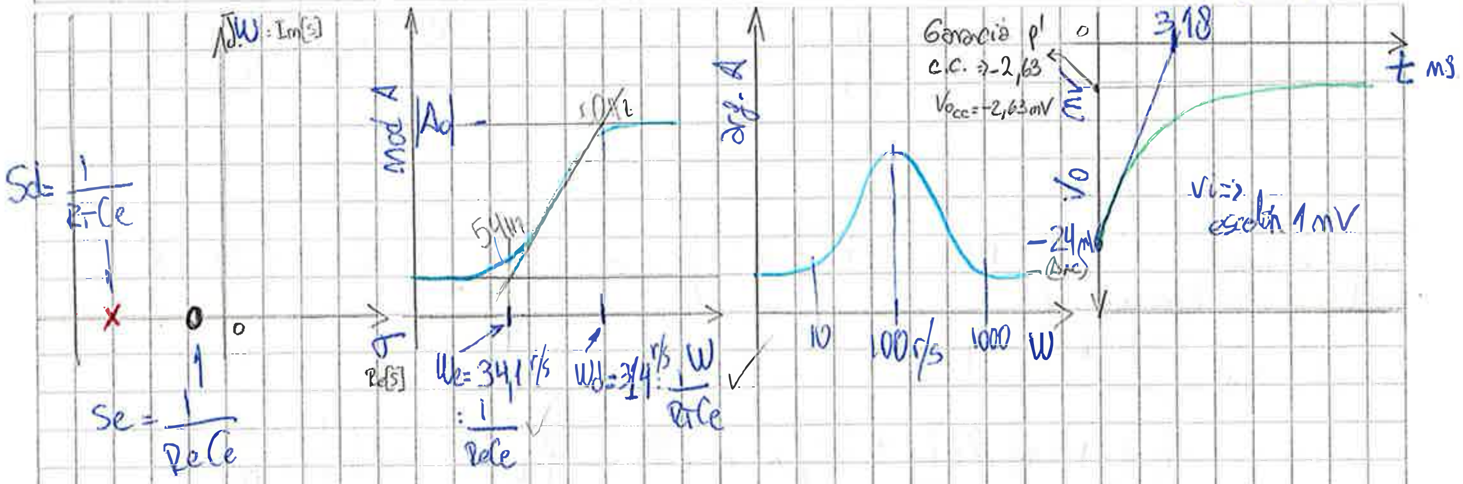


Modelo incremental del BJT (con polariz.) para baja frec.

NOTA

HOJA N° 17

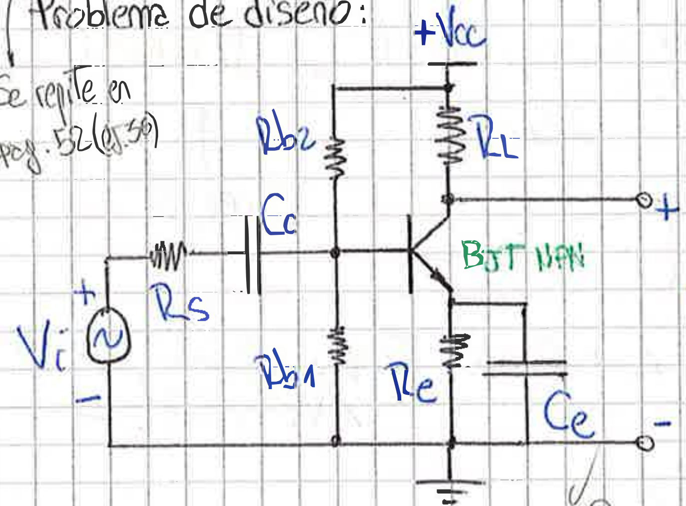
FECHA 05/01/2010



11) Del libro Gray - Searle; Resp. Frec.; (14.3.3; pág. 550)

(Problema de diseño:

Se repite en pág. 52 (ej. 36)



Diseñar para:

$V_o/V_i = A_o \times 0{,}707$ @ 50 Hz

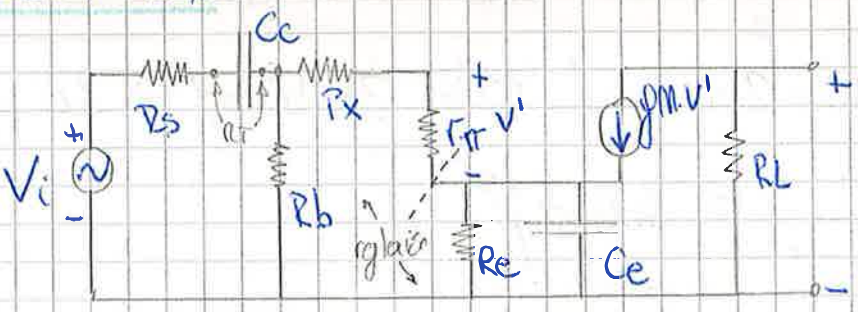
Datos:

- $R_s = 1K\Omega$
- $R_e = 0{,}3K\Omega$
- $R_b = 10K\Omega$
- Vcc para $I_C = 2{,}5mA$
  - $V_{CE} = 5V$
  - $\beta = 40$
  - $r_x = 100\ \Omega$

Calcular: Cc; Ce; Vcc; gm; r_π; Sc ; RL?

∧ Modelo Incremental

Desarrollo:



" Se diseña para que Ce sea 10 veces mayor que Cc "

↳ Así se simplifican los cálculos. → "Cc" polo dominante.

↳ Ce: cortoc.

→ C_c ; $S \times C_c + \frac{1}{R_T} = 0$

$S = S_c = -\frac{1}{R_T \times C_c}$ ∧ $R_T = [(R_x + r_\pi) // R_b] + R_s$

$S_c = -\frac{1}{\{[(r_x + r_\pi) // R_b] + R_s\} \times C_c}$ $R_T = 1{,}47 \; 6K$

Luego se Toma módulo a ambos Términos

∴ $C_c = \frac{1}{\{[(r_x + r_\pi) // R_b] + R_s\} \times 2 \times \pi \times f_1}$ $(f_1 = f_L)$

Solución: • $C_c = \frac{1}{\{[(100 + 400) // 10K] + 1K\} \times 2 \times \pi \times 50Hz} \Rightarrow 2{,}156 \, \mu f$

→ r_π (hie) $= \frac{V_T \times (\beta + 1)}{I_{cq}} \Rightarrow \frac{25{,}8 \, mV \times (40 + 1)}{2{,}5 \, mA} \Rightarrow 423{,}12 \, \Omega$

↑ mejor aprox.

Consideramos • $r_\pi \cong 400 \, \Omega$

→ También $r_\pi = \frac{\beta_o}{g_m}$ ∧ • $g_m = I_{cq} / V_T = \frac{2{,}5 mA}{25 mV} = 0{,}1 \, V$

$g_m = \frac{1}{r'_e}$

∴ $r_\pi = \frac{40}{0{,}1} = 400 \, \Omega$

→ C_e ; C_e suponiendo C_c muy grande $\Rightarrow 96 \, \mu f$ (ej. 10)

Así, se agranda 10 veces la C' más chica

• $C_c' = C_c \times 10 = 2{,}156 \, \mu f \times 10 = 21{,}56 \, \mu f \cong 22 \, \mu f$

• $C_e = 96 \, \mu f \cong 100 \, \mu f$

→ V_{cc} ; $V_{cc} = I_c \times R_L + V_{CE} + I_E \times R_E$

$V_{cc} = I_c \times R_L + V_{CE} + (I_c + I_B) \cdot R_E$

$V_{cc} = I_c \, R_L + V_{ce} + (I_C + I_C/\beta) \, R_E$

NOTA

HOJA Nº 18

FECHA 05/01/2010

Sup. $R_L = 910\,\Omega$

$$V_{CC} = I_{C_Q} \times \left\{ R_L + R_E \times \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right\} + V_{CE}$$

$$\bullet\; V_{CC} = 2{,}5\,mA \times \left\{ 910\,\Omega + 300\,\Omega \times \left(1 + \frac{1}{40}\right) \right\} + 5\,V \Rightarrow 8\,V$$

Fija el polo dominante de S_c

$$\rightarrow S_c = -\frac{1}{R_T \times C_c} = -\frac{1}{1476 \times 2{,}156\,\mu} \Rightarrow -314{,}24 \text{ rad/seg}$$

$$\hookrightarrow S_c = W_L = 2\pi f_L \quad \therefore \bullet\; f_c = \frac{W_L}{2\pi} = \frac{314{,}24}{2 \times \pi} = 50\,Hz$$

$\rightarrow$ S_c con nuevo C_c ; $\bullet\; S_c = -\frac{1}{1476 \times 22\,\mu} \Rightarrow -30{,}79$ r/s

$$\rightarrow S_e = \frac{1}{R_T \cdot C_e} \;\wedge\; R_T = R_e \,/\!/ \left[\left(r_x + r_\pi + (R_b /\!/ R_s) \right) / (\beta + 1) \right]$$

$$R_T = 300 \,/\!/ \left[\left(100 + 400 + (10K /\!/ 1K) \right) / (40 + 1) \right]$$

$$\bullet\; R_T = 30{,}83$$

$$S_e = \frac{1}{30{,}83 \times 96\,\mu} = 337{,}81 \text{ r/s}$$

$$|S_e| = W_L = 2\pi f_L = 337{,}81$$

$$\therefore f_L = \frac{337{,}81}{2 \times \pi} \Rightarrow 53{,}7\,Hz \;\cong 50\,Hz$$

---

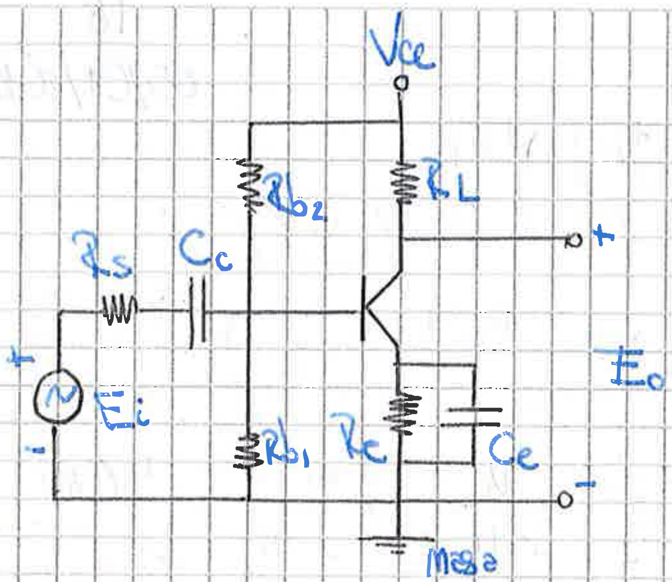
12) Del libro grey-searle; Resp. Frec.; (14.5.3 ; pag. 560)

Respuesta en alta frecuencia de un amplif. con BJT en conf. de emisor común con desacoplo de Re:

Problema de análisis. (El mismo problema se dio en diseño p/ para B.F. $R_L = 100$ y $200\,\Omega$)

NOTA

08/01/2010



Datos:

V_{cc} : +15 V

R_L : 100 Ω

R_e : 200 Ω

R_{b2} : 7,5K

R_{b1} : 2,7K

R_S : 500 Ω

$V_D = 0,6V$

C_c : } No relevantes en AF.
C_e :

$V_{CE} = 10V$; $I_C = 15mA$

$C_\mu = 2,5\ pF$

$\beta_o = 80$ } P' se. del Zona Ideal

$f_T = 750\ MHz$

$r_x = 30\ \Omega$

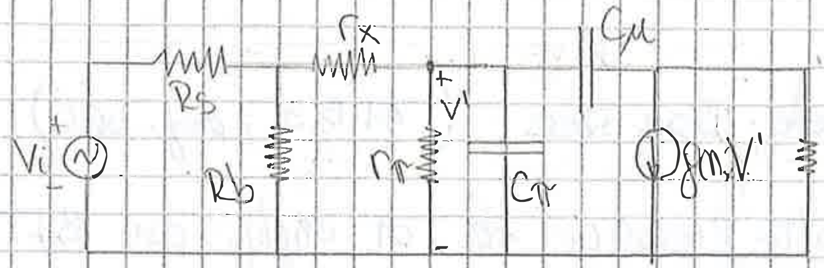
Encontrar:

1✓. Modelo incremental en AF
2✓. Cic. equivalente con un polo. (demostrac.)
3✓. Corroborar I_C y V_{CE}. (E_{th}; R_b)
4✓. g_m ; g_π ; r_π
5✓. C_π
6✓. C_t
7✓. E_o/E_i | Frec. centrales
8✓. S_1 (circ. con 1 polo) ; W_h ; f_h
9✓. S_{cero} ; S_1 y S_2
10✓. Diagrama de Bode.

{ Ce y Cc ⇒ Cortocir. p' AF. }

Desarrollo:

1)



✓ Modelo incremental p' AF.

2)

✓ Modelo incremen. con un polo.

NOTA

HOJA Nº 19
FECHA 10/01/2010

Como $R_b = R_{b1} \parallel R_{b2} \gg (r_x + (r_\pi \parallel X_c)) = r'$

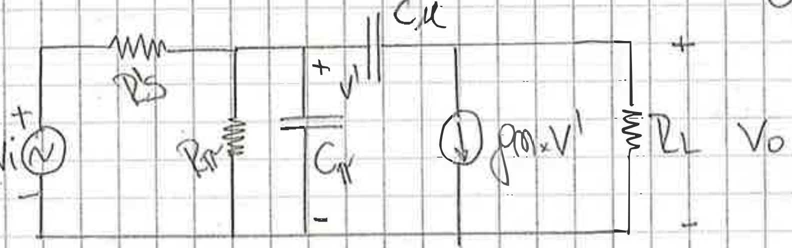
Se desprecia R_b; ya que $R_b \parallel r' \cong r'$,

$\wedge$

$C_t = \left[C_\pi + C_\mu \left(g_m + G'_s \right) \times R_L \right]$

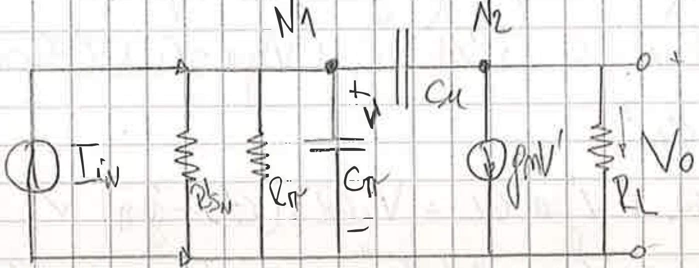
Demostración:

* en primera instancia se desprecia R_b y se agrupa $R_s + r_x = R'_s$; así: $\wedge$ $R'_s = \frac{1}{G'_s}$



* llevando el circ al eq de Northon:

$I_{i_N} = \frac{V_i}{R'_s}$ $\wedge$ $R'_{s_N} = R'_s$



P' nodo 1:

$V' \times (G'_s + g_\pi + sC_\pi) + (V' - V_o) \times sC_\mu = I_i$

$V' \times (G'_s + g_\pi + sC_\pi) + V' . s . C_\mu - V_o . s . C_\mu = I_i$

$[I_1 \times Y_{11} - I_2 \times Y_{12} = I_1]$

$V' \times (G'_s + g_\pi + s(C_\pi + C_\mu)) - V_o . sC_\mu = I_i$

P' nodo 2:

$V_o \times G_L + g_m . V' + (V_o - V') . sC_\mu = 0$

$V_o \times G_L + g_m . V' + V_o . sC_\mu - V' . sC_\mu = 0$

NOTA

$$V_o \times (G_L + s.C_u) + V'_x (g_m - sC_u) = 0$$

$\frac{E_o}{E_i} \Rightarrow$ de N2; $V_o = -\frac{V'_x (g_m - sC_u)}{(G_L + s\,C_u)}$

reempl. V_o en N1;

$$I_i = \frac{V_i}{R'_S} = V'_x\left(G'_S + g_\pi + s\left(C_\pi + C_u\right)\right) + \frac{V'_x (g_m - sC_u)}{(G_L + sC_u)} \times sC_u$$

$\therefore$

$$V_i = \left[\frac{V'_x (G'_S + g_\pi + s(C_\pi + C_u)) * \cancel{(G_L + sC_u)} + V'(g_m - sC_u) \times sC_u}{\cancel{(G_L + sC_u)}}\right] \times R'_S$$

$\wedge$

$$V_o = -\left[\frac{V'(g_m - sC_u)}{\cancel{(G_L + sC_u)}}\right]$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{V'_x (g_m - sC_u)}{\left[V'(G'_S + g_\pi + s(C_\pi + C_u))(G_L + sC_u) + V'(g_m - sC_u) \times sC_u\right] \times R'_S}$$

$\downarrow$

$= \frac{1}{G'_S}$

Pasa al numer!

* llevando el denominador de V_o/V_i a $\left[a \times s^2 + b.s + c\right]$

$\boxed{den}$: $(V'.G'_S + V'.g_\pi + V'.s.(C_\pi + C_u)) \times (G_L + s\,C_u) + (V'.g_m - V'.s.C_u).s\,C_u$

$: \underline{V'.G'_S.G_L} + \underline{V'.g_\pi.G_L} + \underline{V'.s(C_\pi + C_u)\,G_L} + V'.G'_S.s.C_u + V'.g_\pi.s\,C_u + V'.s^2(C_\pi + C_u)C_u$

$+ V'.g_m.s.C_u - V'.s^2.C_u^2$

Término en $s^0 \Rightarrow V'.G'_S.G_L + V'.g_\pi.G_L = V'_x G_L \times (G'_S + g_\pi)$ ✓

Término en $s^1 \Rightarrow V'.s.(C_\pi + C_u)G_L + V'.G'_S.s.C_u + V'.g_\pi.s\,C_u + V'.g_m.s.C_u$

$\Rightarrow s_x(V'_x(C_\pi + C_u).G_L + V'.G'_S.C_u + V'.g_\pi.C_u + V'.g_m.C_u)$

$\Rightarrow s_x\left[V'\{C_\pi.G_L + C_u.G_L + G'_S C_u + g_\pi C_u + g_m.C_u\}\right]$

$\Rightarrow s\{V'[C_\pi(G_L) + C_u(G_L + G'_S + g_\pi + g_m)]\}$

$\Rightarrow s\{V'[C_\pi.G_L + C_u.G_L + C_u(G'_S + g_\pi + g_m)]\}$ ✓

Término en $s^2 \Rightarrow V'.s^2(C_\pi + C_u).C_u - V'.s^2.C_u^2$

$\Rightarrow s^2_x\{V'_x[C_u(C_\pi + \cancel{C_u} - \cancel{C_u})]\} \Rightarrow s^2_* V'_x C_u \times C_\pi$ ✓

NOTA

$$\frac{R_L}{R_L}\frac{V_o}{V_i} = -\frac{\cancel{V'} \times (g_m - sC_\mu) \times G'_s}{\cancel{V'} \times \{G_L \times (G'_s + g_\pi) + S \times [C_\pi \cdot G_L + C_\mu \cdot G_L + C_\mu(G'_s + g_\pi + g_m)] + S^2 \times C_\mu C_\pi\}}$$

*multiplicando y div. por R_L;

$$\boxed{\frac{V_o}{V_i} = -\frac{G'_s(g_m - sC_\mu) \cdot R_L}{(G'_s + g_\pi) + S \times [C_\pi + C_\mu + C_\mu(G'_s + g_\pi + g_m) \cdot R_L] + S^2 \times [C_\mu C_\pi R_L]}}$$

→ Presenta un cero en el semiplano de la derecha en $S = g_m / C_\mu$!
 ↳ Toda la corriente $g_m \times V'$ circula por C_μ!

→ Tiene dos polos! → en el semiplano i.z.q. ya que todos los coeficientes del den $[V_o/V_i]$ son de igual signo!

El modelo híbrido es válido para $w \ll \frac{2D_b}{W^2} = \frac{g_m}{C_\pi}$
y comparando con $w_T \Rightarrow \frac{g_m}{C_\mu + C_\pi}$,
entonces el modelo vale para $w \ll w_T$

$$|S \cdot C_\pi| \ll g_m \quad \wedge \quad |S\, C_\mu| \ll g_m \rightarrow |S^2 C_\mu C_\pi R_L| \ll |S C_\mu g_m R_L|$$

Para despreciar el término en $S \cdot sC_\mu$

Bajo estas condiciones se puede despreciar el término en S^2

$$\boxed{\frac{V_o}{V_i} = \frac{-G'_s \times g_m \times R_L}{(G'_s + g_\pi) + S\,[\underbrace{C_\pi + C_\mu(1 + (G'_s + g_\pi + g_m) R_L)}_{C_t}]}}$$

así: $C_t = C_\pi + C_\mu(1 + (G'_s + g_\pi + g_m) \times R_L)$

NOTA

3) $E_B = I_B \times Rb + V_D + Re \times I_E$

- $Rb_{th} = Rb_1 // Rb_2 \Rightarrow 2{,}7^k // 7{,}5^k = 1{,}985\ k\Omega$

- $E_B = \frac{V_{CC}}{Rb_1 + Rb_2} \times Rb_1 = \frac{15v}{2{,}7^k + 7{,}5^k} \times 2{,}7k \Rightarrow 3{,}97 \checkmark$

$\hookrightarrow E_B = I_B \cdot Rb + V_D + \underbrace{(\beta+1) \cdot I_B}_{I_C} \cdot Re$

$I_B = \frac{E_B - V_D}{Rb + (\beta+1)Re} \Rightarrow \frac{3{,}97v - 0{,}6v}{1{,}985 + (80+1) \times 200\Omega}$

- $I_B = 185{,}34\ \mu A$

- $I_{CQ} = \beta \times I_B = 80 \times 185{,}34\ \mu A \Rightarrow 14{,}827\ mA$ ✓

$R_C = R_L$

$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_E \cdot Re$

$V_{CC} = \beta I_B \cdot R_C + V_{CE} + (\beta+1) I_B Re$

$V_{CE} = V_{CC} - I_B(\beta R_C + (\beta+1)Re)$

$V_{CE} = 15V - 185{,}34\ \mu A (80 \cdot 100\Omega + (81) \cdot 200)$

- $V_{CE} = 10{,}51\ V$ ✓

$\rightarrow$ Queda corroborado el func. en zona activa lineal!

4) $g_m = \frac{|I_{CQ}|}{(K \cdot T/q)}$ ✓

$g_\pi = \frac{g_m}{\beta_o}$ ✓ $\rightarrow r_\pi \Rightarrow \frac{1}{g_\pi} \Rightarrow \beta_o \cdot \frac{V_T}{|I_{CQ}|} = \beta_o \cdot r'e = hie$

$C_\pi = \frac{g_m}{\omega_T} - C_\mu$ ✓ $\rightarrow C_\pi + C_\mu = \frac{g_m}{\omega_T} \rightarrow \omega_T = \frac{g_m}{(C_\pi + C_\mu)}$

NOTA

HOJA N° 21

FECHA 10/01/2010

- $gm = \frac{I_{CQ}}{V_T|_{27°C}} = \frac{14,827\ mA}{25,8\ mV} = \boxed{0,574\ [\mho]}$ ✓

- $g\pi = \frac{gm}{\beta} = \frac{0,574}{80} = \boxed{7,183\ [m\mho]}$ ✓

- $r\pi = \frac{1}{g\pi} = \frac{1}{7,18\ m\mho} = \boxed{139,2\ [\Omega]}$ ✓

5) $C\pi = \frac{gm}{\omega_T} - C\mu$ $\qquad \omega_T = 2\pi . f_T = 2 \times 3,14 \times 750\ MHz$

$\omega_T = 4,712 \times 10^9\ [rad/seg]$

$C\pi = \frac{0,574}{4,712 \times 10^9} - 2,5\ pf$

- $C\pi = \boxed{119,3\ [pf]}$ ✓

6) $C_t = C\pi + C\mu\ (1 + (G's + g\pi + gm) \times R_L)$

$C_t = 119,3\ pf + 2,5\ pf\ (1 + (1,88\ m\mho + 7,183\ m\mho + 0,574) \times 100)$

- $G's = \frac{1}{R_s + r_x} = \frac{1}{500 + 30} = \boxed{1,88\ [m\mho]}$

- $C_t = \boxed{267,57\ [pf]}$ ✓

7) Del modelo de 1 polo a frec. centrales:

$\frac{V_o}{V_i} \Rightarrow \begin{cases} V_o = -gm \times V' \times R_L \\ V_i \Rightarrow \quad V' = \frac{V_i}{R's + r\pi} \times r\pi \quad \therefore \quad V_i = \frac{V'}{r\pi} \times (R's + r\pi) \end{cases}$

$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{gm\ \cancel{V'}\ R_L}{\cancel{V'}\ (R's + r\pi)} \times r\pi = \frac{-gm\ R_L\ r\pi}{(R's + r\pi)}$

NOTA

$\left.\frac{V_o}{V_o}\right|_{FTC\,Cct} = \frac{139{,}2}{500+20+139{,}2} \times \left(-0{,}574 \times 100\right)$

- $\left.\frac{V_o}{V_i}\right|_{FC} \Rightarrow -11{,}93 \cong -12$

8) En el polo de la $F.T = \frac{V_o}{V_i}$, para el circ. equivalente con un polo, la $F.T. = A_o \times 0{,}707$. Demostr. en pag. 14'

$S_1 = -\frac{(g_\pi + G'_S)}{C_t} = -\frac{(7{,}183\,\mu\mho + 1/530)}{267{,}57\,pF}$

$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-G'_S R_L (g_m - sC_\mu)/C_t}{\frac{(g_\pi+G'_S)}{C_t} + s}$

- $S_1 = -33{,}896 \times 10^6$ rad/seg $\Rightarrow W_h = |S_1| = 33{,}896$ Mrad/seg

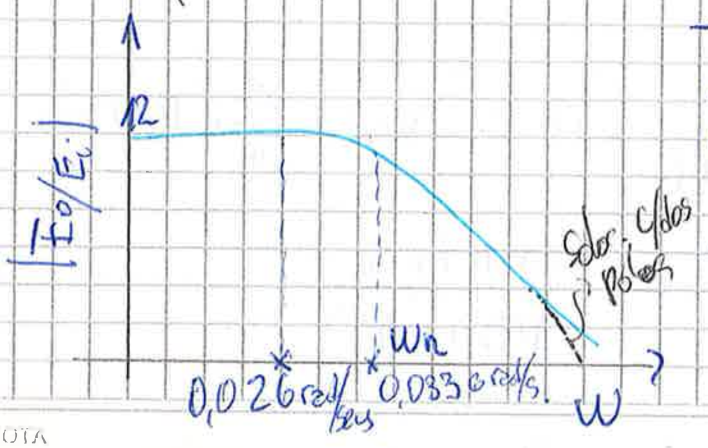
- $f_h = \frac{W_h}{2\pi} = 5{,}394$ MHz

9) Polos y ceros ; FT completa.

Cero $S_C = g_m/C_\mu = 0{,}574/2{,}5\,pF \cong 240\,ns^{-1}$

$$\begin{cases} S_1 = -0{,}0335\,ns^{-1} \\ S_2 = -8{,}95\,ns^{-1} \end{cases}$$

$|S_2| \gg W_T$; Justifica el c. eq. con un polo.



NOTA

HOJA Nº 22

FECHA 11/01/2010

13) Del libro Gray-Searle; Resp. Frec.; (14.54; pag. 563)

Problema de diseño.

Amp. en emisor común: (del problema anterior)

- ΔB: 10 MHz
- P. Trabaje en CC igual q' en (12)
- R_S mín = 50 Ω

Encontrar: 1. W_h
2. C_t
3. R_L

Desarrollo:

1) (A) Limite de ancho de banda: $\left\{ \text{cuando } R_L \to 0;\ A_o \to 0,\ \Delta B \to \frac{G'_s + g_\pi}{C_\pi + C_\mu} \right\}$

$$|S_p|_{R_L \to \phi} = W_h = \lim_{R_L \to 0} \frac{G'_s + g_\pi}{C_\pi + C_\mu(1 + (G'_s + g_\pi + g_m) \cdot R_L)}$$

$$\therefore W_h = \frac{G'_s + g_\pi}{C_\pi + C_\mu}$$

- $W_h = \dfrac{1{,}88\ m\mho + 7{,}183\ m\mho}{119{,}3\,pf + 2{,}5\,pf} \Rightarrow 74{,}4 \times 10^6\ [rad/seg]$

- $f_h = \dfrac{W_h}{2\pi} = 11{,}84\ MHz$

(B) Haciendo $R_S \to 0$; se encuentra la máx frec. del transistor: Pulsación de corte transversal de base.

$$|S_p|_{R_L \to 0;\, R_S \to 0} = W_b = \lim_{R_L \to 0\ y\ R_S \to 0} \frac{G'_s + g_\pi}{C_\pi + C_\mu(1 + (G'_s + g_\pi + g_m) R_L)} \quad \wedge\ G'_s = R_S + r_x$$

$$\therefore W_b = \frac{g_x + g_\pi}{C_\pi + C_\mu}$$

- $W_b = \dfrac{1/30 + 7{,}183\ m\mho}{119{,}3\,pf + 2{,}5\,pf} \Rightarrow 332{,}6 \times 10^6\ [rad/seg]$

- $f_b = W_b / 2\pi \Rightarrow 52{,}9\ MHz$

NOTA

La demostración para encontrar $W_{h;b}$ surge de buscar S_p por teoría de circuitos o aplicando "Pulsación propia"

2) $W_h = \dfrac{G's + g\pi}{C_t}$; $G's_{nuevo} = \dfrac{1}{Rs_n + r_x}$

$\therefore C_t = \dfrac{G's + g\pi}{W_h} \Rightarrow \dfrac{\left(1/(50\Omega+30\Omega)\right) + 7{,}183\ m\mho}{2\pi \times 10\times10^{6}\ Hz}$

• $C_t = 313{,}26\ [pf]$

3) $C_t = C_\pi + C_\mu\left(1 + (G's + g\pi + g_m)R_L\right)$

$\therefore \left(\dfrac{C_t - C_\pi}{C_\mu} - 1\right) \times \dfrac{1}{G's + g\pi + g_m} \Rightarrow R_L$

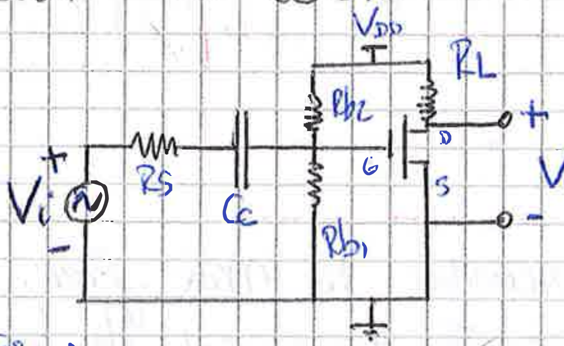
$R_L = (1{,}88\ m\mho + 7{,}183\ m\mho + 0{,}574\ \mho)^{-1} \times \left(\dfrac{313{,}26pf - 119{,}3pf}{4{,}5pf} - 1\right)$

• $R_L = 131{,}3\ \Omega$

o

14) Del libro Gray-Searle; Resp. Frec.; (14.6.2, pag. 567)

Problema de diseño:



Diseñar para:

• $\Delta B = 5{,}4\ MHz$.

Datos:

$R_S = 500\ \Omega$ | $Y_{fs} = 5\ [m\mho]$
$V_{DS} = 15\ v$ | $C_{iss} = 11\ pf$
$V_{GS} = 14\ v$ | $C_{rss} = 2\ pf$

Parámetros para señal débil

Encontrar:

1. g_m; C_{gs}; C_{gd}
2. R_L
3. Gan. frec. centr.
4. Circ. eq. 2 y 1 polo.

NOTA

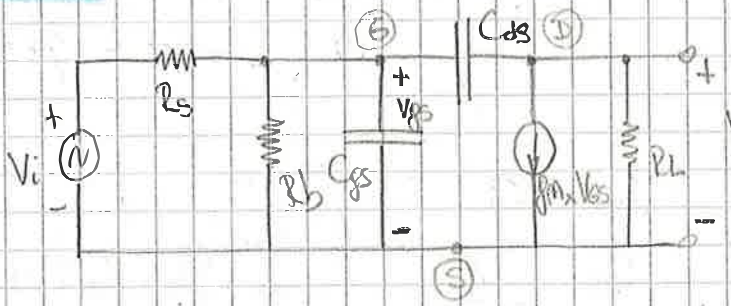
HOJA N° 23

FECHA 11/01/2010

Desarrollo :

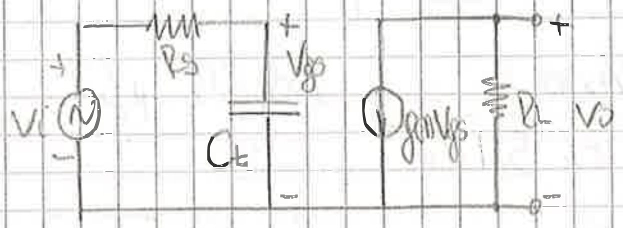
4)

Ⓘ



Circ. eq. c/ dos polos y un cero.

Ⓘ



Circ. eq. c/1 polo.

Aplicando LKI a Ⓘ se llega a la fun. transf. V_o/V_i con dos polos y un cero ; luego despreciando términos pequeños se obtiene Ⓘ.

Ⓘ $$\boxed{\frac{V_o}{V_i} = -\frac{G_s \cdot R_L \cdot (g_m - sC_{gd})}{G_s + s\left[C_{gs} + C_{gd} + C_{gd} \cdot R_L(g_m + G_s)\right] + s^2 \cdot C_{gs} \cdot C_{gd} \cdot R_L}}$$

como $|s.C_{gs}| \ll g_m$ y $|s.C_{gd}| \ll g_m$ y $|s^2 C_{gs} . C_{gd} R_L| \ll |s C_{gd}(g_m + G_s) R_L|$

Ⓘ $$\boxed{\frac{V_o}{V_i} = -\frac{G_s . g_m . R_L}{G_s + s.\left[C_{gs} + C_{gd} + C_{gd} \cdot R_L(g_m + G_s)\right]}}$$

Válida para $s < \frac{g_m}{C_{gs}}$

1) $g_m = Y_{fs}$

$C_{gs} = C_{iss} - C_{rss}$

$C_{gd} = C_{rss}$

- $g_m = 5\,[m\mho]$
- $C_{gs} = 11pf - 2pf = 9[pf]$
- $C_{gd} = 2[pf]$

2) $C_t = C_{gs} + C_{gd} + C_{gd}(g_m + G_s) \times R_L$

$\therefore R_L = \dfrac{C_t - C_{gs} - C_{gd}}{C_{gd}(g_m + G_s)} \Rightarrow \dfrac{58{,}94\,pf - 2pf - 9\,pf}{2pf\,(5\,m\mho + 1/300)}$

$C_t \rightarrow S_p \rightarrow S.C_t + G_S = 0$

$S_p = -\dfrac{G_S}{C_t}$ $\wedge$ $f_h = 5{,}4\,MHz$

$\therefore C_t = \dfrac{G_S}{2\pi \times f_h} = \dfrac{(1/500)}{2 \times \pi \times 5{,}4\,MHz} \Rightarrow 58{,}94\,pf$

$\bullet R_L \Rightarrow 3{,}42\,K\Omega$ ✓

3) $\bullet \left.\dfrac{V_o}{V_i}\right|_{f.cent} \Rightarrow -\dfrac{g_m . \cancel{V_{gs}} \times R_L}{\cancel{V_{gs}}} \Rightarrow -g_m . R_L$

Numéricamente: $\bullet \dfrac{V_o}{V_i} = -5\,m\mho \times 3{,}42\,K\Omega = -17{,}12$

Ej. Nº 15: Del libro Gray-Searle; Resp. Free; (14.7.2, pag. 568)

Problema de diseño: Completar el diseño del ampl. del ej. 11 (14.3.3) calculando R_L máx tal que V_o/V_i @ 0,707 sea válida entre $f_L = 50\,Hz$ y $f_h = 1\,MHz$.

Datos:

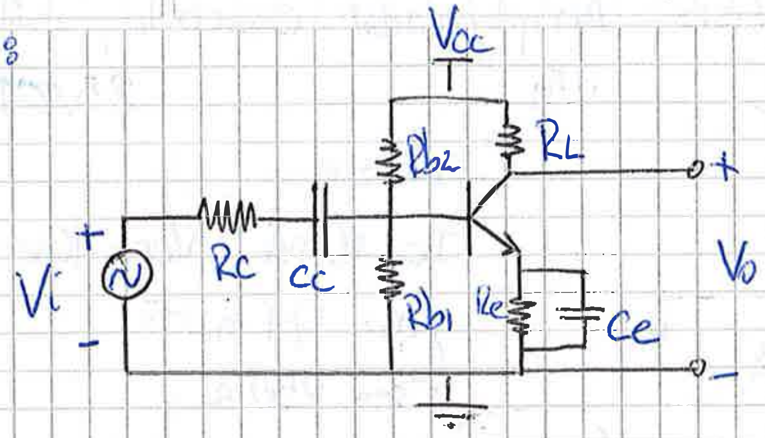
$I_C \Rightarrow 2{,}5\,mA$ $\quad f_T = 200\,MHz$.

$V_{CE} = 5v$ $\quad r_x = 0{,}1\,K\Omega$

"incluir R_b" $\quad C_{ob} = 5pf$

NOTA

Circuito:



$R_b = 10K\Omega$

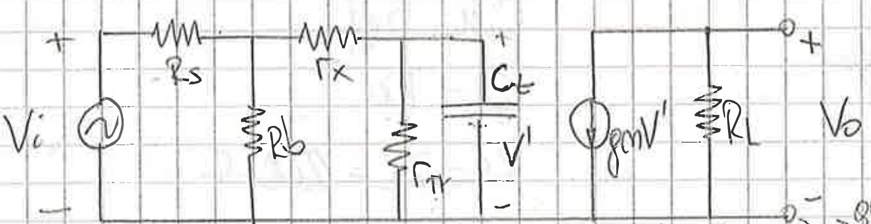
$R_s = 1K\Omega$

$R_e = 300\Omega$

$\beta_o = 40$

Circ. eq. c/un polo: C_c y C_e son cortocircuitos, aparecen C_μ y C_π

$6's$ y g_π son muy chicos



$$C_t = C_\pi + C_\mu\left(1 + \left(6's + g_\pi + g_m\right)R_L\right)$$

$6's \to 1/r_x + (R_s // R_b) \Rightarrow 990 \times 10^{-6}\mho$

$$R_L = \frac{C_t - C_\pi - C_\mu}{C_\mu\left(6's + g_\pi + g_m\right)} = \frac{543{,}27pf - 72{,}1pf - 5pf}{5pf\left(990\mu\mho + 2{,}42m\mho + 96{,}9m\mho\right)}$$

$\cong 100m\mho$

- $R_L \Rightarrow 930\Omega$

- $C_\mu = C_{ob} = 5pf$

$C_\pi = \frac{g_m}{\omega_T} - C_\mu$

$C_\pi = \frac{96{,}9m\mho}{2\pi \cdot 200MHz} - 5pf$

- $C_\pi = 72{,}1\,[pf]$

$$Y = S \cdot C_t + g_\pi + \frac{1}{r_x + (R_s // R_b)} = \emptyset$$

Cálculo de ω_h por la pulsación propia:

$$S_p = -\left[g_\pi + \frac{1}{r_x + (R_s // R_b)}\right] \Big/ C_t$$

$$\omega_h = |S_p| = 2 \times \pi \times 1MHz = \frac{g_\pi + \frac{1}{r_x + (R_s // R_b)}}{C_t}$$

$$C_t = \frac{g_\pi + \frac{1}{r_x + (R_s // R_b)}}{2 \times \pi \times 1MHz} \Rightarrow \frac{2{,}42m\mho + 1/(0{,}1K\Omega + (1K // 10K))}{2\pi \times 1MHz}$$

$h_{ie} = r_\pi = \frac{V_T}{I_{CQ}} \times \beta \Rightarrow \frac{25{,}8mV}{2{,}5mA} \times 40 \Rightarrow 412\,\Omega$; $\bullet\ g_\pi = \frac{1}{r_\pi} = 2{,}42\,[m\mho]$

(r_e over $\frac{V_T}{I_{CQ}}$)

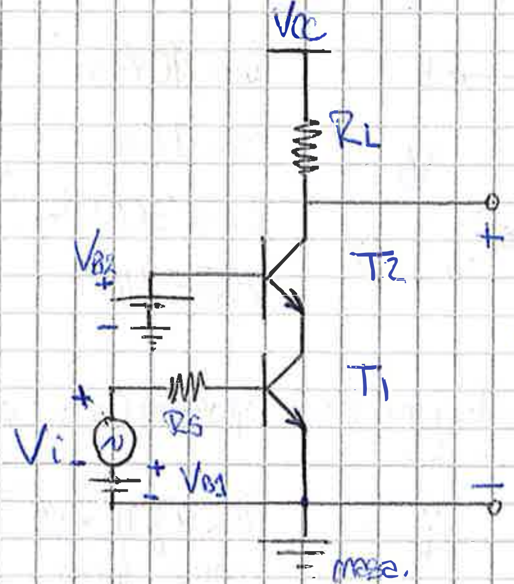
NOTA $\bullet\ C_t = 543{,}27\,[pf]$

$\bullet\ g_m = \frac{1}{r'e} = \frac{I_{CQ}}{V_T} = 96{,}9\,m\mho$

Ej. Nº 16: Del libro Gray-Searle; Resp. Frec; (15.2.4; pag. 599)

Problema de análisis: Amplificador Cascode; cálculo de w_h.

25/01/2010



Datos:

$I_C = 10mA$; $V_{CE} = 10v$

$g_m = 94\ m\mho$

$r_\pi = 250\Omega$

$r_x = 20\Omega$

$C_\pi = 100pf$

$C_\mu = 5pf$

$\beta_0 = 100$

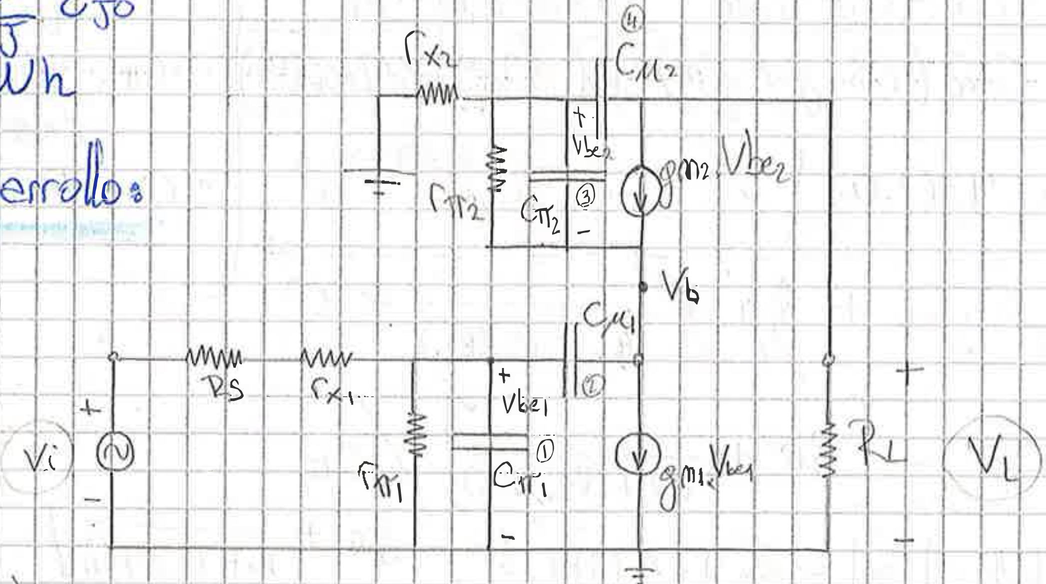
$R_S = R_L = 200\Omega$

Encontrar:

- Modelo incremental
- R_{10}; τ_{10}; R_{20}; τ_{20}; R_{30}; τ_{30}; R_{40}; τ_{40}
- $\sum_J \tau_{JO}$
- W_h

Desarrollo:

M.Inc)



→ R_{10}; τ_{10})

- $R_{10} = r_{\pi 1} // (R_S + r_{x1}) \Rightarrow 250\Omega // (200\Omega + 20) \Rightarrow 117\ \Omega$
- $\tau_{10} = C_{\pi 1} \times R_{10} = 100pf \times 117\ \Omega = 11{,}7\ nSeg$

→ R_{20}; τ_{20})

Como no se puede determinar por simple inspección; ya que se encuentra una fuente de corriente en

NOTA

paralelo con "R_{L1}", se reemplaza "$C_{\mu 1}$" por una fuente de corr. cte. "I_t" y luego se calcula $R_{20} \Rightarrow \frac{V_t}{I_t}$

- $R_{10} = 117\,\Omega$

- $R_{L1} = (r_{x2} + r_{\pi 2}) / _{\beta_{02}+1} = (20\,\Omega + 250\,\Omega) / _{100+1} = \underline{2,67\,\Omega}$

como I (en R_{L1}) $\Rightarrow g_m \times V' + I_t$

$V_t = I_t \times R_{10} + (g_m \times V' + I_T) \times R_{L1}$

$V_t = I_t \cdot R_{10} + g_m \cdot V' \cdot R_{L1} + I_t \cdot R_{L1} \quad \wedge \quad V' = R_{10} \times I_t$

$V_t = I_t \cdot R_{10} + g_m \cdot I_t \cdot R_{10} \cdot R_{L1} + I_t \cdot R_{L1}$

$\frac{V_t}{I_t} \Rightarrow R_{20} \Rightarrow R_{10} + g_m \cdot R_{10} \cdot R_{L1} + R_{L1}$

$R_{20} = 117\,\Omega + 0{,}4\,\cancel{\mho} \times 2{,}67\,\cancel{\Omega} \times 117\,\Omega + 2{,}67\,\Omega$

- $\underline{R_{20} = 245\,\Omega}$

- $\tau_{20} = R_{20} \times C_{\mu 1} = 245\,\Omega \times 5\,pf \Rightarrow \underline{1{,}224\ [nSeg]}$ ✓

$R_{30}; \tau_{30}$) Se opera de forma similar a R_{20}, se reemplaza $C_{\pi 2}$ por un gen. de tension de V_t y se calcula la corriente por el, luego $R_{30} = \frac{V_t}{I_t}$

$I_{t\,(fuente)} = \frac{V_t}{r_{\pi 2}} + g_{m2} \times V_t \quad , \Rightarrow V_t \left(\frac{1}{r_{\pi 2}} + g_{m2} \right)$

- $\frac{V_t}{I_t} = \frac{1}{\frac{1}{r_{\pi 2}} + g_m} = R_{30} \Rightarrow \underline{2{,}47\,\Omega}$

- $\tau_{30} = R_{30} \times C_{\pi 2} = 2{,}47\,\Omega \times 100\,pf \Rightarrow \underline{247{,}5\ [pSeg]}$ ✓

$R_{40}; \tau_{40}$) Como $V_{r\pi 2} = -g_m \cdot V_{r\pi 2} \times r_{\pi 2}$ tiene como

NOTA

Única solución $V_{TT2} = \phi$; se ve que $R_{40} = r_{x2} + R_L$

- $R_{40} = 20\,\Omega + 200\,\Omega = 220\,\Omega$
- $\tau_{40} = R_{40} \times C_{\mu 2} = 220\,\Omega \times 5\,pf = 1{,}1\,[n\,seg]$

τ) $\tau = \sum_j \tau_{jd} = \tau_{10} + \tau_{20} + \tau_{30} + \tau_{40}$

$\Rightarrow 11{,}7\,nseg + 1{,}224\,nSeg + 247{,}5\,pSeg + 1{,}1\,nSeg$

$\hookrightarrow \tau \Rightarrow C_{\pi 1}$: más importante

- $\tau = 14{,}27\,nSeg$

ω_h) • $\omega_h = \dfrac{1}{\tau} = \dfrac{1}{14{,}27\,nSeg} = 70{,}07 \times 10^6\,[rad/Seg]$

- $f_h = \dfrac{\omega_h}{2\pi} = 11{,}15\,[MHz]$

Un cálculo mas exacto de f_h da 12,9 MHz.

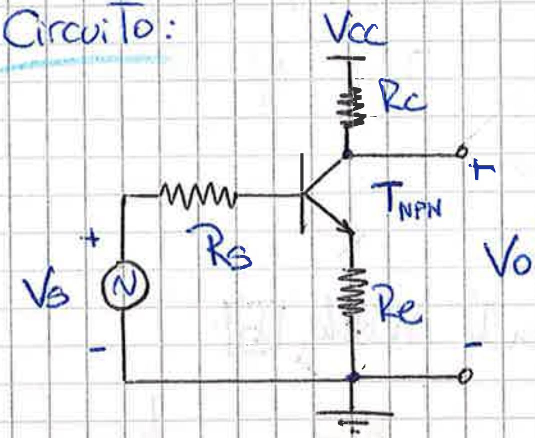
NOTA

HOJA Nº 26
FECHA 26/01/2010

EJ. Nº 17 : Realimentación. De la carpeta de T.P. de EA2. Problema de análisis.

└ Similar en pág. 5

Circuito:



Datos:

- $h_{ie} = 1K\Omega$
- $R_c = 4K\Omega$
- $R_e = 380\Omega$
- $R_s = 1K\Omega$
- $h_{fe} = 150$
- $D = 50$
- $G_{mf} = 1\ mA/V$

Determinar:

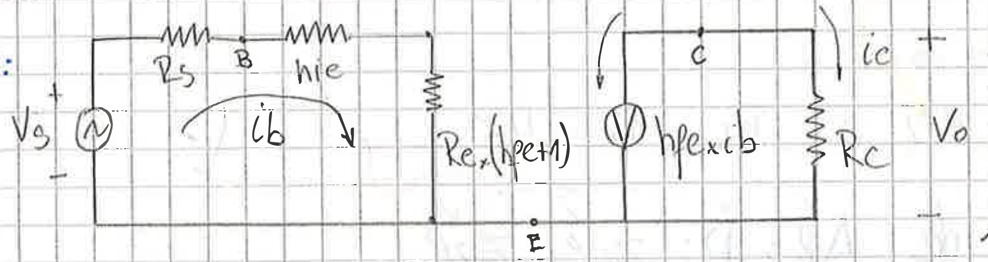
Modelo híbrido; A_f; Z_{if}; Z_{of}; $(A_{if})(A_{vf})$

(usando el modelo (a) los cálculos de Av; Z tienen realim.)

Desarrollo:

a Modelo híbrido π : clásico

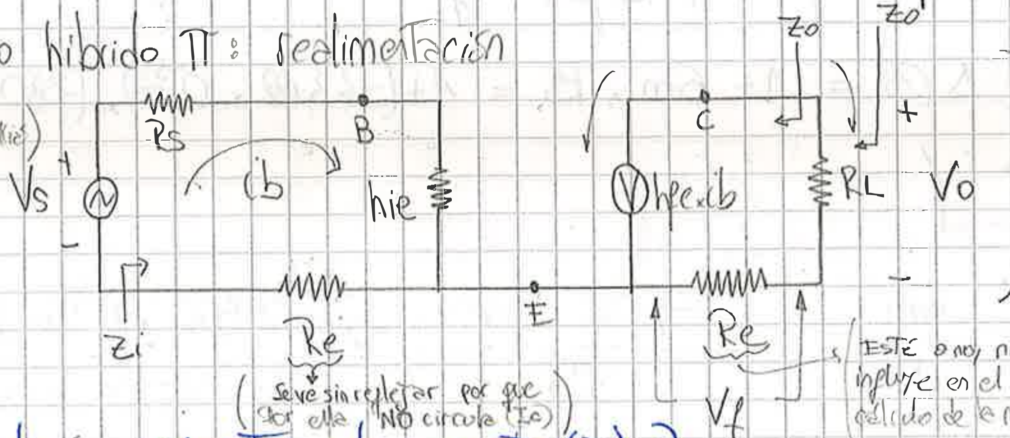
II) Modelos:



Si introduce realimentación

b Modelo híbrido π : realimentación

(Millman-Halkias)



(Se ve sin reflejar porque por ella NO circula (Io))

(ESTE o no, no influye en el cálculo de la malla)

No introduce realimentación al no indicar toma de tierra.

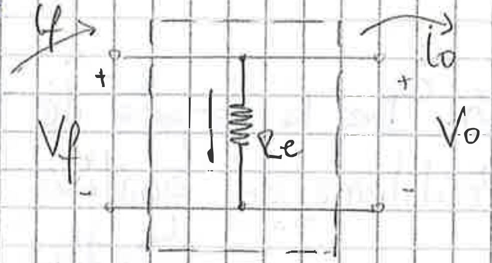
I) Topología : Muestreo de corriente (Io)
Mezcla de Tensión, en serie

$\frac{I_o}{V_i} = G_m$ [Transconductancia]

Zi ↑ Zo ↑

NOTA

III) Red β' :



eliminando la realim.; como es mezcla de tensión en serie; se hace $i_f = \emptyset$

Con $i_f = 0$;

$$V_f = -I_o \cdot R_e$$

$$\Rightarrow \frac{V_f}{I_o} = -R_e = \beta \Rightarrow -380\,\Omega$$

IV) Cálculo de A; Zi; Zo. Utilizando modelo $\boxed{b}$

$$A = G_m = \left.\frac{I_o}{V_i}\right|_{V_i = V_s} = \frac{-h_{fe} \times i_b}{V_s} \Rightarrow -\frac{h_{fe}}{V_s/i_b} = -\frac{h_{fe}}{Z_i}$$

$\wedge$ • $Z_i = R_s + h_{ie} + R_e \Rightarrow 2380\,\Omega$

• $$G_m = -\frac{h_{fe}}{R_s + h_{ie} + R_e} \Rightarrow \frac{-150}{1K + 1K + 380} \Rightarrow -63{,}02\ [m\mho]$$

$Z_o = h_{oe} \to \infty$

• $Z_o' = Z_o \,//\, R_L \cong R_L = R_c = 4K\Omega$

V) Cálculo de Af; D; Zif; Zof.

$$D = 1 + A\beta = 1 + G_m \times \beta = 1 + (-63{,}02 \times 10^{-3}\,\cancel{\mho}) \times (-380\,\cancel{\Omega})$$

• $D = 25$

• $$G_{mf} = \frac{G_m}{D} = \frac{-63{,}02\ m\mho}{25} \Rightarrow -2{,}52 \times 10^{-3}\,[\mho]$$

• $Z_{if} = Z_i \times D = 2380 \times 25 = 59{,}5\,K\Omega$

• $Z_{of} = Z_o \times D = \infty \times D = \infty$ $\wedge$ • $Z_{of}' = Z_{of} \,//\, R_c \cong R_c = 4K\Omega$

NOTA

- $A_{vf} = Gm_f \times R_c = -2{,}52 \times 10^{-3}\,℧ \times 4K\Omega \Rightarrow -10$

$A_{if} \Rightarrow ?$ $\qquad A_i \Rightarrow \dfrac{i_o}{i_i = i_b}$ $\begin{cases} i_o = -h_{fe} \times i_b \;\; ó \;\; -gm \cdot V_{be} \\ i_i = \dfrac{V_s}{Z_{if}} \end{cases}$

$$A_{if} = \frac{-h_{fe} \times i_b}{V_s / Z_{if}} = -\frac{h_{fe}}{\cancel{\left(\frac{V_s}{i_b}\right)} \times \cancel{\frac{1}{Z_{if}}}} = -h_{fe}$$

- $A_{if} = -150$ $\qquad \left\{ i_o = -gm \cdot V_{be} \;\; \wedge \;\; V_{be} = i_b \times (h_{ie} + R_e(h_{fe}+1)) \right\}$

Otro camino $A_{if} \Rightarrow -gm_f \times Z_{if} = +(-2{,}52 \times 10^{-3}\,℧) \times (59{,}5K\Omega)$

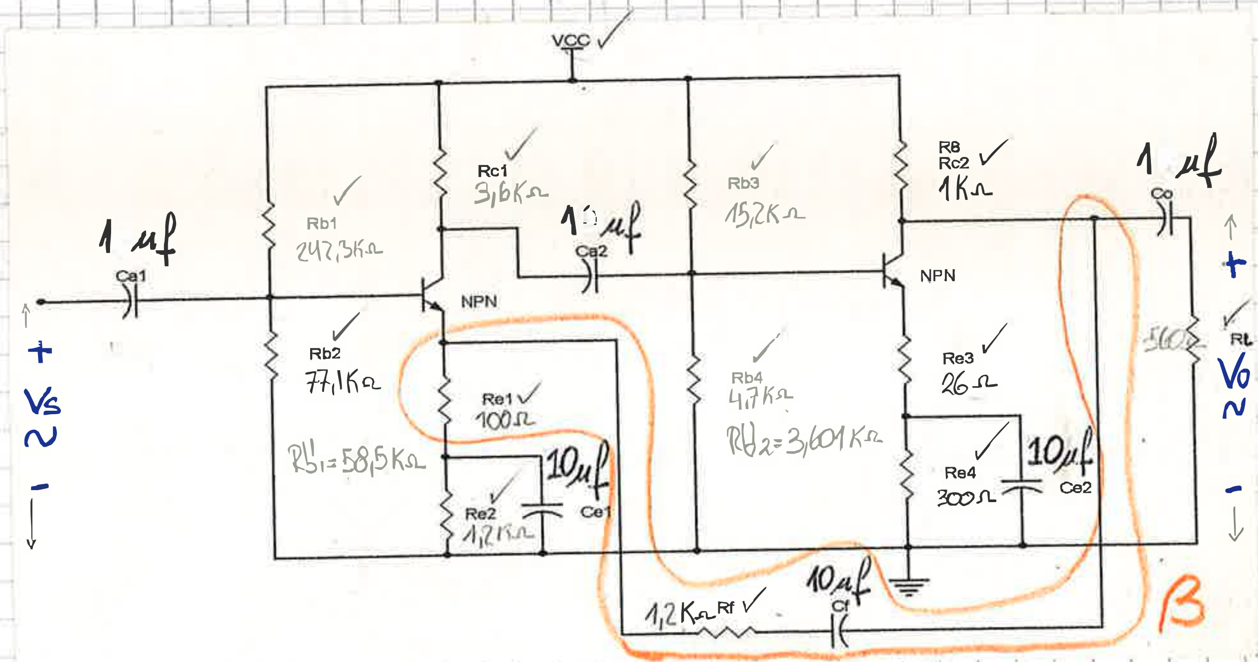
- $A_{if} = -150$

A lazo cerrado la ganancia de corriente es $-h_{fe}$!

o

EJ. N° 18 : Realimentación. T.P. de Lab. N°1; EA2. 27/01/2010

Problema de diseño.



* Ejercicio similar (T.P. de análisis) en página #1.

NOTA [Marco Alvarez Reyna UTN-FRC marcoalrey@gmail.com]

Consigna:

- Diseñar un amplificador realimentado según la topología del circuito de la figura.
- Incluir el desarrollo analítico de A_V; Z_o; Z_i; Z_{of}; Z_{if}; A_{vf}.
- Para el diseño considerar los siguientes requerimientos:
  - Ganancia de lazo cerrado = 12 (A_{vf})
  - Excursión sobre R_L = 3 Vpp. ?
  - (f_m) Frec. de trabajo del circ. = 1,5 KHz ?
  - Variación máxima de V_L a lazo cerrado del 3% para una variación de la gan. a lazo abierto de 45%
  - Impedancia de carga $R_L \geq 500\Omega$
  - Vcc máximo 25 vcc.

Además se pide:

- Diseñar ambas etapas para máx. exc. sim.
- Especificar la Topolog. de realim. utilizada.
- Enum. ventajas de la Top. con resp. a Z_i y Z_o.
- Corroborar los valores obtenidos práctico-analítico.
- Obtener y graficar la curva de resp. frec. circ.

Desarrollo:

I) Topología: Muestra de Tensión (en paralelo), Mezcla en serie (de Tensión) $\Big\}$ $A_V = \dfrac{V_o}{V_s}$ Ampl de Tensión!

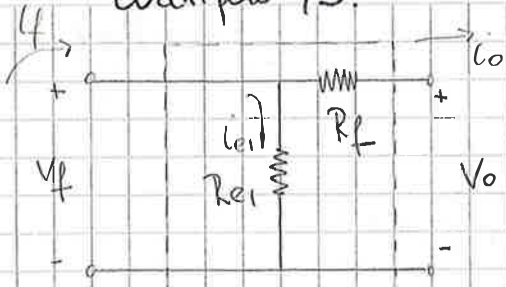
II) Red β: $\beta = \dfrac{V_f}{V_o}$

NOTA

HOJA Nº 28

FECHA 27/01/2010

cuadripolo β.



Como la mezcla es de tensión; para calcular β; se hace $i_f = 0$; que equivale a abrir el circ.

Ecu 1

$$i_o + i_{e1} = i_f \Rightarrow i_{e1} = i_f - i_o$$

Ecu 2

$$\frac{(V_f - V_o)}{R_f} = i_o \quad \therefore \quad V_f - i_o R_f = V_o$$

Ecu 3

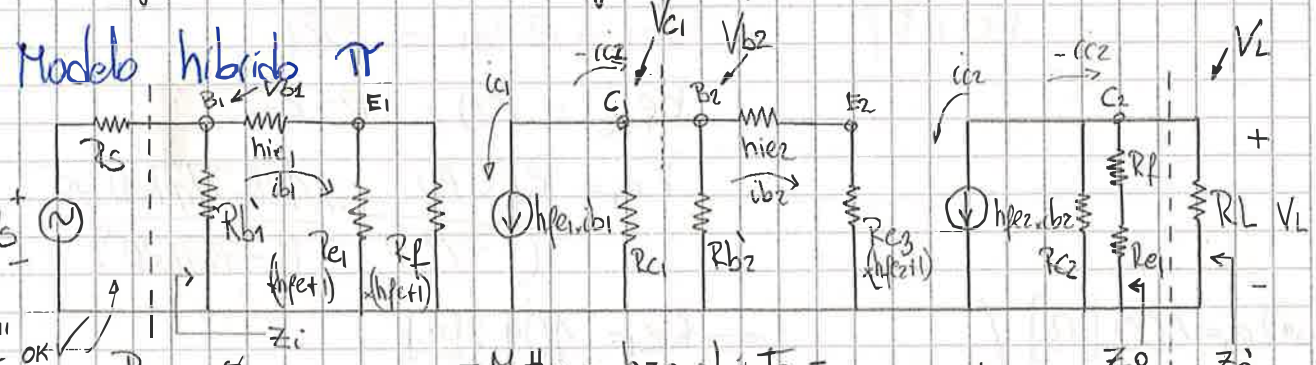
$$V_f = i_{e1} \times R_{e1} = (i_f - i_o) \times R_{e1}$$

$$\bullet\ \beta = \left.\frac{V_f}{V_o}\right|_{i_f=0} = \left.\frac{(i_f \times R_{e1} - i_o\, R_{e1})}{(i_f\, R_{e1} - i_o\, R_{e1}) - i_o\, R_f}\right|_{i_f=0} = \frac{R_{e1}}{R_{e1}+R_f}$$

↳ se fusionan Ecu 1; 2 y 3 y luego se aplica la condición $i_f = 0$; !

III) Modelo híbrido π

(~) fm !



$R_s \to \emptyset\,\Omega$

– Modelar a lazo abierto ↳ sin efecto realim.
↳ Con la carga que represente.

Fijamos: $V_{cc} = 25\,V$ y $R_L = 560\,\Omega$

$$\Delta V_f = \frac{\Delta V}{1 + \Delta V \cdot \beta} \Rightarrow 12$$

{ suponiendo $\Delta V \cdot \beta \gg 1$ ya que ΔV es el producto de $\Delta V_1 \times \Delta V_2$; Multiet. }

$$\Delta V_f = \frac{1}{\beta} = 12 \quad \therefore \quad \frac{R_{e1}}{R_{e1}+R_f} = (12)^{-1}$$

Aproximación !

$$\hookrightarrow \bullet\ \beta \cong \frac{1}{12} = 83{,}33 \times 10^{-3}$$

$$\bullet\ S \Rightarrow \frac{\Delta V_f\%}{\Delta \Delta V\%} \Rightarrow \frac{3\%}{45\%} \Rightarrow 66{,}66 \times 10^{-3} = \frac{1}{D}$$

NOTA

Como $S = \frac{1}{D}$ $\wedge$ $A_{vf} = \frac{A}{D}$ $\therefore$ $A_{vf} = A_v \times S$ $\rightarrow A = \frac{A_{vf}}{S}$

$$\bullet A_v = \frac{12}{66{,}66 \times 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{180}$$ ✓

Ahora un cálculo mas exacto de β serie:

$$D = \frac{1}{S} = 1 + \beta . A_v \quad \therefore \left(\frac{1}{S} - 1\right) \cdot \frac{1}{A_v} = \beta$$

$$\bullet \beta = \left(\frac{1}{66{,}66 \times 10^{-3}} - 1\right) \cdot \frac{1}{180} \Rightarrow \boxed{77{,}77 \times 10^{-3}}$$

Fijamos $\bullet R_f \Rightarrow \boxed{1{,}2\,[K\Omega]}$

Así:

$$\beta = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_f}$$

$$\beta R_{e1} + \beta R_f = R_{e1}$$

$$R_{e1} - \beta R_{e1} = \beta R_f$$

$$R_{e1}(1 - \beta) = \beta R_f$$

$$R_{e1} = \frac{R_f \times \beta}{(1 - \beta)} \Rightarrow \frac{1{,}2K \times 77{,}77 \times 10^{-3}\,[\Omega]}{(1 - 77{,}77 \times 10^{-3})}$$

$$\bullet \boxed{R_{e1} = 100\,[\Omega]} \leftarrow R_{e1} = 101{,}2\,[\Omega]$$

Δ Por adaptación de impedancias:

$$Z_o = (R_{e1} + R_f) \,//\, R_{c2} = \frac{(R_{e1} + R_f) \times R_{c2}}{R_{e1} + R_f + R_{c2}}$$

$\left.\begin{matrix} Z_o \\ R_{e1} \\ R_f \end{matrix}\right\}$ Son conocidos! R_{c2}?

$$Z_o(R_{e1} + R_f + R_{c2}) = (R_{e1} + R_f) . R_{c2}$$

$$Z_o R_{e1} + Z_o R_f + Z_o R_{c2} = (R_{e1} + R_f) R_{c2}$$

$$Z_o(R_{e1} + R_f) = (R_{e1} + R_f - Z_o) R_{c2}$$

NOTA

$\therefore R_{C2} = \dfrac{Z_0 (R_{e1} + R_f)}{(R_{e1} + R_f) - Z_0} \Rightarrow \dfrac{560\,\Omega\,(100\,\Omega + 1{,}2\,K\Omega)}{(100\,\Omega + 1{,}2\,K\Omega) - 560\,\Omega}$

$R_{C2} = 983{,}78\ \Omega$

$\therefore$ se adopta:

$\bullet\ R_{C2} = 1\,K\Omega$

$I_{cq_2}(MES) = \dfrac{V_{cc}}{R_{cc} + R_{CA}} \Rightarrow$

$\left.\begin{array}{l} R_{cc} = R_{C2} + R_{e3} + R_{e4} \\ R_{CA} = (R_L \,//\, (R_f + R_{e1}) \,//\, R_{C2} \end{array}\right\}$ R_{e3} y R_{e4} No se conocen.

$\downarrow$

$R_{e3} + R_{e4} = \dfrac{\overset{\nearrow V_{E_2}}{(V_{cc}/5)}}{I_{cq_2}}$ $\Leftarrow$ Se aplica el criterio de que en el emisor de T_2 caiga 1/5 parte de la Tensión de alimentación.

$\bullet\ R_{cc} = R_{C2} + \dfrac{(V_{cc}/5)}{I_{cq_2}}$

$I_{cq_2} = \dfrac{V_{cc}}{\left(R_{C2} + \dfrac{V_{cc}}{5\, I_{cq_2}}\right) + R_L /\!/ (R_f + R_{e1} /\!/ R_{C2}}$

$V_{cc} = \overset{R_{cc}}{I_{cq_2}} \times R_{C2} + \dfrac{V_{cc}}{5} + I_{cq_2}(R_L /\!/ (R_f + R_e) /\!/ R_{C2}$

$V_{cc} - \dfrac{V_{cc}}{5} = I_{cq_2}\left(R_{C2} + [R_L /\!/ (R_f + R_e) /\!/ R_{C2}]\right)$

$\therefore I_{cq_2} = \dfrac{V_{cc}(1 - 1/5)}{R_{C2} + [R_L /\!/ (R_f + R_{e1}) /\!/ R_{C2}]} = \dfrac{25\,v\,(1 - 1/5)}{1K + [560 /\!/ (1{,}2K + 100\,\Omega) /\!/ 1K]}$

$\bullet\ I_{cq_2} = \dfrac{20\,v}{1281\,\Omega} = 15{,}6\ [mA]$

NOTA

Como $V_{E2} = \frac{V_{cc}}{5} = I_{cq} \times (R_{e3} + R_{e4})$

$$\frac{V_{cc}}{5 I_{cq}} = R_{e3} + R_{e4}$$

∴

→ • $R_{e3} + R_{e4} = \frac{25v}{5 \times 15{,}6mA} = \underline{320{,}32\ \Omega}$

* Por Tratarse de un Amp. Multietapa, la gan. a lazo abierto es $A_v = A_{v1} \times A_{v2} \Rightarrow 180$; fijamos $A_{v1} = 18$ y $A_{v2} = 10$! → Mejora la figura de ruido.!!

$$A_{v2} = \frac{V_L}{V_{b2}} = \left(\frac{V_L}{i_{b2}}\right) \cdot \left(\frac{i_{b2}}{V_{b2}}\right)$$

□ $V_L = - h_{fe2} \times i_{b2} \times \{ \underbrace{R_{c2} // (R_f + R_{e1}) // R_L} \}$

∴ $\frac{V_L}{i_{b2}} = - h_{fe} \times Z_o$ • $\underline{Z_o = 281\ \Omega}$

□ $i_{b2} = \frac{V_{b2}}{h_{ie2} + R_{e3} \times (h_{fe}+1)}$

∴ $\frac{i_{b2}}{V_{b2}} = \frac{1}{h_{ie2} + R_{e3}(h_{fe}+1)}$

$$A_{v2} = - h_{fe} \times Z_o \times \frac{1}{h_{ie2} + R_{e3}(h_{fe}+1)}$$

$$-\frac{A_{v2}}{h_{fe} \times Z_o} = \frac{1}{h_{ie2} + R_{e3}(h_{fe}+1)} \rightarrow h_{ie2} + R_{e3}(h_{fe}+1) = -\frac{h_{fe} \cdot Z_o}{A_{v2}}$$

$$R_{e3} = \left(-\frac{h_{fe} \cdot Z_o}{A_{v2}} - h_{ie2}\right) \cdot \frac{1}{h_{fe}+1} = \left(-\frac{h_{fe}}{(h_{fe}+1)} \times \frac{Z_o}{A_{v2}} - \frac{h_{ie2}}{(h_{fe2}+1)}\right)$$

$[\Omega] \; [\frac{V}{I}]$

$h_{ie2} = \frac{25mV \cdot h_{fe}}{I_{cq}}$ ∴ $R_{e3} = -\frac{\cancel{h_{fe}}}{\cancel{h_{fe}+1}} \times \frac{Z_o}{A_{v2}} - \frac{25mv \cdot \cancel{h_{fe}}}{I_{cq} \times \cancel{(h_{fe}+1)}}$

NOTA

$$R_{e3} = -\frac{Z_o}{\Delta V_2} - \frac{25mV}{I_{cq}} \Rightarrow -\left\{\frac{281}{-10} + \frac{25mV}{15{,}6mA}\right\} = \cancel{-}\left(\cancel{-}26{,}49\Omega\right) = 26{,}5\,\Omega$$

$$\rightarrow \bullet R_{e3} = 26\,\Omega$$

Como $R_{e3} + R_{e4} = 320{,}32\,\Omega$ $\wedge$ $R_{e3} = 26\,\Omega$

$$R_{e4} = 320{,}32 - 26 = 294\,\Omega$$

$$\rightarrow \bullet R_{e4} \cong 300\,\Omega$$

*Recálculo (debido a las aproximaciones de R_{e3} y R_{e4})

$$I_{cq_2} = \frac{V_{cc}}{R_{CC_2} + R_{CA_2}}$$

$R_{CC} = R_{C2} + R_{e3} + R_{e4} = 1K + 26\Omega + 300\Omega$

$\bullet R_{CC} = 1326\,\Omega$

$\bullet R_{CA} = Z_o = 281\,\Omega$

$$\rightarrow \bullet I_{cq_2} = \frac{25V}{1326+281} \Rightarrow 15{,}55\,mA$$

Δ Nuevamente, por adaptación de impedancias $R_{C1} = Z_{entrada:2}$

$$\therefore R_{C1} = \left\{R'_{b2} \,//\, \left(h_{ie2} + R_{e3}(h_{fe2}+1)\right)\right\} = Z_{i2} \quad \wedge \quad h_{ie_2} = \frac{25mV \times h_{fe2}}{I_{cq_2}}$$

$$I_{cq_1} = \frac{V_{cc}}{R_{CC_1} + R_{CA_1}}$$

$\bullet R_{CC_1} = R_{C1} + R_{e1} + R_{e2}$

$\bullet R_{CA_1} = \left[R_{C1} \,//\, \left(R'_{b2} \,//\, (h_{ie2} + R_{e3}(h_{fe}+1))\right)\right]$

$$\wedge \quad R_{e1} + R_{e2} = \frac{V_{cc}/5}{I_{cq_1}}$$

así $R_{CC_1} = R_{C1} + \dfrac{V_{cc}}{5 I_{cq_1}}$

$$I_{cq_1} = \frac{V_{cc}}{\underbrace{R_{C1} + \frac{V_{cc}}{5I_{cq_1}}}_{R_{CC}} + \underbrace{\left[R_{C1} \,//\, \left(R'_{b2} \,//\, \left(h_{ie_2} + R_{e3}(h_{fe}+1)\right)\right)\right]}_{R_{CA}}}$$

NOTA

$$I_{CQ1} = \frac{V_{CC}}{R_{C1} + \frac{V_{CC}}{I_{CQ1}} + \frac{R_{C1}}{2}}$$

$$\Delta V_1 = \frac{V_{C1}}{V_{B1}} = \frac{V_{C1}}{i_{b1}} \times \frac{i_{b1}}{V_{B1}} \Rightarrow 18 \; !$$

$$V_{C1} = -h_{fe1} \times i_{b1} \times \left\{ R_{C1} \,//\, \overbrace{\left[R_{b'2} \,//\, (h_{ie2} + R_{e3}(h_{fe2}+1)) \right]}^{Z_{i2}} \right\}$$

$$\therefore \frac{V_{C1}}{i_{b1}} = -h_{fe1} \times \left\{ R_{C1} \,//\, \left[R_{b'2} \,//\, (h_{ie2} + R_{e3}(h_{fe2}+1)) \right] \right\}$$

$$i_{b1} = \frac{V_{b1}}{(h_{ie1} + (R_{e1} // R_f)(h_{fe1}+1))}$$

$$\therefore \frac{i_{b1}}{V_{b1}} = \frac{1}{h_{ie1} + (R_{e1} // R_f)(h_{fe1}+1)} \Rightarrow \frac{1}{2} \times R_{C1}$$

$$\text{Así} \Rightarrow \Delta V_1 = \frac{-h_{fe1} \times \overbrace{\left\{ R_{C1} \,//\, \left[R_{b'2} \,//\, (h_{ie2} + R_{e3}(h_{fe2}+1)) \right] \right\}}}{h_{ie1} + (R_{e1} // R_f)(h_{fe1}+1)}$$

$$\Delta V = -h_{fe1} \times \frac{1}{2} \times R_{C1} \times \frac{1}{h_{ie1} + (R_{e1} // R_f)(h_{fe1}+1)}$$

$$\Delta V = \frac{-h_{fe1} \times R_{C1}}{2 \left(\frac{25mV \cdot h_{fe1}}{I_{CQ1}} + (R_e // R_f)(h_{fe1}+1) \right)}$$

Como $h_{fe1} \gg 1$, $h_{fe1} + 1 \cong h_{fe1}$

$$\Delta V = \frac{-\cancel{h_{fe1}} \cdot R_{C1}}{2 \cancel{h_{fe1}} \left(\frac{25mV}{I_{CQ1}} + (R_{e1} // R_f) \right)} \Rightarrow \frac{1}{2} \times \frac{R_C}{(R_{e1} // R_f) + \frac{25mV}{I_{CQ1}}}$$

NOTA

* Despejamos Rc para luego introducirlo en Icq1

$$\Delta V \times 2 \times \left[(Re_1 // Rf) + \frac{25mV}{Icq1} \right] = Rc_1$$

$$Rc_1 : \left(1 + \frac{1}{2}\right) = \frac{2}{2} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

$$Icq1 \Rightarrow \frac{Vcc}{\left\{ \Delta V \times 2 \times \left[(Re // Rf) + \frac{25mV}{Icq1} \right] \right\} \times \frac{3}{2} + \frac{Vcc}{5\,Icq}}$$

$$Icq_1 \left\{ \Delta V \times \cancel{2} \times (Re // Rf) \times \frac{3}{\cancel{2}} + \Delta V \times \cancel{2} \times \frac{25mV}{Icq_1} \times \frac{3}{\cancel{2}} + \frac{Vcc}{5\,Icq} \right\} = Vcc$$

$$Icq_1 \times \left(\Delta V \times (Re_1 // Rf) \times 3 \right) + \Delta V \times 25mV \times 3 + \frac{Vcc}{5} = Vcc$$

$$Icq_1 = \frac{\left(Vcc - \frac{Vcc}{5} - \Delta V \times 25mV \times 3 \right)}{\left(\Delta V \times (Re // Rf) \times 3 \right)}$$

$$Icq_1 \Rightarrow \frac{25 \left(1 - \frac{1}{5}\right) - 18 \times 25mV \times 3}{18 \times \underset{(92,3)}{(100\Omega // 1{,}2K\Omega)} \times 3} \Rightarrow \frac{20v - 1{,}35v}{4{,}98\,K\Omega}$$

→ • $Icq_1 = 3{,}7415\ mA$

(Si la ganancia de tensión de esta etapa hubiese sido $\Delta v = 10$, $Icq_1 = 6{,}9mA$)

* Con Icq1 podemos calcular ahora Rc1

$$Rc_1 = \Delta V \times 2 \times \left[(Re_1 // Rf) + \frac{25mV}{Icq_1} \right]$$

$$Rc_1 = 18 \times 2 \times \left[(100\Omega // 1{,}2K\Omega) + \frac{25mV}{3{,}7415mA} \right]$$

$Rc_1 = 3{,}563\ K\Omega$ se adopta Rc1 normalizada

→ • $Rc_1 = 3{,}6\ K\Omega$

NOTA

Como $R_{C1} + R_{E2} = \frac{V_{CC}}{5 I_{CQ1}}$

$$R_{E2} = \frac{V_{CC}}{5 I_{CQ1}} - R_{C1}$$

$$R_{E2} = \frac{25V}{5 \times 3{,}741 mA} - 100\Omega$$

$$R_{E2} = 1{,}236 K\Omega$$

→ • $R_{E2} = 1{,}2 K\Omega$

* Con los nuevos valores de R_{E2} y R_{C1} recalculamos el I_{CQ1}

$$I_{CQ1} = \frac{V_{CC}}{R_{CC} + R_{CA}} \Rightarrow \frac{V_{CC}}{(R_{C1} + R_{E1} + R_{E2}) + (R_{C1}/2)}$$

→ • $I_{CQ1(MES)} = \frac{25V}{(3{,}6K + 100 + 1{,}2K) + \frac{3{,}6K}{2}} \Rightarrow 3{,}731 mA$

* Cálculo de R_{bb1} y R_{bb2}

A) $R_{C1} = [R_{b2}' // (h_{ie2} + R_{E3}(h_{fe2}+1))]$

Utilizamos un Tr. Bip. BC548 con $h_{fe} = 450$.

$$J' = h_{ie2} + R_{E3}(h_{fe}+1) = \frac{25mV \times 450}{15{,}55mA} + 26\Omega(450+1) \Rightarrow 12{,}45 K\Omega$$

$$R_{C1} = \frac{R_{b2}' \times J'}{R_{b2}' + J'} \qquad R_{C1} \times R_{b2}' + R_{C1} \times J' = R_{b2}' \times J'$$

$$R_{b2}'(J' - R_{C1}) = R_{C1} \times J'$$

→ • $R_{b2} = \frac{R_{C1} \times J'}{J' - R_{C1}} = \frac{3{,}6K \times 12{,}45K}{12{,}45K - 3{,}6K} \Rightarrow 3{,}601 K\Omega$

NOTA

HOJA Nº 32

FECHA 28/01/2010

$R_3 // R_4 = R_{b'2} \quad \wedge \quad V_{bb_2} = \frac{I_{CQ2}}{h_{FE2}} \times R_{b'2} + V_{BE2} + (R_{E3} + R_{E4}) \times I_{CQ2} \times (2-\alpha)$

$V_{bb2} = \frac{15{,}55\,mA}{450} \times 3{,}601\,K\Omega + 0{,}7\,v + (26\,\Omega + 300\,\Omega)\,15{,}55\,mA$

$\rightarrow V_{bb2} = 5{,}893\,v$

No están normalizados →

• $R_{b3} \Rightarrow \frac{R_{b'2}}{(V_{bb2}/V_{cc})} = \frac{25\,v \times 3{,}601\,K\Omega}{5{,}893\,v} \Rightarrow 15{,}274\,K\Omega$

• $R_{b4} \Rightarrow \frac{R_{b'2}}{\left(1 - \frac{R_{b'2}}{R_{b3}}\right)} = \frac{3{,}601\,K\Omega}{1 - \frac{3{,}601\,K\Omega}{15{,}274\,K}} = 4{,}714\,K\Omega$

B) $R_{b'1} = \frac{\beta_1 \times R_E}{10} \Rightarrow \frac{\beta_1 \times (R_{E1} + R_{E2})}{10} = \frac{450 \times (100 + 1{,}2K)}{10}$

$\rightarrow$ • $R_{b'1} = 58{,}5\,K\Omega$

$V_{bb1} = R_{b'1} \times I_{CQ1}/\beta_1 + V_{BE1} + (R_{E1} + R_{E2}) \times I_{CQ1}\,(2-\alpha)$

$V_{bb1} = 3{,}731\,mA/450 \times 58{,}5\,K\Omega + 0{,}7 + (100 + 1{,}2K) \times 3{,}731\,mA$

$\rightarrow$ • $V_{bb1} = 6{,}03\,v$

No están normalizados

$\rightarrow$ • $R_{b1} = \frac{R_{b'1}}{\left(\frac{V_{bb1}}{V_{cc}}\right)} = \frac{58{,}5\,K\Omega}{\left(\frac{6{,}03\,V}{25\,V}\right)} \Rightarrow 242{,}32\,K\Omega$

$\rightarrow$ • $R_{b2} = \frac{R_{b'1}}{\left(1 - \underbrace{\frac{R_{b'1}}{R_{b1}}}_{\Rightarrow \frac{V_{bb}}{V_{cc}}}\right)} = \frac{58{,}5\,K\Omega}{\left(1 - \frac{58{,}5\,K}{242{,}32\,K}\right)} \Rightarrow 77{,}11\,K\Omega$

NOTA

IV) Δv ; Z_i ; Z_o

$Z_i = R_{b'1} \,//\, \left(h_{ie1} + (R_{e1} + R_f) \times (h_{fe1} + 1)\right)$

$Z_i = 58{,}5K \,//\, \left(3{,}01K + \underbrace{(100 + 1{,}2K) \times (450+1)}_{589{,}315K}\right)$

→ • $Z_i = 53{,}21 K\Omega$

$h_{ie1} = \frac{25mV \cdot h_{fe1}}{I_{cq1}} \Rightarrow 3{,}01K$

$h_{ie2} = \frac{25mV \cdot h_{fe2}}{I_{cq2}} \Rightarrow 723{,}4\,\Omega$

$Z_o' = R_{c2} \,//\, (R_f + R_{e1}) \,//\, R_L$

→ • $Z_o' = 281\,\Omega$

→ • $\Delta v = 180$ (Pag. 28')

V) D ; Δv_f ; Z_{if} ; Z_{of}

→ • $D = \frac{1}{S} = \frac{1}{66{,}66 \times 10^{-3}} = 15$ (pagina 28)

→ • $\Delta v_f = 12$ (requerimiento de diseño)

$Z_{if} = Z_i \times D$ (al ser mezcla en serie)

→ • $Z_{if} = 53{,}21K \times 15 \Rightarrow 798{,}15\ K\Omega$

$Z_{of}' = \frac{Z_o}{D}$ (por ser muestra en paralelo)

→ • $Z_{of}' = \frac{281\,\Omega}{15} = 18{,}73\,\Omega$

La realimentación negativa favorece las características como ampl. de tensión del amp. multietapa, aumentando la imped. de entrada y disminuyendo la de salida.

* Para que la excursión sobre V_L sea 3 vpp, con $\Delta v_f = 12$,

$V_S = \frac{V_{L\,PP}}{12} = \frac{3\,V_{PP}}{12} = 0{,}25\ V_{PP}$

NOTA

HOJA N° 33

FECHA 29/01/2010

VI) Cálculo de los capacitores de acoplo y desacoplo (C_c; C_e)

{ f_L y f_H una decada por arriba y por abajo de f_M }

• **Notas:** Como Ce se encuentra en el circuito de salida ve a su Re sin reflejar, pero al resto de los resistores del circuito de entrada los ve reflejados.

$$\to C_c = \frac{1}{R'_{be_{B1}} \times \left(\frac{W_M}{10}\right)}$$

R'_{be} → R_{Tc}

$$R'_{be_{B1}} = R'_{b1} \,//\, (h_{ie1} + (R_{e1} // R_f)(h_{fe}+1)) \checkmark$$

(con $R_s = \phi\Omega$)

$$R'_{be} \Rightarrow 58{,}5K \,//\, [3{,}01K + (100 // 1{,}2K) \times (h_{fe}+1)]$$

• $R'_{be} \Rightarrow 25{,}32\, K\Omega$ ✓

$$C_c = \frac{1}{25{,}32\,K\Omega \times 942\, r/s}$$

• $C_c \Rightarrow 42{,}05\, [nf]$

$$f_L = f_M/10 = 1{,}5K/10 = 150\, Hz$$

• $W_L = 2\pi \times f_L = 942{,}47\, [r/s]$

* Si queremos que Ce sea el polo dominante, se debe agrandar Cc 10 veces:

* $C_c' = C_c \times 10 = 0{,}42\, [\mu f] \approx 1\mu f$

• **Notas:** Como "Ce" es el polo dominante; cuando crece la frec. desde Corr. Cont. hacia $W_M/10$; $X_{Cc} \to 0\Omega$ quedando en cortocircuito para cuando $X_{Ce} \neq \infty$. Así es que Re aparece en el cálculo de $R_{T(Ce)}$.

$$\to C_e = \frac{1}{R'_{be_{E1}} \times \left(\frac{W_M}{10}\right)}$$

$$R'_{be_{E1}} = \left\{ R_{e2} \,//\, \left[R_{e1} + \left(R_f \,//\, \left\{ \frac{h_{ie1}}{h_{fe}+1} \right\} \right) \right] \right\}$$

$$R'_{be_{E1}} \left\{ 1{,}2K \,//\, \left[100 + \left(\underbrace{1{,}2K \,//\, 3{,}01K/151}_{6{,}6\Omega} \right) \right] \right\}$$

$$R'_{be} = 97{,}93\, \Omega$$

$$C_e = \frac{1}{97{,}93\,\Omega \times 942{,}4\, r/s}$$

• $C_e = 10{,}83\, [\mu f] \approx 10\mu f$

NOTA

Aproximación para C_c de salida:

* Por el método de la pulsación propia.

$$Y_{T_o} = S \cdot C_{c_o} + \left\{ \frac{1}{\left[R_L + \left(R_{e2} // (R_f + R_{e1})\right)\right]} \right\} = \emptyset$$

$$S = -\frac{1}{C_{c_o} \times \left\{ R_L + \left[R_{e2} // (R_f + R_{e1}) \right] \right\}}$$

$$|S| = \omega_L = \frac{1}{C_{co} \times R_{To}}$$

$$R_{To} = 560\Omega + \left[1K // (1{,}2K + 100)\right]$$

• $\boxed{R_{To} = 1125\ \Omega}$

$$C_{co} = \frac{1}{2\pi \times f_L \times R_{To}}$$

$$C_{co} = \frac{1}{942{,}47\ r/s \times 1125\Omega} \Rightarrow 942{,}96\ [nf]$$

• $\boxed{C_{co} \cong 1\ [\mu f]}$

Notas: La polarización de T_1 podría mejorarse, la corriente por el divisor es muy chica y puede ser comparable a la corr. de base. Esta situación no es deseada. Mentira!!!

Corroboración:

$$I_{Div} = 10 \times I_{BQ}$$

$$I_{Div} = \frac{V_{cc}}{R_{b1} + R_{b2}} = \frac{25v}{242{,}38K + 77{,}11K}$$

$$\boxed{I_{Div} = 78{,}26\ [\mu A]}$$

$$I_{CQ_1} = 3{,}731\ mA$$

$$I_{BQ_1} = \frac{I_{CQ_1}}{\beta} = \frac{3{,}371\ mA}{450}$$

$$\boxed{I_{BQ_1} = 8{,}29\ [\mu A]}$$

$$\frac{I_{Div}}{I_{BQ_1}} = \frac{78{,}26}{8{,}29} = \boxed{9{,}44}$$

NOTA Marco Alvarez Reyna UTN-FRC marcoalrey@gmail.com

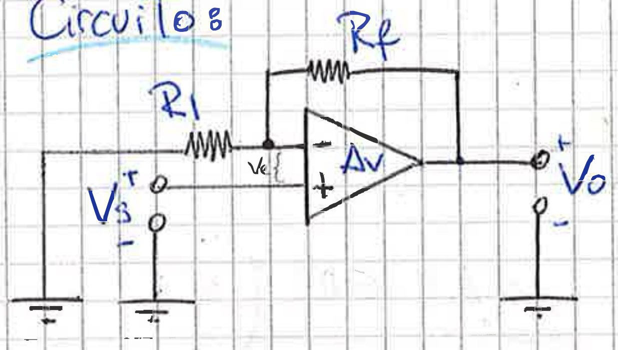
HOJA N° 34

FECHA 29/01/2010

Ej. N° 19: Amp. Operacionales. De la carpeta Teo. EA II.

No inversor — Problema de análisis.

Circuito:



Datos:

$R_f = 220\,K\Omega$

$R_1 = 10\,K\Omega$

Amp. Op. $\begin{cases} Z_e = 2\,M\Omega \\ Z_s = 75\,\Omega \\ A_v = 200.000 \end{cases}$

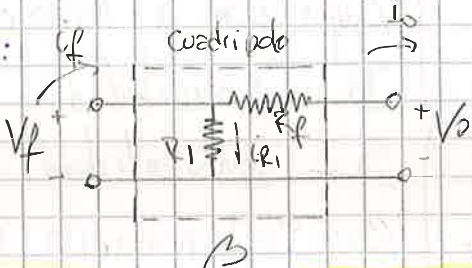
Encontrar:

- Tipo de amplificador.
- β, D; Z_{ent_f}; Z_{sal_f}; A_{v_f}: Realim. $\left(A_{v_f} = \frac{A_v}{1+\beta A_v}\right)$
- A_{v_f} generalizada: Amp. op. $\left(G = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)\right)$

Desarrollo: 30/01/2010

I) Muestra de Tensión (en paralelo), Mezcla en serie (de Tensión) — $A_v = \frac{V_o}{V_s}$; $\beta = \frac{V_f}{V_o}$

II) Red β:



Sup.: $V_f > V_o$

Seguidor de Tensión no inversor.

$\begin{cases} i_f = i_{R_1} + i_o \\ i_{R_1} = i_f - i_o \end{cases}$ $\wedge$ $i_o = \frac{V_f - V_o}{R_f}$ $\wedge$ $V_f = i_{R_1} \times R_1$

$V_f = (i_f - i_o) R_1$

$V_f = \cancel{i_f R_1} - \frac{V_f - V_o}{R_f} \times R_1$

$V_f \Big|_{i_f = 0} = -(V_f - V_o)\frac{R_1}{R_f} = V_o \frac{R_1}{R_f} - V_f \frac{R_1}{R_f}$

$V_f \left(1 + \frac{R_1}{R_f}\right) = V_o \frac{R_1}{R_f}$. $\frac{V_f}{V_o} = \beta = \frac{R_1}{R_f} \times \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_f}}$

NOTA [Marco Alvarez Reyna UTN-FRC marcoalrey@gmail.com]

$$\beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R_1}{R_f + R_1}$$

• $$\beta = \frac{10K}{10K + 220K} = 43{,}47 \times 10^{-3}$$

V) $D = 1 + A_v \times \beta = 1 + 200.000 \times 43{,}47 \times 10^{-3}$

• $D = 8{,}696 \times 10^3$

• $$A_{vf} = \frac{A_v}{D} = \frac{200K}{8{,}69K} = 23$$

• $Ze_f = Ze \times D = 2M\Omega \times 8{,}69 \times 10^3 = 17{,}4\,[G\Omega]$

• $$Zs_f = Zs \times \frac{1}{D} = 75\Omega \times \frac{1}{8{,}69 \times 10^3} = 8{,}62\,[m\Omega]$$

Demostración analítica:

$V_o = V_e \times A_v \quad \wedge \quad V_e = V_s - V_f \quad \wedge \quad V_f = \beta . V_o$

$V_o = (V_s - V_f)\, A_v$

$V_o = (V_s - \beta V_o)\, A_v = V_s . A_v - \beta . A_v . V_o$

$V_o (1 + \beta A_v) = V_s . A_v$

• $$V_o = \frac{A_v}{(1 + \beta A_v)} \times V_s$$

- $D = 1 + \beta A_v$ -

$$V_o = \left(\frac{A_v}{D}\right) \times V_s = (A_v . S) \times V_s$$

A_v: gan. a lazo abierto
A_{vf}: gan. a lazo cerrado
D: desensibilidad
S: sensibilidad.
β: Realimentación Red
$A\beta$: Factor de realiment.

Si el fact. de realim. $|A.\beta| \gg 1$; $1 + A_v\beta \cong A_v\beta$

$$V_o = \frac{A_v}{\beta A} \times V_s \Rightarrow \frac{V_s}{\beta} \Rightarrow V_s \times \left(\frac{R_f + R_1}{R_1}\right) = V_s \times \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$$

• $$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \times V_s$$

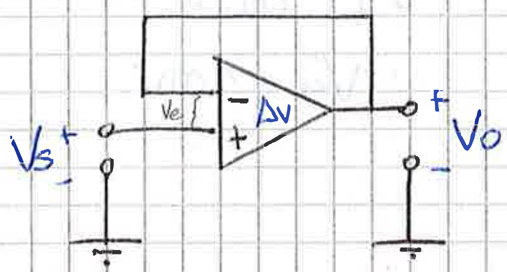
$\left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) = G$: ganancia de Tensión del seguidor de no inversor.

NOTA

Ej. Nº 20 : Amp. Operacionales. De la carpeta Teo. EAII

Buffer — Problema de análisis.

Circuito:



Datos:

$Z_{i\,(mc)} = 2 M\Omega$

$Z_o = 75\ \Omega$

$A_v = 200.000$

Calcular: Z_{if} ; Z_{of} ; A_{vf}

Desarrollo:

Seguidor de tensión no inversor: Buffer! (o separador)

$\beta \Rightarrow \left(1+\frac{R_f}{R_1}\right)^{-1}$ como $\begin{cases} R_f \to 0\ \Omega \\ \wedge \\ R_1 \to \infty \end{cases}$ $\wedge\ D = 1+\beta A_v \cong A_v$

- $\beta \to 1$

- $A_{vf} = \left.\frac{A_v}{1+\beta A_v}\right|_{\beta=1} \Rightarrow \frac{A_v}{1+A_v} \cong 1$

$V_o = A_{vf} \times V_s = 1 \times V_s$

- $\boxed{V_o = V_s}$

- $Z_{if} = Z_i \times D = Z_i \times A_v = 200.000 \times 2 M\Omega = \boxed{400\ [G\Omega]}$

- $Z_{of} = Z_o \times \frac{1}{D} = Z_o \times \frac{1}{A_v} = \frac{75\ \Omega}{200.000} = \boxed{375\ [\mu\Omega]}$

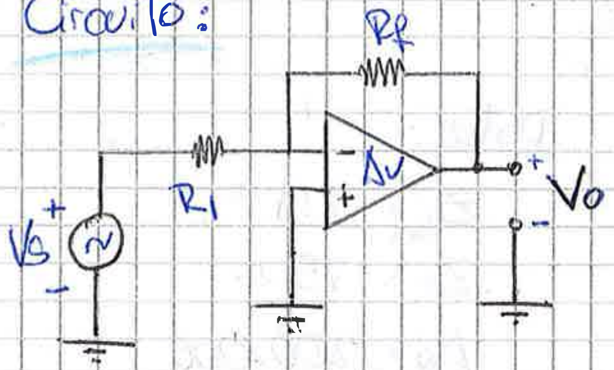
El seguidor de tensión no inversor, o buffer, se utiliza como etapa separadora entre una fuente de alta impedancia y una carga de baja impedancia.

NOTA

Ej. Nº 21 : Amp. Operacionales. De la carp. Teo. EA II

V_{os} (V_{io}) Problema de análisis.

Circuito:



Datos:

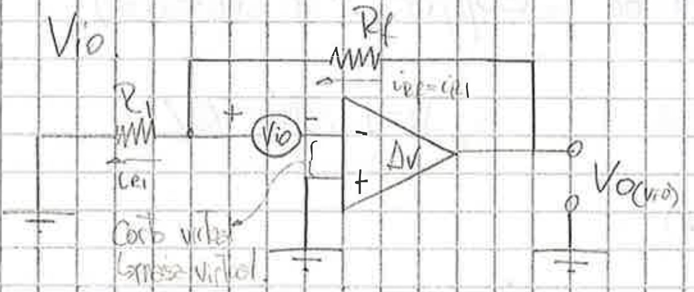
- $R_f = 1K\Omega$
- $R_1 = 10\Omega$
- $V_{io} = 1mV$

Calcular:

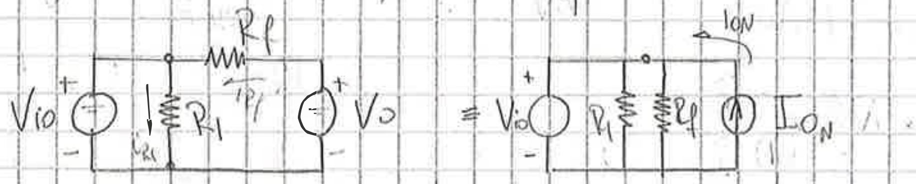
A) $V_{O(V_{io})}$; B) Propuesta de corrección.

Desarrollo: 31/01/2010

Pasivamos Vs y colocamos una fuente de Tensión equivalente V_{io}



A) Por LKI : Nudos ; circ. eq. Northon:



Corrientes → var. independientes
Tensiones → var. dependientes

$V_{io} \times Y_T = I_{ON}$ ^ $\left\{ Y_T = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_f} \quad Y_T = \frac{R_1+R_f}{R_1 \times R_f} \quad I_{ON} = \frac{V_O}{R_f} \right.$

$V_{io}\left(\frac{R_1+R_f}{R_1 \times \cancel{R_f}}\right) = \frac{V_O}{\cancel{R_f}}$

$V_{io}\left(\frac{R_1+R_f}{R_1}\right) = V_O$ ∴

- $V_O = V_{io} \cdot \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$ $\Rightarrow 1mV \times \left(1 + 1K/10\right) = 101 [mV]$

NOTA

B) Como las corrientes son iguales (Por R_1 y R_f) → ya que no hay corriente entrante ó saliente de las entradas del Amp. Op.

$$\frac{V_{io} - 0v}{R_1} = \frac{V_o - V_{io}}{R_f}$$

$$V_{io} \cdot R_f = V_o \cdot R_1 - V_{io} \cdot R_1$$

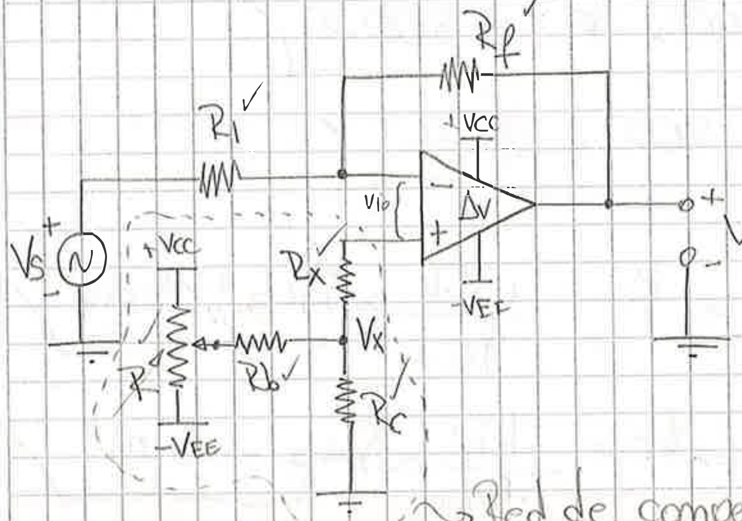
$$V_{io}(R_f + R_1) = V_o \cdot R_1$$

$$\therefore V_o = V_{io}\left(\frac{R_f + R_1}{R_1}\right)$$

$$\boxed{V_o = V_{io}\left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)}$$

Fuentes: "Electr. Rashid Pag. 347/8.

C) Propuesta de compensación: Potenciómetro de cancelación de Voffset. 10KΩ; ±15mV



$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} \times V_s$$

$$V_x = \frac{V_{nt}}{R_{nt} + R_b + R_c} \times R_c = V_{io}!$$

→ Red de compensación de Tensión de offset, con comp. de Corriente de polarización (I_B)

$$\left(\begin{matrix} +V_{cc} = 15v \\ -V_{EE} = -15v \end{matrix}\right)$$

eq thevenin de R (Vnt)

$R_b > R_{nt} > R_c$

$(R_b \geq 10 \times R_{nt} \geq 1000 \times R_c$

$\hookrightarrow R_{nt_{max}} = \frac{R}{2}$

$R_{nt} \geq 100 R_c$

Bajo estas condiciones:

$* R_x \cong (R_f // R_1)$

$* V_x = V_{io} = \frac{V_{nt} (= V_{cc} = V_{EE})}{R_b} \times R_c$

Como el valor del potenciómetro de compensación depende indirectamente de $(R_1 // R_f)$; hay que buscar que esta relación sea lo suficientemente grande.

Modificamos R_f, R_1 manteniendo la ganancia!

$$\left.\begin{array}{l} R_f = 1K \rightarrow 10\,K\Omega \\ R_1 = 10\Omega \rightarrow 100\,\Omega \end{array}\right\} \quad G = -\frac{R_f}{R_1} = \frac{10K\Omega}{100\Omega} = 100$$

$$R_x' = R_f // R_1 = 10K // 100\Omega = 99,\ \Omega$$

$$\left.\begin{array}{l} \bullet\ R_x = 90\,\Omega \\ \bullet\ R_c = 9\,\Omega \end{array}\right\} R_x' = R_x + R_c$$

$$10 \times R_{nt} \geq 1000 \times R_c$$

- $R_{nt} = 100\,R_c = 100 \times 9\Omega = 900\,\Omega$
- $R_b = 10 \times R_{nt} = 10 \times 900 = 9\,K\Omega$

$$\text{Así} = \begin{cases} \bullet\ V_{x\,máx} = \dfrac{(V_{nt} = V_{CC})}{R_b} \times R_c = \dfrac{+15V}{9K\Omega} \times 9\Omega = +15\,mV \\ \bullet\ V_{x\,mín} = \dfrac{V_{nt} = -V_{EE}}{R_b} \times R_c = \dfrac{-15V}{9K\Omega} \times 9\Omega = -15\,mV \end{cases}$$

Como $V_{io} = 1mV$, con el rango de regulación $\pm V_x$ podemos compensar el operacional (V_{offset})

→ Pote = $2\,K\Omega$

→ $R_b = 10\,K\Omega$

* Puede diseñarse 2º $R_b = f(V_{io})$ y 1º $R_c = f(R_f // R_1)$

NOTA

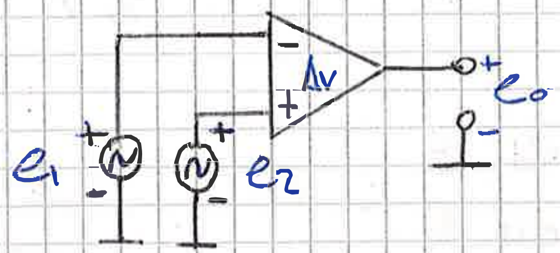
HOJA N° 37

FECHA 01/02/2010

Ej. N° 22 : Amp. Operacionales. De la carp. Teo. EA II.

Diferencial Problema de análisis.

Circuito :



Datos:

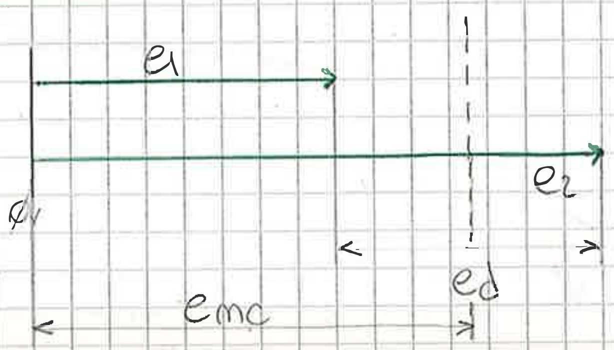
A) $e_1 = -100\,\mu V$
$e_2 = +100\,\mu V$

B) $e_1 = 1000\,\mu V$
$e_2 = 1200\,\mu V$

Calcular :

Gráfica ed y emc ; analítica ed y emc ; cálc. num. ed y emc p' A) y B) ; analítica Ad y Amc ; RRMC

Desarrollo :



$$\begin{cases} ed = (e_2 - e_1) \\ emc = \dfrac{e_2 + e_1}{2} \end{cases}$$

A) $ed = 100\,\mu V - (-100\,\mu V) = 200\,\mu V$

$emc = \dfrac{100\,\mu V + (-100\,\mu V)}{2} = 0\,\mu V$

B) $ed = 1200\,\mu V - 1000\,\mu V = 200\,\mu V$

$emc = \dfrac{1200\,\mu V + (1000\,\mu V)}{2} = 1100\,\mu V$

NOTA

Analítico Ad; Amc y RRmc.

Definimos:

$$A_{v1} = \left.\frac{e_o}{e_1}\right|_{e_2=0} \; ; \quad e_{o1} = -A_{v1} \times e_1 = -A_{v1} \times \left(e_{mc} - \frac{e_d}{2}\right)$$

ent. inversora

$$\wedge$$

$$A_{v2} = \left.\frac{e_o}{e_2}\right|_{e_1=0} \; ; \quad e_{o2} = A_{v2} \times e_2 = A_{v2} \times \left(e_{mc} + \frac{e_d}{2}\right)$$

de: $e_d = e_2 - e_1 \longrightarrow e_2 = e_d + e_1$ ⓐ

$\longrightarrow e_1 = e_2 - e_d$ ⓑ

reemplazados en emc:

ⓐ $e_{mc} = \frac{e_2 + e_1}{2} = \frac{(e_d + e_1) + e_1}{2}$; $2e_{mc} = e_d + 2e_1$

$$e_1 = \frac{2e_{mc} - e_d}{2}$$

$$\bullet\; e_1 = e_{mc} - \frac{e_d}{2}$$

ⓑ $\frac{e_2 + (e_2 - e_d)}{2}$

$2e_{mc} = e_2 \times 2 - e_d$

$e_2 = \frac{2e_{mc} + e_d}{2}$

$$\bullet\; e_2 = e_{mc} + \frac{e_d}{2}$$

Por Superposición:

$$e_o = e_{o1} + e_{o2} \Rightarrow -A_{v1} \cdot \left(e_{mc} - \frac{e_d}{2}\right) + A_{v2}\left(e_{mc} + \frac{e_d}{2}\right)$$

$$e_o = -A_{v1} \cdot e_{mc} + A_{v1}\frac{e_d}{2} + A_{v2} \cdot e_{mc} + A_{v2} \cdot \frac{e_d}{2}$$

$$e_o = e_{mc}(A_{v2} - A_{v1}) + e_d\,\frac{(A_{v2} + A_{v1})}{2}$$

$$\left.\begin{array}{l} A_{v2} - A_{v1} \Rightarrow A_{mc} \\ \frac{A_{v2} + A_{v1}}{2} \Rightarrow A_d \end{array}\right\} \quad \bullet\; e_o = e_{mc} \times A_{mc} + e_d \times A_d$$

NOTA

→ RRMC:

$$e_o = \Delta d \times e_d \left(1 + \frac{e_{mc} \times \Delta mc}{e_d \times \Delta d} \right) = \Delta d \cdot e_d \left\{ 1 + \frac{\frac{e_{mc}}{e_d}}{\left(\frac{\Delta d}{\Delta mc}\right)} \right\}$$

$$e_o = \Delta d \times e_d \left\{ 1 + \frac{\left(\frac{e_{mc}}{e_d}\right)}{RRMC} \right\} \qquad \bullet\ RRMC = \frac{\Delta d}{\Delta mc}$$

EJ. Nº 23: Amp. Operacion. De la carp. Teo. EA II

I_{os} ; I_B Problema de anális. y diseno.

Circuitos: A) Inversor; B) no inversor; C) buffer

Datos: $I_{B(+)} = 0{,}4\ \mu A$ | $R_f = 1 M\Omega$

$I_{B(-)} = 0{,}3\ \mu A$ | $R_1 = 80 K\Omega$

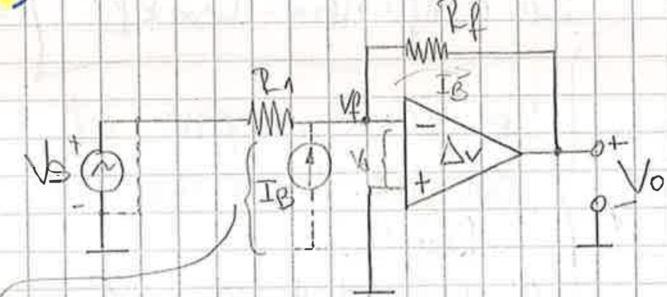
$1pA < I_B < 1\mu A$
FET → Bipolar.

Encontrar:

Circ. equiv. con I_B; cálculo de I_B; I_{os}; Corrección.

Desarrollo:

A) Inversor:



$$I_B = \frac{I_{B(+)} + I_{B(-)}}{2}$$

$$\bullet\ I_B = \frac{0{,}4\ \mu A + 0{,}3\ \mu A}{2} \Rightarrow 0{,}35\ \mu A$$

$$I_{os} = I_{B(+)} - I_{B(-)}$$

$$\bullet\ I_{os} = 0{,}4\ \mu A - 0{,}3\ \mu A \Rightarrow 0{,}1\ \mu A$$

{Se cortocircuita Vs y se incorpora una fuente de corr. eq. IB}

A lazo cerrado; Modelo ideal de Amp-Op, $V_d = \emptyset v \Rightarrow$

→ Como ambos extremos de R_1 están al mismo potencial (masa)

$\left\{ V_1 = V_f = + (R_1 // R_f) \times I_{B1} \ \therefore\ V_d = V_2 \cdot V_1 = -(R_1 // R_f) \cdot I_{B1} \quad V_o = \Delta d \cdot V_d \right.$ ⇒ Teoría convencional de realimentación.

$G = 1 + R_f / R_2$; $B = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$; $D = 1 + B \cdot \Delta v$ → $V_{of} = \frac{V_o}{D}$

no puede circ corriente (I_B) por la misma → I_B circula por R_f gen V_o.

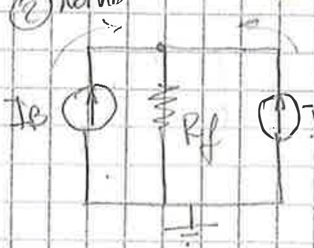
①

- $V_o = -I_B \times R_f$

$V_o = -0{,}35\,nA \times 1M\Omega$

$\Rightarrow V_o = -0{,}350\,[V]$

② Norton



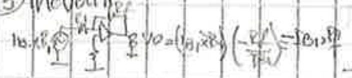
$I_o = \frac{V_o}{R_f}$

$I_B + I_o = 0$

$I_B + \frac{V_o}{R_f} = 0$

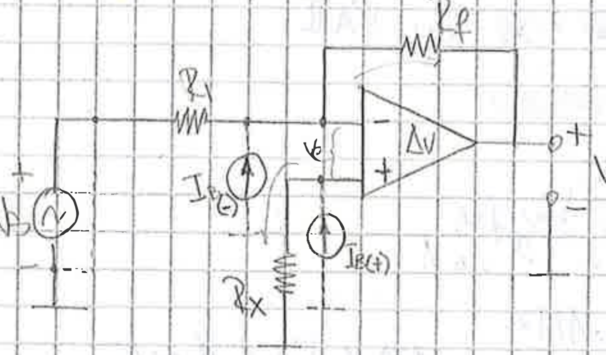
$-I_o = \frac{V_o}{R_f} \therefore V_o = -I_B \times R_f$

③ Thevenin



Vo se disminuye de 0,35 nA → 0,1 V

Compensación:



Por superposición:

- $V_{o(-)} = -I_{B(-)} \times R_f$
- $V_{o(+)} = I_{B(+)} \times R_x \times \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) = I_{B(+)} \times R_f$

$V_o = V_{o(+)} + V_{o(-)} = I_{B(+)} \cdot R_f - I_{B(-)} \cdot R_f$

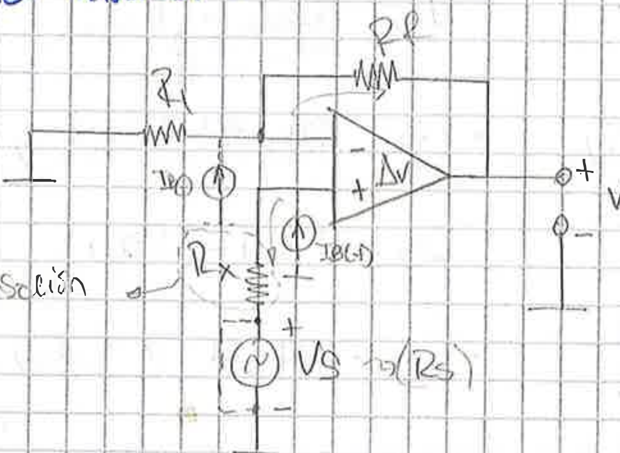
$V_o = R_f \times (I_{B(+)} - I_{B(-)})$

- $V_o = R_f \times I_{os}$
- $V_o = 1M\Omega \times 0{,}1\mu A \Rightarrow 0{,}1V$

*También sale por Thevenin o igualando Tensiones como en divisor resist. ($V_e \Rightarrow \emptyset$)

- $R_x = 1M \parallel 80K\Omega \Rightarrow 74{,}07\,[K\Omega]$

B) No inversor:



Iden. A)

Sin comp: • $V_o = -I_B \times R_f$ $\Rightarrow 0{,}35$

Se compensa como el inversor. Es la misma situación.

- $(R_s + R_x) = R_f \parallel R_1$

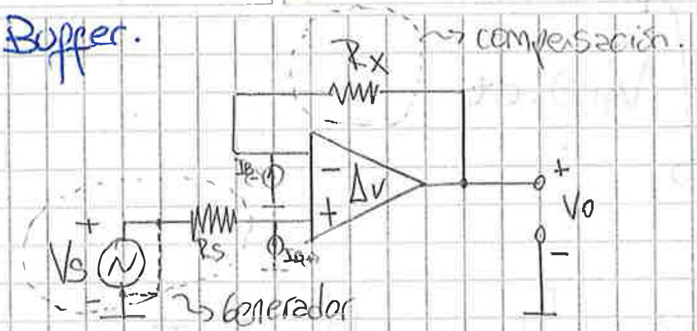
↳ Si R_s es muy grande hay q' consid.

Se pasiva V_s y se colocan las I_B ; R_x: Resist. de compensación.

NOTA

- $V_o = R_f \times I_{os}$ $\Rightarrow 0{,}1v$

c) Buffer.



Sin compensación:

• $V_o = I_{B(+)} \cdot R_s$

Compensación: Igual que en el inversor, por superposición:

$V_o = R_s \cdot I_{B(+)} - R_x \cdot I_{B(-)}$ | con $R_s = R_x$

$V_o = R_x \left(I_{B(+)} - I_{B(-)} \right)$

• $V_o = R_x \cdot I_{os}$

→ Suponemos $R_s = 75\,\Omega$

$V_{o(s/c)} = 0{,}35\,\mu A \cdot 75\,\Omega \Rightarrow 26{,}25\,\mu V$

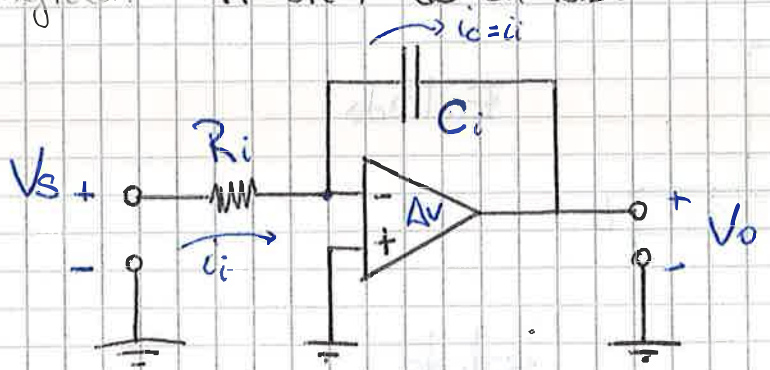
$V_{o(c/c)} = 0{,}1\,\mu A \times 75\,\Omega \Rightarrow 7{,}5\,\mu V$

* Se ve claramente como mejora Vo con el agregado de Rx!

04/02/2010

Ej. N° 24 Amp. Operacionales. De la carp. Teo. EA II

Integrador. Problema de analisis.

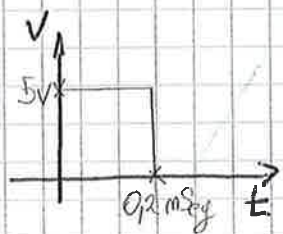


Datos:

$R_i = 10\,K\Omega$

$C_i = 0{,}01\,\mu f$

Determinar Vo con VS:



Desarrollo:

$$Q = I_c \times t \quad Q = C \cdot V_c \quad I_c \cdot t = C \cdot V_c \therefore \; V_c = \frac{I_c}{C} \times t$$

$$V_0(t) = -\frac{1}{R_i \cdot C_i} \times \int_0^T V_s(t) \cdot dt$$

Si $V_s(t) = cte$

$$V_0(t) = -\frac{1}{R_i \cdot C_i} \times V_s \times \int_0^T dt \Rightarrow -\frac{V_s}{R_i \cdot C_i} \times T$$

esta ecuación tiene la forma

$$y = m \times x + b \rightarrow \text{FUNCIÓN LINEAL}$$

si $I_c = I_e = cte$ V_c es lineal.

$b \rightarrow$ voltaje inicial

$y \rightarrow V_0$

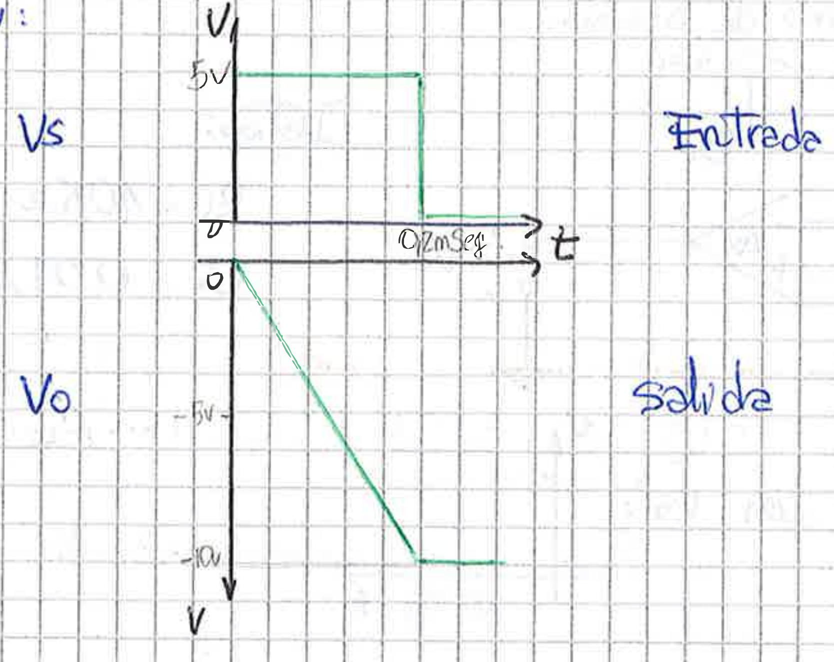
$x \rightarrow t$

$m \rightarrow -\frac{1}{R_i C_i} \times V_s = \frac{I_c}{C_i}$

$$\left. V_0 \right|_{b=0V} = -\frac{5V}{10K\Omega \times 0{,}01\mu f} \times 0{,}2\,mseg = -10 \times 10^3 \times 5V \times 0{,}2\,mseg$$

$$\underbrace{V_0}_{\text{Var. dep.}} = -\underbrace{\left(50 \times 10^3 \tfrac{V}{s}\right)}_{\text{Pendiente}} \times \underbrace{\left(0{,}2\,mseg\right)}_{\text{Var. indep.}} \Rightarrow -10V$$

Si $b = 0V$:



HOJA N° 40

FECHA 04/02/2010

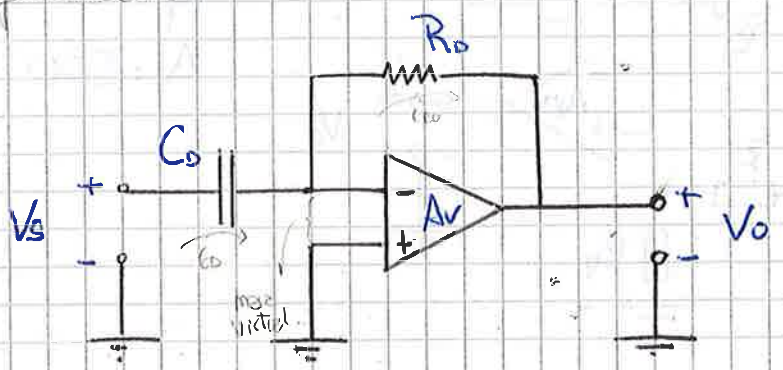
Ej. N° 25 : Amp. Operacionales. De la carp. Teo. EAII

Problema de análisis.

Diferenciador.

$Q = C \cdot V_C$
$Q = I_C \times t$
$I_C = \frac{V_C}{t} \times C$

Pendiente o derivada

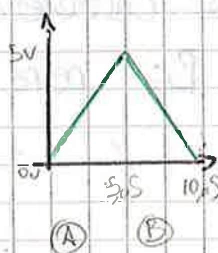


Datos:

$R_D = 2{,}2 \times 10^3\ \Omega$

$C_D = 1 \times 10^{-9}\ f$

Determinar $V_{o(t)}$ con $V_{S(t)}$



$V_S(t) = \frac{5v}{5\mu s} \times t \Rightarrow 1 \times 10^6 \times t \quad \Big|_{t \leq 5\mu s}$

$V_S(t) = -\frac{5v}{5\mu s} \times t \Rightarrow -1 \times 10^6 \times t \quad \Big|_{5\mu s < t \leq 10\mu s}$

Desarrollo:

$$V_C(t) = \frac{1}{C_D} \times \int_0^T i_{C_D}(t) \cdot dt \qquad V_o(t) = -i_{R_D}(t) \times R_D$$

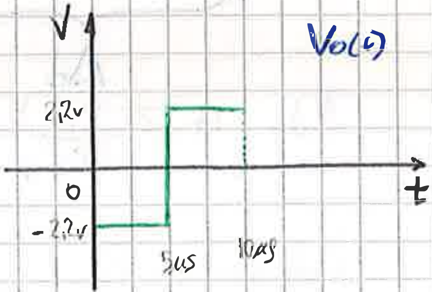
$$V_C(t) \cdot C_D = \int_0^T i_{C_D}(t) \cdot dt \qquad i_{R_D}(t) = i_{C_D}(t) \cdot i_{entrada}$$

$$\frac{d\,V_C(t)}{dt} \times C_D = i_{C_D}(t) \qquad V_o(t) = -\left(\frac{d\,V_C(t)}{dt} \times C_D\right) \times R_D$$

Como el Terminal negativo está virtualmente puesto a masa:

$V_C(t) = V_S(t)$ = Tensión de entrada

Así: $$V_o(t) = -\frac{d\,V_S(t)}{dt} \times C_D \times R_D$$



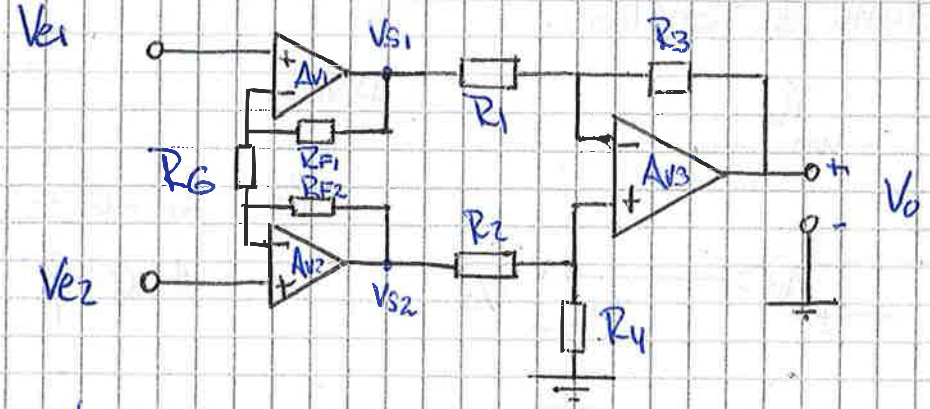
Intervalo A) $V_o(t) = -\frac{d(1 \times 10^6 \times t)}{dt} \times 1 \times 10^{-9}\,f \times 2{,}2 \times 10^3\,\Omega \Rightarrow -2{,}2\,[V]$

Intervalo B) $V_o(t) = -\frac{d(-1 \times 10^6 \times t)}{dt} \times 1 \times 10^{-9} \times 2{,}2\,10^3\,\Omega \Rightarrow +2{,}2\,[V]$

NOTA

Ej. N° 26 Amp. Op.: Instrumentación. 05/02/2010

Problema de diseño



Datos:

$R_f = 25\,K\Omega$

$A_d = 500$

Se pide:

- Enumerar las características y tipo de amp.
- Encontrar RG para la ganancia dada.

Desarrollo:

El amp. es un Amplificador de instrumentación;

Posee:
- Posibilidad de obtener elevada ganancia; $A_d \cong 1000$
- Elevado RRMC; $RRMC \cong 100\,dB$
- Elevada impedancia de entrada; $Z_i \cong 300\,M\Omega$

$$A = \underbrace{\left(1 + 2 \cdot \frac{R_F}{R_G}\right)}_{A_d} \times (V_{e2} - V_{e1})$$

Con $R_{F1} = R_{F2} = R_F$

$$A_d = \left(1 + 2\,\frac{R_F}{R_G}\right) \rightarrow A_d = \left(\frac{R_G + 2R_F}{R_G}\right)$$

$$A_d \cdot R_G = R_G + 2R_f \rightarrow 2R_F = A_d \cdot R_G - R_G$$

$$R_G(A_d - 1) = 2R_F \;\therefore\; R_G = \frac{2R_F}{(A_d - 1)} = \frac{2 \times 25\,K\Omega}{(500 - 1)}$$

$\rightarrow \bullet\, R_G \Rightarrow 100{,}2\,[\Omega]$

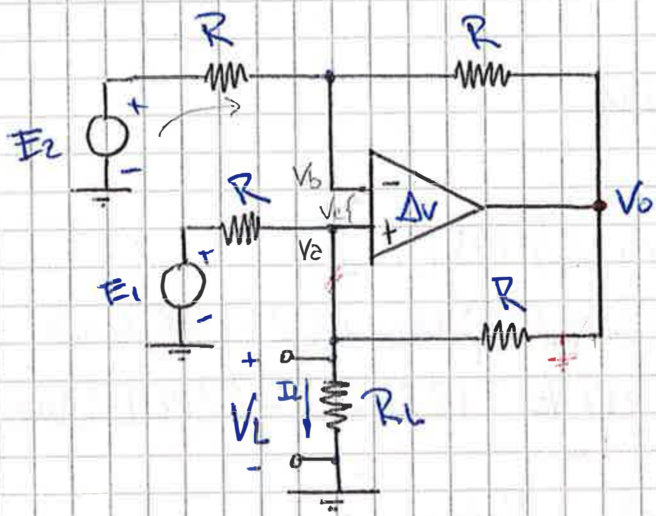
NOTA

HOJA Nº 41

FECHA 05/02/2010

Ej. Nº 27: Amp. Op. CTC. De la carp. Teo. EAII.

Problema de análisis.



Datos:

$R = 10 K\Omega$

$R_L = 5 K\Omega$

$E_1 = 0 v$

$E_2 = 5 v$

Encontrar:

I_L; V_L; V_o

Desarrollo: (Propio)

$$V_o = Av \times V_e = Av \times (V_a - V_b)$$

Por LKI:

$$V_a \times Y_a = I_{E1} + I_o$$

$$V_a \times \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R}\right) = \frac{V_{E1}}{R} + \frac{V_o}{R}$$

$$V_a = \frac{(V_{E1} + V_o)}{R \times \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{R_L}\right)} \Rightarrow \frac{(V_{E1} + V_o)}{2 + \frac{R}{R_L}}$$

$$V_L \Rightarrow V_a = \left[\frac{(V_{E1} + V_o)}{(2R_L + R)}\right] \times R_L$$

$I_L \Rightarrow$

→ Corroborado por superposición!

$$V_b \times Y_b = I_{E2} + I_o$$

$$V_b \times \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R}\right) = \frac{V_{E2}}{R} + \frac{V_o}{R}$$

$$V_b \left(\frac{2}{\cancel{R}}\right) = \frac{V_{E2} + V_o}{\cancel{R}}$$

$$V_b = \frac{V_{E2} + V_o}{2}$$

→ Corroborado por superposición!

NOTA

$$V_0 = \Delta V \times \left[\frac{(V_{E1}+V_0)}{(2R_L+R)} \times R_L - \frac{(V_{E2}+V_0)}{2} \right]$$

$$\rightarrow \lim_{\Delta V \to \infty} \frac{V_0}{\Delta V} = V_e \Rightarrow \emptyset$$

Así:
$$\frac{(V_{E1}+V_0)}{2R_L+R} \times R_L \Leftrightarrow \frac{(V_{E2}+V_0)}{2}$$

$$(V_{E1}+V_0)\, R_L \cdot 2 = (V_{E2}+V_0)\,(2R_L+R)$$

$$2R_L V_{E1} + 2R_L \cdot V_0 = (2R_L+R)\, V_{E2} + (2R_L+R) \times V_0$$

$$V_0\left((\cancel{2R_L}+R) - \cancel{2R_L}\right) = 2R_L V_{E1} + \cancel{2R_L \times V_0} - (2R_L+R) V_{E2}$$

$$V_0 = \frac{2R_L V_{E1} - 2R_L V_{E2} - R V_{E2}}{R}$$

$$\boxed{V_0 = \frac{2R_L}{R} \times V_{E1} - \left(1 + \frac{2R_L}{R}\right) \times V_{E2}}$$

Con $V_{E1}=0$

$$V_0\Big|_{V_{E1}=0} = -V_{E2} \times \left(1 + \frac{2R_L}{R}\right)$$

Reemplazando en V_L

$$V_L\Big|_{V_{E1}=0} = \underbrace{\left(-V_{E2}\,\frac{\cancel{(R+2R_L)}}{R}\right)}_{V_0} \times \frac{R_L}{\cancel{(R+2R_L)}}$$

$$V_L = -V_{E2} \times \frac{R_L}{R} \qquad I_L = -\frac{V_{E2}}{R}$$

Cálculos numéricos:

$$V_L = -5V \times \frac{5K}{10K} \Rightarrow -2{,}5V$$ ✓

$$V_0 = -5V \times \left(1 + \frac{2 \times 5K}{10K}\right) = -10V$$ ✓

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{-2{,}5}{5K} \Rightarrow 0{,}5\ mA$$ ✓

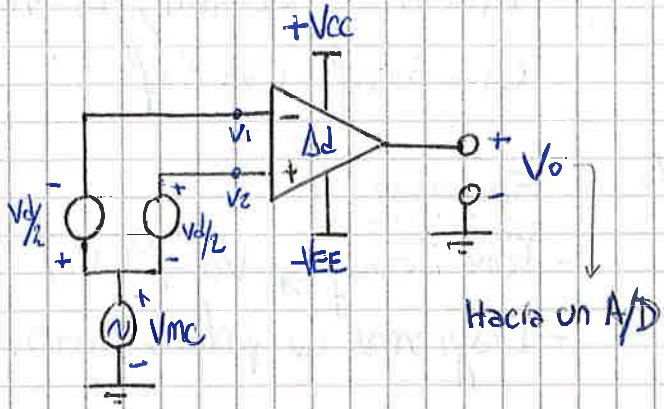
NOTA

HOJA Nº 42

FECHA 06/02/2010

Ej. Nº 28: Amp. Op. Del Teo. G. EAII

Instrumentac. Problema de diseño.



Datos:

$V_d = 1\,mV$

$V_{mc} = 10\,mV$

Requerim: $V_o = 1\,V$

Req. A/D: $V_{omc(máx)} = 5\%\, V_o$

Encontrar: Δ_d ; Δ_{mc} ; RRMC ; $V_{mc\,máx}$ con 110 dB de RRMC

Desarrollo:

- $\Delta_d = \left(\dfrac{V_d}{V_o}\right)^{-1} = \left(\dfrac{1\,mV}{1\,V}\right)^{-1} = 1000$

- 5% de $V_o = \dfrac{5}{100} \times 1\,V = 50\,mV$ $\rightarrow$ $V_{omc} = 50\,mV$

- $\Delta_{mc} = \dfrac{V_{omc}}{V_{mc}} = \dfrac{50\,mV}{10\,mV} = 5$

- $RRMC = \dfrac{\Delta_d}{\Delta_{mc}} = \dfrac{1000}{5} = 200$ $\rightarrow$ $RRMC_{dB} = 20 \cdot \log(200) \Rightarrow 46\,dB$

Si: RRMC = 110 dB, $10^{\left(\frac{RRMC}{20}\right)} = \dfrac{\Delta_d}{\Delta_{mc}}$ • $\Delta_{mc} = \dfrac{1000}{10^{\left(\frac{110}{20}\right)}} \Rightarrow 3{,}162 \times 10^{-3}$

Manteniendo la condición del 5%:

$V_{omc} = V_{mc} \times \Delta_{mc} = 50\,mV$

∴ • $V_{mc(máx)} = \dfrac{50\,mV}{\Delta_{mc}} = \dfrac{50\,mV}{3{,}162 \times 10^{-3}} \Rightarrow 15{,}81\,V$

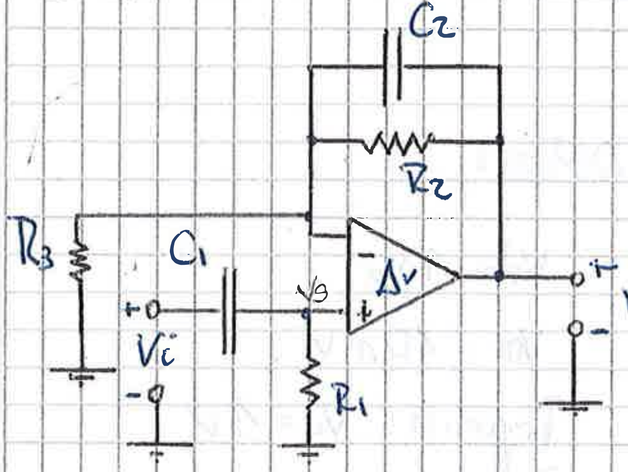
Para RRMC = 110 dB !

NOTA

Ej. N° 29: Amp. Op. 24/02/2010

Integrados
Derivados

Problema de análisis



Datos:

$R_1 = 1K\Omega$; $R_2 = 10K$; $R_3 = 100K\Omega$

$C_1 = 53\,nf$; $C_2 = 6\,nf$.

Encontrar:

- Func. Transf. $V_0 = f(V_i)$
- Diagramas de polos y ceros.

Desarrollo: Como un amp. no inversor

- $Z_1' = X_{C_1} = \dfrac{1}{SC_1}$
- $Z_1 = R_1$
- $Z_2 = R_2 // X_{C_2} = R_2 // \frac{1}{SC_2}$
- $Z_3 = R_3$

$$V_0 = \Big(\underbrace{\frac{V_i}{Z_1' + Z_1} \times Z_1}_{V_g}\Big) \times \left(1 + \frac{Z_2}{Z_3}\right)$$

$$V_0 = \left(\frac{V_i \times R_1}{R_1 + \frac{1}{SC_1}}\right) \times \left(1 + \frac{R_2 // \frac{1}{SC_2}}{R_3}\right) \Rightarrow \left(\frac{V_i\, R_1\, SC_1}{R_1C_1S + 1}\right) \times \left(1 + \frac{R_2}{R_3(R_2C_2S+1)}\right)$$

$$V_0 = V_i \times \left[\frac{R_1 . C_1 . S}{(1 + R_1C_1S)} \times \frac{R_3(R_2C_2S+1) + R_2}{R_3(R_2C_2S+1)}\right]$$

$$V_0 = V_i \times \left[\frac{1}{R_3} \times \frac{\{R_1C_1R_3S(R_2C_2S+1)\} + \{R_2R_1C_1S\}}{(1 + R_1C_1S)(1 + R_2C_2S)}\right]$$

$$V_0 = V_i \times \left(\frac{R_1C_1(R_2+R_3)}{R_3}\right) \times \left[\frac{S \times \left(1 + \frac{R_2 . C_2 . R_3}{R_2 + R_3} . S\right)}{(1+R_1C_1S)(1+R_2C_2S)}\right]$$

$$V_0 = V_i \times \underbrace{58{,}3 \times 10^{-6}}_{K} \times \left[\frac{\overset{S_{C1}}{S} \times \overbrace{(1 + 54{,}5 \times 10^{-6} . S)}^{S_{C2}}}{\underbrace{(1 + 53 \times 10^{-6} S)}_{S_{P1}} \underbrace{(1 + 60 \times 10^{-6} . S)}_{S_{P2}}}\right]$$

$S_{C1} \Rightarrow$ al origen: 1 → 0 dB

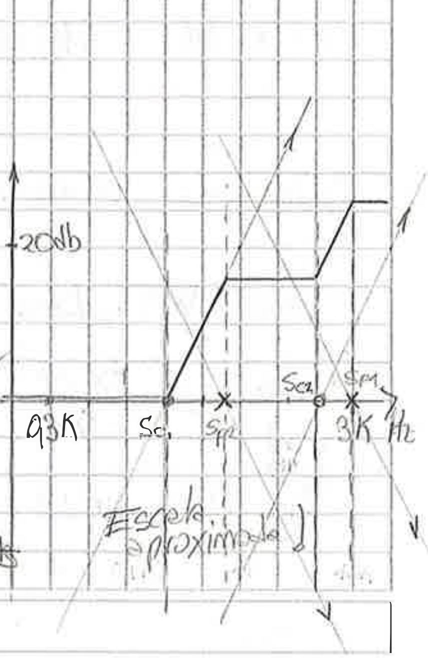
$S_{C2} \Rightarrow 2{,}91\ KHz$

$S_{P1} \Rightarrow 3\ KHz$

$S_{P2} \Rightarrow 2{,}65\ KHz$

Para el diagrama

$K_{dB} = 20 \log K \Rightarrow -84{,}6\ dB$



NOTA

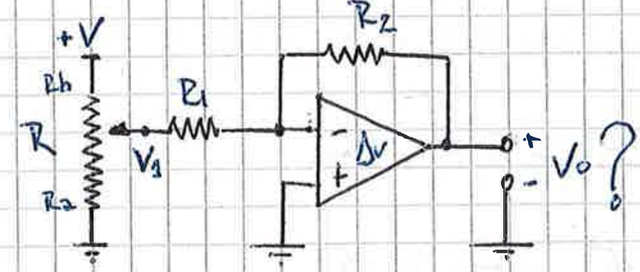
HOJA Nº 43

FECHA 24/02/2010

EJ. Nº 30 : Amp. Op.

Inversor.

Problema de análisis.



Datos:

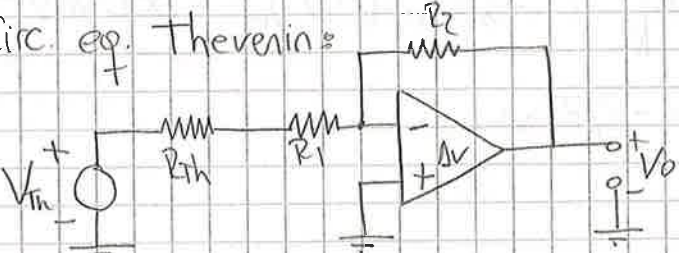
$R_1 = 10\,K\Omega$; $R_2 = 10\,K\Omega$

$R_a = 10\,K\Omega$; $R_b = 10\,K\Omega$

$+V = 15v$

Desarrollo:

Circ. eq. Thevenin:



$$G = -\frac{R_2}{(R_1 + R_{Th})}$$

$$V_o = V_{th} \times -\frac{R_2}{R_{th} + R_1} \quad \wedge \quad R_Th = R_a // R_b = 10K//10K \Rightarrow 5K\Omega$$

$$V_{th} = \frac{V}{R_a + R_b} \times R_a = \frac{15V}{2} = 7{,}5V$$

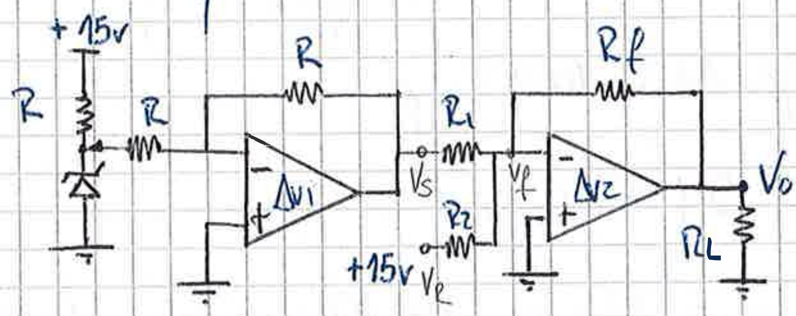
$$\rightarrow V_o = 7{,}5v \times -\frac{10K\Omega}{5K + 10K} \Rightarrow -5v$$

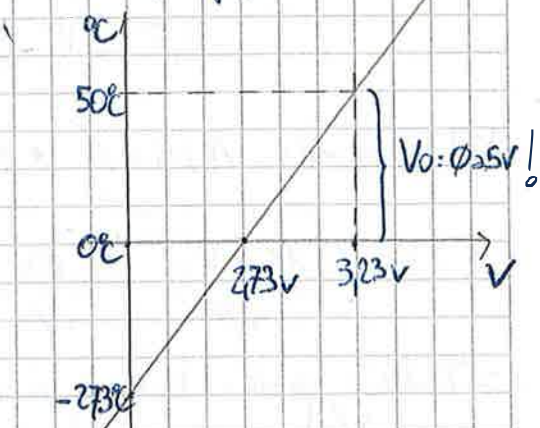
EJ. Nº 31 : Amp. Op.

LM355

Problema de diseño.

El LM355 varía 10mV/ºC y se necesita acondicionar la señal para la entrada de un CAD con rango de Ø a 5 v, con una variación de Ø a 50ºC. Calcular R, R1, R2 y Rf, Teniendo en cuenta que $Z_i = 10K\Omega$.





Desarrollo:

→ Como Z_i debe ser $10\,K\Omega$ y el circ. de entrada es un inversor con $Z_i = R$; ∴ • $R = 10\,K\Omega$

→ Así el circ de entrada es un inversor con $G = -\frac{R}{R} = -1$

→ En el punto Vs: a 0°C; $V_s\big|_{0°C} = -2{,}73\,v$

a 50°C; $V_s\big|_{50°C} = -3{,}23\,v$

* Rango de $V_s = V_s\big|_{50°C} - V_s\big|_{0°C} \Rightarrow -3{,}23\,v - (-2{,}73)\,v = -500\,mV$

* Con un offset de $V_s\big|_{0°C} = -2{,}73\,v$

→ $V_f \cdot Y_f = I_s + I_R + I_o$

$$V_f \times \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_f}\right) = \frac{V_s}{R_1} + \frac{V_R}{R_2} + \frac{V_o}{R_f}$$

Si $A_V \to \infty$; $V_f \to 0$ ∴ $-\frac{V_o}{R_f} = \frac{V_s}{R_1} + \frac{V_R}{R_2}$

∴ $V_o = -\left(V_s \cdot \frac{R_f}{R_1} + V_R \cdot \frac{R_f}{R_2}\right)$

A) Ganancia de $V_s = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_s} = \frac{5\,v}{500\,mV} = 10$!

$\frac{R_f}{R_1} = 10$

B) Offset; con $V_R = 15\,v$; $V_s = -2{,}73\,V \to V_o = 0\,v$

∴ $-2{,}73 \times \frac{R_f}{R_1} + 15 \cdot \frac{R_f}{R_2} = 0$ ∴ $2{,}73 \cdot \frac{R_f}{R_1} = 15 \cdot \frac{R_f}{R_2}$

* Diseño • $R_1 = 10\,K\Omega$; • $R_f = 10 \times R_1 = 100\,K\Omega$

∴ • $R_2 = \frac{15 \times R_1}{2{,}73} = \frac{15 \times 10k}{2{,}73} = 54{,}94\,K\Omega$

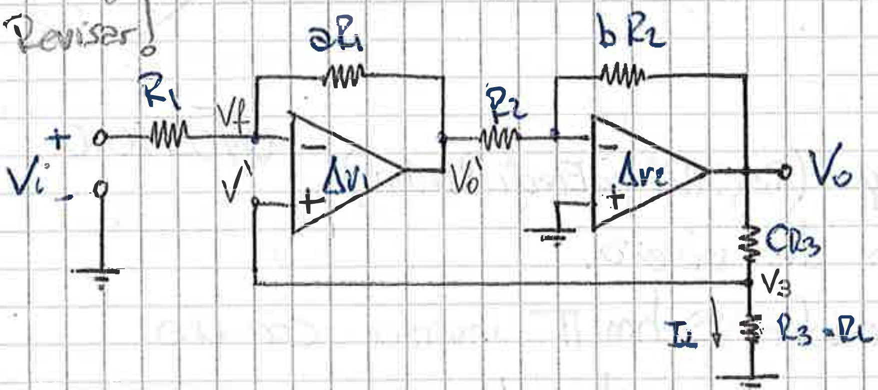
→ También podría haberse diseñado $R_1 = 10k$ con $G = 10 \to R_f$ y luego sabiendo que $V_o\big|_{V_s = 2{,}73\,0°C} = -27{,}3\,v$, hay que sumarle $+27{,}3$ p/ $V_o = 0\,v$ ∴ $\frac{R_f}{R_2} = \frac{27{,}3}{15}$!

NOTA

EJ. Nº32: Amp. Op.

CTC? Problema de análisis.

Revisar!



Encontrar:

V_o ; I_L

Desarrollo:

$V' = V_3$

$V_o = V_o' \times G_{A2}$

$G_{A1} = -\frac{a\cancel{R_1}}{\cancel{R_1}} = -a$; $G_{A2} = -\frac{b\cancel{R_2}}{\cancel{R_2}} = -b$

$G = G_{A1} \times G_{A2} = -a \times -b = a \times b$

$\rightarrow V_f \times \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{aR_1}\right) = \frac{V_i}{R_1} + \frac{V_o'}{R_1 a}$

$V_f \times \frac{aR_1 + R_1}{R_1^2 \cdot a} = \frac{V_i}{R_1} + \frac{V_o'}{R_1 A}$; $V_f = \frac{R_1 a}{(1+a)} \times \frac{V_1 \cdot R_1 \cdot a + V_o' \cdot R_1}{R_1^{\cancel{2}} \cdot \cancel{a}}$

$V_f = \left(\frac{1}{1+a}\right) \frac{V_1 R_1 a + V_o' \cancel{R_1}}{\cancel{R_1}}$

$\rightarrow V' = \frac{V_o}{R_3 + CR_3} \times R_3 = \frac{V_o}{(C+1)}$

$\rightarrow V_E = V' - V_f = \frac{V_o}{(C+1)} - \frac{1}{(1+a)} \times \frac{V_1 R_1 a + V_o' \cancel{R_1}}{\cancel{R_1}}$

Como $V_E \rightarrow 0$; $\frac{V_o}{(C+1)} = \frac{V_1 \cdot \cancel{R_1} \cdot a + V_o' \cdot \cancel{R_1}}{(a+1)\ \cancel{R_1}}$

$V_o \cdot \frac{(a+1)}{(C+1)} = \frac{V_1\ \cancel{R_1}\ a + V_o' \cdot \cancel{R_1}}{\cancel{R_1}}$

$\therefore\ V_o' = \overbrace{\left[\frac{V_o}{(C+1)}\right]}^{V'} \times (a+1) - V_1 \cdot (a)$: Superposición en A1!

Como $V_o = V_o' \times G_{A2}$; $V_o = V_1 \cdot a \cdot b + V_o \frac{(a+1) \cdot b}{(C+1)} \times -1$

NOTA

$$V_o\left(1+\frac{(a+1)b}{(c+1)}\right)=V_1.a.b$$

$$V_o=V_1.\frac{a.b.(c+1)}{(c+1)+(a+1)b}$$

$$I_L=\frac{V_o}{R_3}$$

... (no) Tendría que depender de R_3...

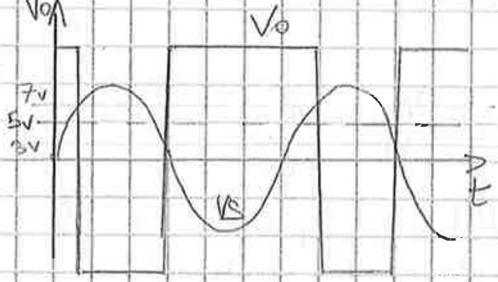
mmm...

08/03/2010

EJ. Nº 33: Amp. Op. (Pag. 827 μElectr. Rashid) (Pag. 73 ap. Teo)

Problema de diseño.

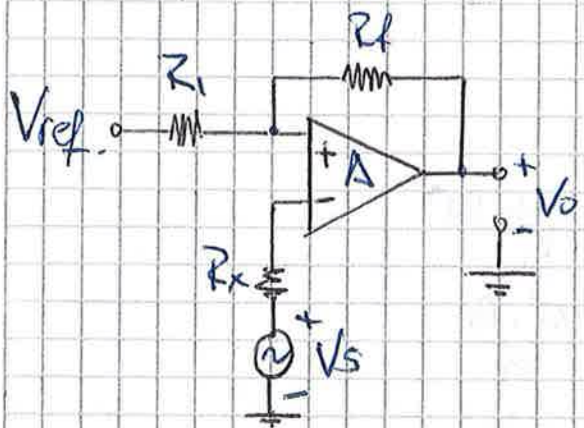
a) Diseñar un disparador Schmitt inversor con una banda de histéresis recorrida de manera que $V_{HT}=7v$. $V_{LT}=3v$. Suponer $+V_{sat}=|-V_{sat}|=14v$ y una frec. de entrada $f=400\,Hz$. Determinar los valores de R_1; R_f; R_x; V_{ref}.



b) Simular. → Con EWB 5.12:

Desarrollo:

Circuito:



$$V_{ST}=\frac{V_{ref}.R_f}{R_1+R_f}=\frac{V_{HT}+V_{LT}}{2}$$

- $V_{ST}=\frac{7v+3v}{2}=5v$
- $V_H=V_{HT}-V_{LT}=7v-3v=4v$

$$V_{ref}=V_{ST}\times\frac{R_1+R_f}{R_f}=5\times\frac{(10K+60K)}{60K}$$

- $V_{ref}=5,833\,v$

Como $\frac{V_H}{2}=\frac{+V_{sat}.R_1}{R_1+R_f}$

- $R_x=R_1//R_f=8,57K$

$$\frac{V_H}{2\times V_{sat}}=\frac{R_1}{R_1+R_f}\Rightarrow\frac{4v}{2\times14v}=0,142$$

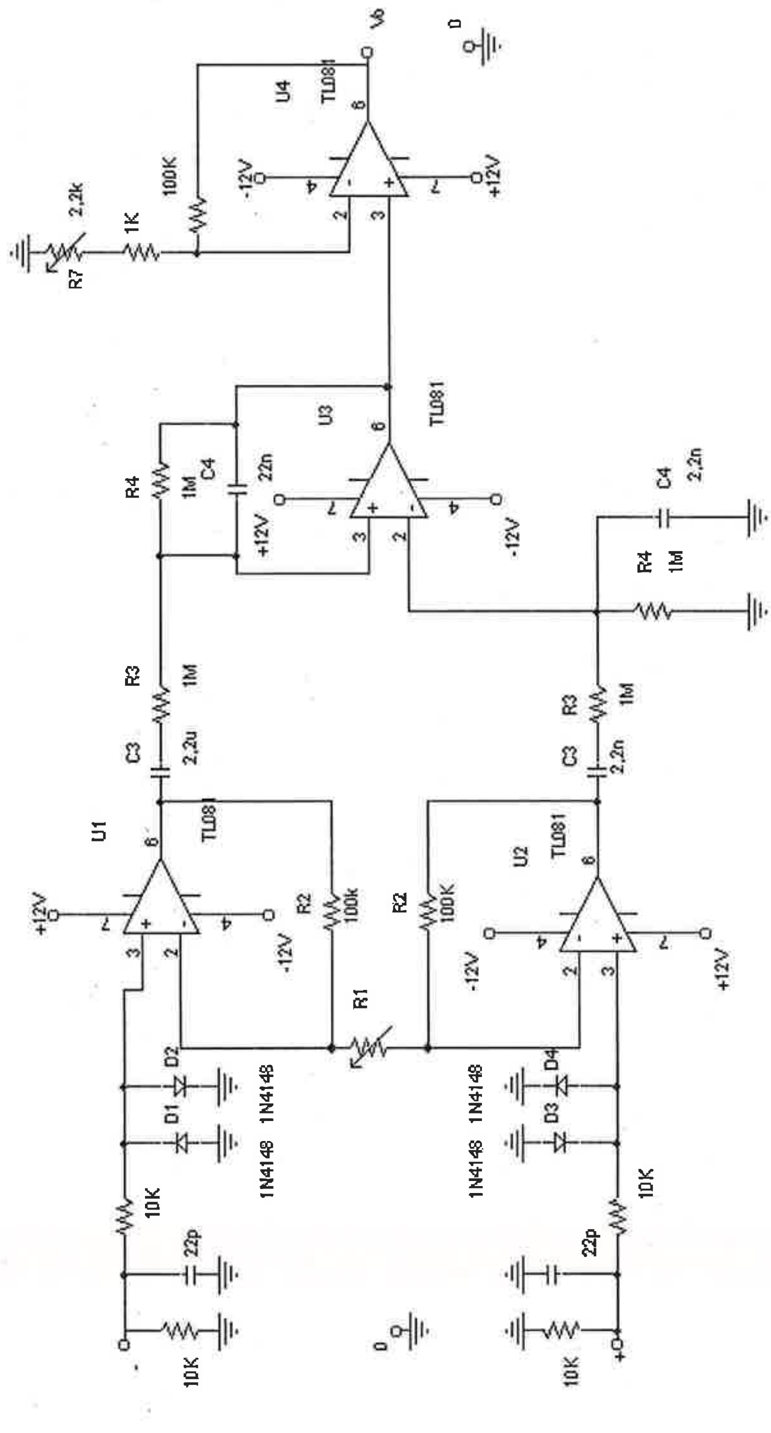
∴ Si adoptamos • $R_1=10K\Omega$, • $R_f=\frac{R_1.(1-0,142)}{0,142}\Rightarrow 60K\Omega$

NOTA

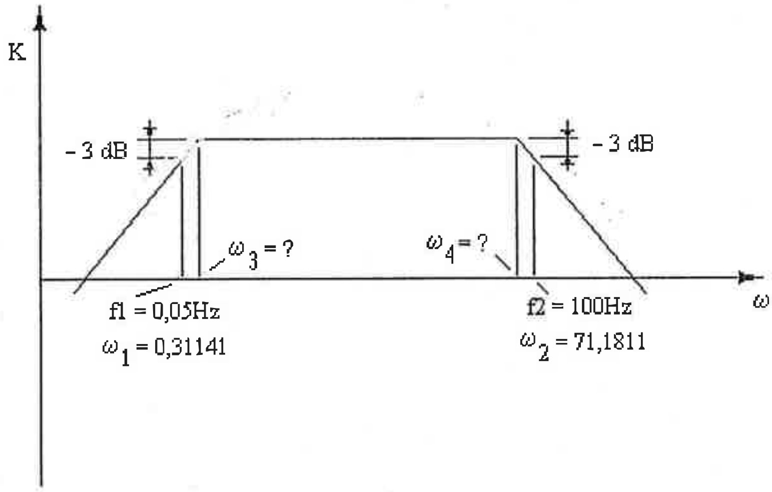
Ej. N°34

↳ Teórico en pag. 91 Teo. (anexo #3)

ESQUEMATICO GENERAL



Para determinar los valores de los mismos vamos a valernos de la gráfica del diagrama de Bode de la función de transferencias.



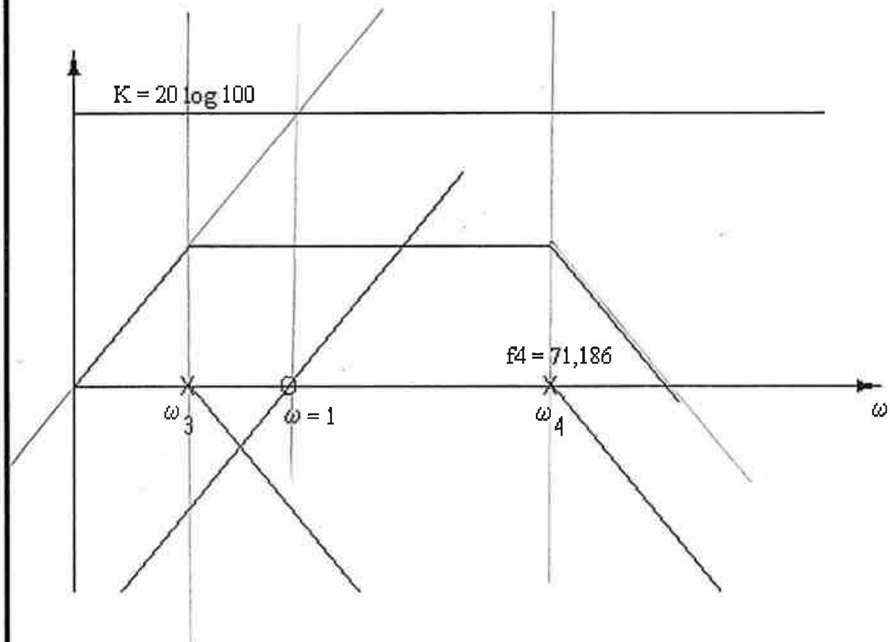
Cálculo de ω3 y ω4

$A = \alpha$ (Log ωn - log ωm)

Como la función de transferencia no presenta polos ni ceros dobles
α = 20 dB/dec.

ω3 = frecuencia corte inferior
-3dB = 20 dB/dec . (log ω3 - log ω1)
-3dB = 20 dB/dec . (log ω3 - log 0,31141)
ω3 = antilog (-3/20 + log 0,31141)
ω3 = 0,4467 => f_3 = 0,071 Hz

Cálculo de ω4
α = -20 dB/dec ωn = ω2 ωm = ω4
-3dB = -20 dB/dec . (log ω2 - log ω4)
-3dB = -20 dB/dec . (log 628 - log ω4)
ω4 = -antilog (3/20 - log 628)
ω4 = 447,279 => f_4 = 71,186 Hz



Ubicamos los Puntos de ω_3 y ω_4 en el Bode

Retomando la función de transferencia

(1) $K = 100 = \frac{(R1 + 2.R2)}{R1}.R4.C3$ } p' fm

> (2) Z1= Cero al Origen

(3) P3 = ω3 = 0,4467 = 1/(R3.C3)
(4) P4 = ω4=446,67 = 1/(R4.C4)
(5) Si R3 = R4 de (3) y (4)
R4 = 1/(446,67.C4) = 1/(0,4467.C3) = R3

> (6) C3 = 1000.C4 ✓

De (5) reemp. en (1)
100 = (1 + 2.R2/R1).(R3.C3)
100 . 0,4467 = (1+2.R2/R1)

> (7) R2 = 21,835 . R1

Tomamos arbitrariamente un valor para C4=22nF
Reemplazando en (4)

R4=1/(446,67.22nF) = 1,017 MΩ = 1MΩ
R3= 1,017 = 1MΩ

Reemplazando el valor de C4 en (6) obtenemos

C3 = 1000.22nF = 22uF

Asignando a R2 un valor de 100K y reemplazando en (7)
R1 = 100K / 21,835 = 4580Ω

Los valores calculados finalmente son:

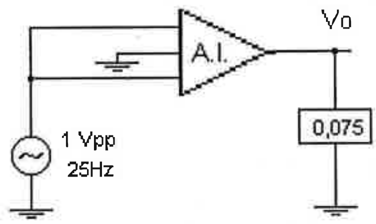
Resistencias		Capacitores	
R1	4,58K	C3	22uF
R2	100K	C4	22nF
R3	1M		
R4	1M		

4- Calibración del Circuito:

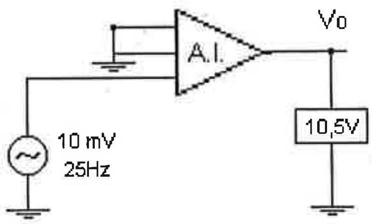
- Mediante el resistor R1 es posible ajustar la ganancia del circuito en su primer etapa. A través de R7 en su 2° etapa.
- Mediante el resistor R4 es posible ajustar la RRMC del circuito.
- Los resistores, a los fines de obtener una RRMC lo más alta posible, deberán seleccionarse lo más parecido posible (1 % o mayor) y los capacitores deberán ser de MicaPlate.

5- Mediciones:

1- RRMC



$$A_{md} = \frac{75\ mV}{1V} = 0,075$$

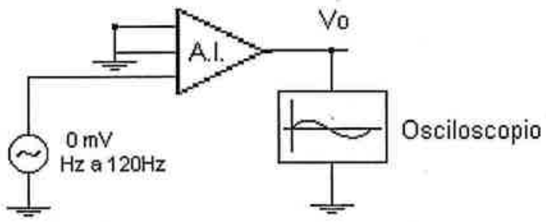


$$A_{md} = \frac{10,5\ V}{10mV} = 1050$$

$$RRMC_{dB} = 20 \log \frac{Amd}{Amc} = 20 \log \frac{1050}{0{,}075} = 83 \text{ dB}$$

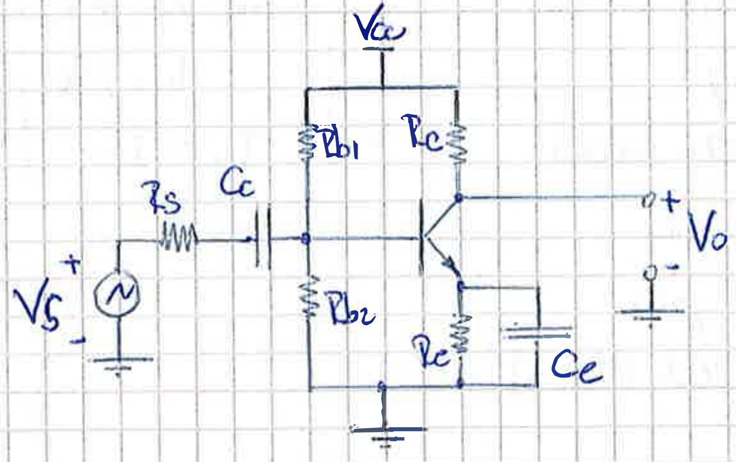
2- Ancho de banda

Para la medición del ancho de Banda se utilizo el siguiente esquema:



→ De clase

Ej. Nº 35 Respuesta en frecuencia de amp. no realim.



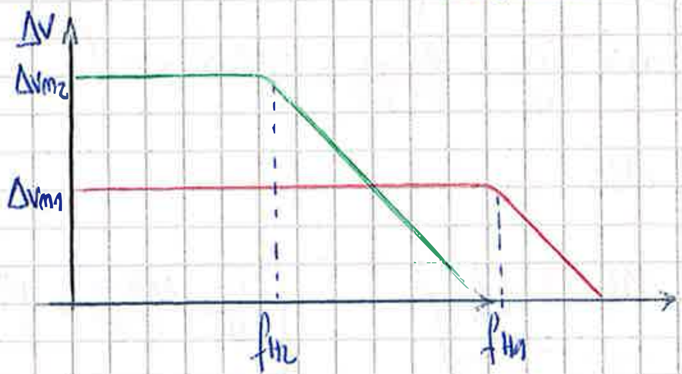
Datos:

- $V_{CC} = 15\,V$
- $R_S = 500\,\Omega$
- $R_{b1} = 7{,}5K$; $R_{b2} = 2{,}7K$
- $R_C = 100$; $200\,\Omega$
- $R_e = 200\,\Omega$
- $h_{fe} = 80$
- $f_T = 750\,MHz$
- $r_{b'b} = 30\,\Omega$
- $C_{b'c} = 2{,}5\,pf$.

Calcular:

a) $f_{H1}\big|_{R_L = 100\Omega} \wedge \Delta V_{m1}\big|_{R_L = 100\Omega}$

b) $f_{H2}\big|_{R_L = 200\Omega} \wedge \Delta V_{m2}\big|_{R_L = 200\Omega}$



- Punto de trabajo
- Parámetros
- Modelos

Desarrollo:

→ Polarización : C.C. I_{cq} ✓, V_{ceq} ✓

→ $V_{bb} - I_b \times R_{bb} - V_{BE} - I_e \times R_e = \emptyset v$; $\wedge$

$V_{bb} - I_b\left(R_{bb} + (h_{fe}+1) \times R_e\right) - V_{BE} = \emptyset v$

$I_b = I_{bq} \Rightarrow \dfrac{V_{bb} - V_{BE}}{R_{bb} + (h_{fe}+1) R_e}$

$I_{bq} = \dfrac{3{,}97v - 0{,}7v}{1{,}985K + (80+1) \times 200\Omega}$

- $I_{bq} = 179{,}84\,\mu A$ ✓

$V_{bb} = \dfrac{V_{cc}}{R_{b1}+R_{b2}} \times R_{b2} \Rightarrow \dfrac{15v}{7{,}5K + 2{,}7K} \times 2{,}7K$

- $V_{bb} \Rightarrow 3{,}970v$ ✓

- $R_{bb} = R_{b1} // R_{b2} = \dfrac{7{,}5K \times 2{,}7K}{7{,}5K + 2{,}7K} \Rightarrow 1{,}985\,K\Omega$ ✓

$\left\{ I_e = I_b \times (h_{fe}+1) \wedge V_{BE} \cong 0{,}7v \right\}$

$I_{cq} = h_{fe} \times I_{bq} \Rightarrow 80 \times 179{,}84\,\mu A$

• $I_{cq} = 14{,}387\ mA$ ✓

$\rightarrow V_{cc} - I_{cq} \times R_c - V_{ceq} - I_{eq} \times R_e = \emptyset$ $\wedge$ $\left\{ \begin{array}{l} (\beta \cong h_{fe}) \\ \text{Como } h_{fe} \gg 1, \\ h_{fe} > 40 \\ I_c \cong I_e \end{array} \right.$

$V_{ceq} = V_{cc} - I_{cq}(R_c + R_e)$

$V_{ceq(1)} = 15v - 14{,}387mA \times (\underbrace{100\Omega}_{R_{c1}} + 200\Omega)$

• $V_{ceq(1)} = 10{,}683\ V$

$V_{ceq(2)} = 15v - 14{,}387\,mA\,(\overbrace{200\Omega}^{R_{c2}} + 200\Omega)$

• $V_{ceq(2)} = 9{,}244\ V$

$\rightarrow$ Parámetros: $r_{b'e}$; $c_{b'e}$; g_m

• $r_{b'e} = \dfrac{V_T}{I_{cq}} \times h_{fe} = \dfrac{25{,}7\,mV}{14{,}387\,mA} \times 80 \Rightarrow 142{,}906\ \Omega$

$\rightarrow \omega_T = \dfrac{g_m}{C_{b'e} + C_{b'c}}$ $\wedge$ • $g_m = \dfrac{I_{cq}}{V_T} = \dfrac{14{,}3\,mA}{25{,}7\,mV} \Rightarrow 559{,}8\ m\mho$

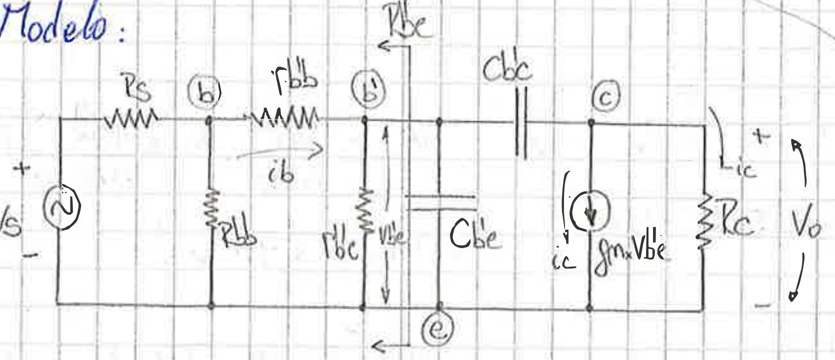
$\therefore C_{b'e} + C_{b'c} = \dfrac{g_m}{\omega_T}$, $c_{b'e} = \dfrac{g_m}{\omega_T} - c_{b'c}$

• $C_{b'e} = \underbrace{\dfrac{559{,}8\ m\mho}{2\pi \times 750\ MHz}}_{118{,}794\,pf} - 2{,}5\,pf \Rightarrow 116{,}29\ pf$

$\left\{ \begin{array}{l} \dfrac{C_{b'e}}{C_{b'c}} = \dfrac{118{,}79}{2{,}5} \Rightarrow 47{,}5 \\ c_{b'e} = 47{,}5 \times C_{b'c} \end{array} \right.$

$\rightarrow$ Corroborar

$\rightarrow$ Modelo:



a) f_{H1} y Δv_{m1} con $R_L \Rightarrow 100\ \Omega$

NOTA

Según el modelo de 1 polo reducido:

$$\to \omega_H = \frac{1}{R_{eq} \times C_{eq}} \quad \wedge \quad \to R_{eq} = R_{b'e} = r_{b'e} \,//\, \{ r_{b'b} + [R_{bb} // R_S] \}$$

$$R_{bb} = R_{b1} // R_{b2}$$

$$\omega_{H1} = \frac{1}{R_{b'e} \times C_T}\Big|_{R_{L1}} \qquad \to C_{eq} = C_T = C_{be} + C_M = C_{b'e} + C_{bc}(1 + g_m \times R_L)$$

$$\bullet\ R_{bb} = 7{,}5k\Omega \,//\, 2{,}7k\Omega \Rightarrow 1985{,}3\ \Omega$$

$$\omega_{H1} = \frac{1}{107{,}3\Omega \times 258{,}8pf} \qquad \to R_{b'e} = 143\Omega \,//\, \{30\Omega + [\underbrace{1985 // 500}_{400\Omega}]\Omega\}$$

$$\bullet\ R_{b'e} = 107{,}3\ \Omega$$

$$\omega_{H1} = 36{,}019\ MHz$$

$$\to C_T = 116{,}3pf + \underbrace{2{,}5pf(1 + 0{,}56 \times 100\Omega)}_{C_M = 142{,}5\ pf}$$

∴

$$\bullet\ f_{H1} = \frac{\omega_{H1}}{2\pi} \Rightarrow 5{,}73\ MHz \qquad \bullet\ C_T = 258{,}8\ pf$$

$$\to \Delta v_{m1} = \frac{V_o}{V_S}\Big|_{R_{L1}} = \frac{V_o}{V_{b'e}} \times \frac{V_{b'e}}{V_S}$$

$$\circ\ V_o = -g_m \times V_{b'e} \times R_{L1} \quad \therefore \quad \frac{V_o}{V_{b'e}} = -g_m R_{L1}$$

$$\circ\ V_{b'e} = \underbrace{\underbrace{\underbrace{\left(\frac{V_S}{R_S + \{R_{bb} // [r_{b'b} + r_{b'e}]\}} \right)}_{i_S} \times \{R_{bb} // [r_{b'b} + r_{b'e}]\}}_{V_{be}} \times \frac{1}{r_{b'b} + r_{b'e}}}_{i_b} \times r_{b'e}$$

$$\therefore \frac{V_{b'e}}{V_S} = \frac{R_{bb}}{R_S + \{R_{bb} // [r_{b'b} + r_{b'e}]\}} \times \frac{r_{b'e}}{[R_{bb} + (r_{b'b} + r_{b'e})]} = \frac{R_{bb} \times r_{b'e}}{R_S(R_{bb} + r_{b'b} + r_{b'e}) + R_{bb} \times (r_{b'b} + r_{b'e})}$$

$$\Delta v_m = \frac{-g_m R_L \times R_{bb} \times r_{b'e}}{R_S(R_{bb} + r_{b'b} + r_{b'e}) + R_{bb} \times (r_{b'b} + r_{b'e})}$$

$$\bullet\ \Delta v_m\Big|_{R_{L1}} = \frac{-0{,}56\mho \times 100\Omega \times 1985{,}3\Omega \times 143\Omega}{500\Omega[\underbrace{1985\Omega + 30\Omega + 143\Omega}_{1{,}1M}] + \underbrace{1985 \times (30 + 143)}_{343K}} \underset{=1{,}42 M\Omega^2}{\Longrightarrow} \overset{\Delta v_{m1}}{-} 11{,}17\ \text{veces}$$

NOTA

b) f_{H2} y Δv_{m2} p/ $R_L = 200\,\Omega$

$\rightarrow f_{H2} = \dfrac{W_{H2}}{2\pi} = \dfrac{1}{2\pi \times R_{b'e_2} \times C_T}$

$\wedge \begin{cases} R_{b'e} \rightarrow \text{permanece invariante} \\ C_T = f(\dots; R_L) \end{cases}$

$f_{H2} = \dfrac{1}{2\pi \times 107{,}3\,\Omega \times 398{,}8\,pf}$

$\therefore R_{b'e} = 107{,}3\,\Omega$

$\wedge\ C_T = C_{b'e} + C_{b'b}(1 + g_m \times R_L)$

$C_T = 116{,}3\,pf + 2{,}5\,pf(1 + 0{,}56 \times 200)$

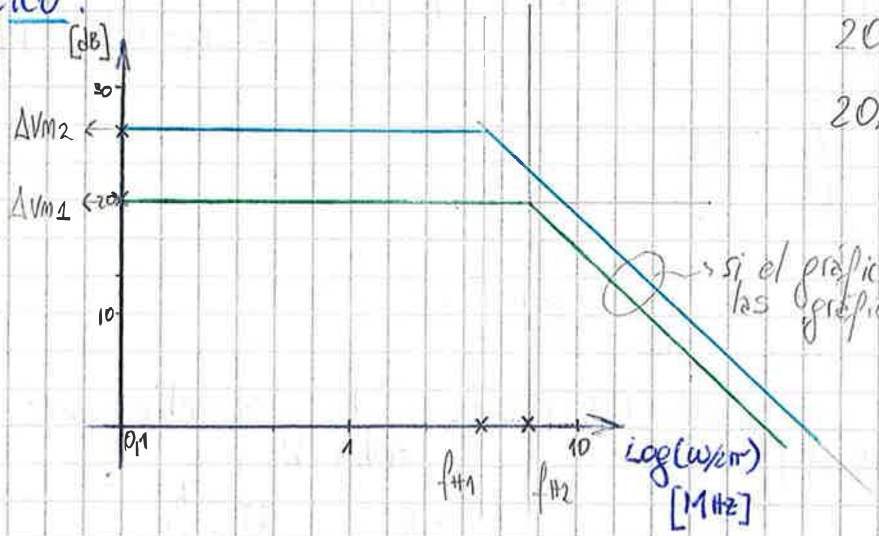
• $C_T = 398{,}8\,pf$

• $f_{H2} = 3{,}72\ MHz$

$\rightarrow \Delta v_{m2} = \dfrac{Den \times R_{L_2}}{Num} \Rightarrow \dfrac{158{,}9 \times 10^3 \times 200\,\Omega}{1{,}422 \times 10^6}$

• $\Delta v_{m2} = -22{,}35$

Gráfico:



$20 \log|\Delta v_{m1}| \Rightarrow 20{,}96\,dB$

$20 \cdot \log|\Delta v_{m2}| \Rightarrow 26{,}98\,dB$

→ si el gráfico estuviera bien hecho las gráficas se solaparían.

$G \cdot \Delta B = cte$ ...

Conclusiones:

Cuando cambiamos R_L; corroboramos que $\Delta v = g_m \cdot R_L$ y que el producto $G \cdot \Delta B = cte$

$$\left\{ \begin{array}{ccc} R_L = 100\,\Omega & ; & R_L = 200\,\Omega \\ \Delta v_{m1} & < & \Delta v_{m2} \\ f_{H1} & > & f_{H2} \end{array} \right\}$$

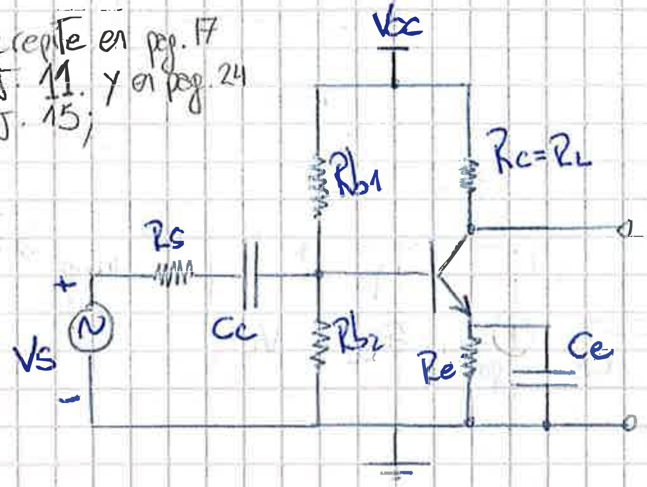
NOTA

HOJA N° 52

FECHA 29/06/2010

EJ. N° 36: Resp. frec. de ampl. no realimentados.

Se repite en pág. 17 ej. 11. y en pág. 24 ej. 15;



Datos:

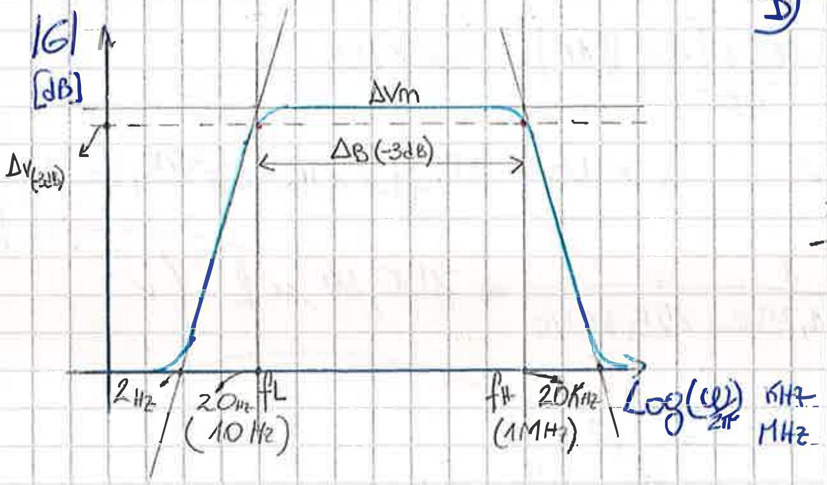
- Punto Q = $I_{CQ} = 2{,}5\ mA$
  $V_{CEQ} = 5\ V$
- $R_S = 1\ K\Omega$
- $R_{bb} = 10\ K\Omega$
- $R_e = 0{,}3\ K\Omega$
- $R_c = R_L$
- $h_{fe} = 40$
- $c_{b'c} = 5\ pf$
- $f_T = 200\ MHz$
- $r_{bb'} = 0{,}1\ K$

Calcular:

✓ a) Vcc; Cc; Ce; RL

✓ b) p/ $R_L' = 2R_L$ calcular ΔB y Δv_m

c) Variando sólo RL; ¿Es posible obtener una f_H de 100 MHz?



D) Recalcular para:

$f_L = 10\ Hz$; $f_H = 1\ MHz$.

HdeR: A) Punto de Trabajo ✓
Parámetros
Modelo ✓
B) Baja frec.
C) Alta frec.
D) Recálculos
E) Gráficos

Desarrollo:

A) Punto de Trabajo: Vcc; Cc; Ce; RL

$\rightarrow V_{bb} - I_b \times R_{bb} - I_e \times R_e - V_{BE} \Rightarrow \emptyset V$

$V_{bb} = V_{BE} + I_b \times R_{bb} + I_e \times R_e$

$V_{bb} = V_{BE} + I_b \times R_{bb} + I_b \times (h_{fe}+1) \times R_e$

$\wedge \begin{cases} R_{bb} = R_{b1} // R_{b2} \\ V_{bb} = \dfrac{V_{cc}}{R_{b1}+R_{b2}} \times R_{b2} \end{cases}$

NOTA

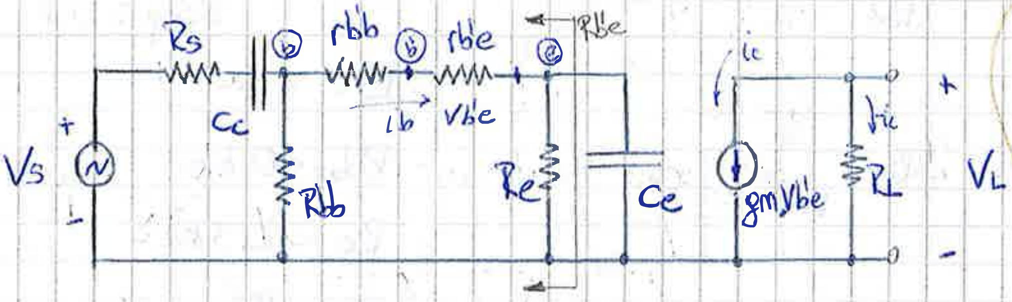
$V_{bb} = V_{be} + I_b \times (R_{bb} + (h_{fe}+1) \times R_e)$ $\wedge$ $I_b = I_{bq} = \frac{I_{cq}}{h_{fe(\beta)}} = \frac{2{,}5\,mA}{40}$

$V_{bb} = 0{,}7V + 62{,}5\,\mu A\,(10K + (40+1) \times 0{,}3K)$

• $V_{bb} = 2{,}093\ V$

• $I_{bq} = 62{,}5\ \mu A$

Modelo en Baja Frec.



$\left\{ X_{ce}\Big|_{\omega = \frac{\omega_L}{10}} \gg R_e \right\}$

• Tomamos ω'_{ce} como polo dominante $\therefore$ $\omega_{cc} \doteq \frac{\omega_{ce}}{10}$ ✓

$\rightarrow$ $\omega_{ce} = \frac{1}{R_{b'e(ce)} \times C_e}$ $\therefore$ $C_e = \frac{1}{R_{b'e} \times \omega_{ce}}$

$\hookrightarrow R_{b'e} = R_e \,//\, \left\{ \frac{r_{b'e} + r_{bb'} + [R_{bb} // R_s]}{(h_{fe}+1)} \right\}$ $\wedge$ $r_{b'e} = \frac{V_T}{I_{cq}} \times h_{fe} = \frac{25{,}7}{2{,}5\,mV} \times 40$

(se cortocircuita C_c)

• $r_{b'e} = 411{,}2\ \Omega$ ✓

$R_{b'e} = 300 \,//\, \left\{ \frac{411{,}2 + 100 + [10K // 1K]}{40} \right\} = 300 // 35{,}5$

• $R_{b'e} = 31{,}75\ \Omega$ ✓ $\wedge$ • $\omega_{ce} = 2\pi \times f_L = 2\pi \times 20 = 125{,}66\ [r/s]$ ✓

Así: • $C_e = \frac{1}{R_{b'e} \times \omega_{ce}} \Rightarrow \frac{1}{31{,}75\,\Omega \times 125{,}66\ r/s} \Rightarrow 250{,}64\ \mu f$ ✓

$\rightarrow$ $\omega_{cc} = \frac{\omega_{ce}}{10} = \frac{1}{R_{b'e(c)} \times C_c}$ $\therefore$ $C_c = \frac{10}{R_{b'e(c)} \times \omega_{ce}}$

$\hookrightarrow R_{b'e(c)} = R_s + \{ R_{bb} \,//\, [r_{bb'} + r_{b'e} + R_e \times (h_{fe}+1)] \}$

$R_{b'e(c)} = 1K + \{ 10K \,//\, [100 + 411{,}2 + 300 \times (41)] \}$

• $R_{b'e(c)} = 6{,}616\ K\Omega$

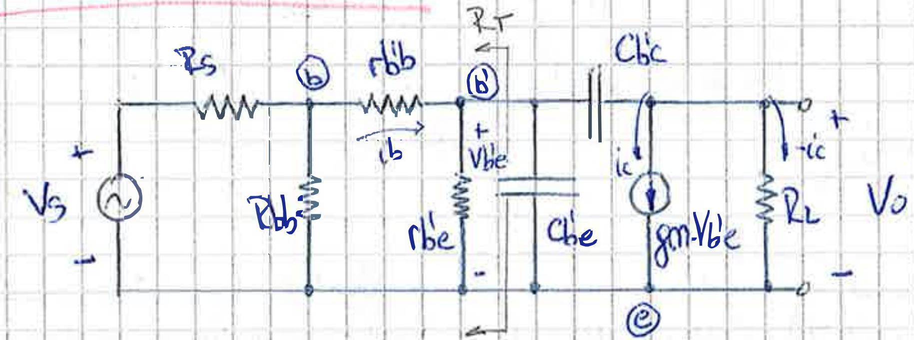
$C_c = \frac{10}{6{,}6K\Omega \times 125{,}6\ 1/s}$

• $C_c = 12{,}028\ \mu f$

En el apunte No refleja R_e... ?

NOTA

Modelo en Alta Frec. :



RL: Con el modelo de 1polo y el dato de la W_H !

$\rightarrow W_H = \dfrac{1}{R_T \times C_T}$ $\wedge$ $\begin{cases} C_T = Cb'e + Cb'c\,(1 + gm \times R_L) \\ R_T = rb'e \,//\, \{ rb'b + [Rbb \,//\, Rs] \} \end{cases}$

$C_T \Rightarrow Cb'c + Cb'c(1 + gm.R_L) = \dfrac{1}{R_T \times W_H}$

$(1 + gm R_L) = \left(\dfrac{1}{R_T . W_H} - Cb'e \right) \times \dfrac{1}{Cb'c}$

$R_L \left\{ \left[\left(\dfrac{1}{R_T W_H} - Cb'e \right) . \dfrac{1}{Cb'c} \right] - 1 \right\} . \dfrac{1}{gm}$

$R_L \left\{ \left[\left(\dfrac{1}{300 \times 125K} - 72pf \right) . \dfrac{1}{5pf} \right] - 1 \right\} \times \dfrac{1}{0{,}1\mho}$

- $R_L = 54{,}33\,K\Omega$ ✓

$\wedge$ • $W_H = 2\pi f_H = 2\pi \times 20KHz \Rightarrow 125{,}66 \times 10^3 [r/s]$

$R_T = 411{,}2\,\Omega \,//\, \{ 100\Omega + [10K \,//\, 1K] \} = 411{,}2 \,//\, 1K$

- $R_T = 292{,}1\,\Omega$ ✓

$\rightarrow C_\pi = \dfrac{gm}{W_T} - C_\mu$ $\wedge$ $gm = \dfrac{I_{CQ}}{V_T} = \dfrac{2{,}5mA}{25{,}7mV}$

$\underset{(cb'e)}{C_\pi} = \dfrac{0{,}1}{2\pi \times 200MHz} - \underset{(cb'c)}{5\,pf}$

- $gm = 97{,}27\,[\mho]$

- $Cb'e = 72{,}41\,pf$ ✓

$\rightarrow V_{CC} = I_{CQ} \times R_L + V_{CEQ} + (I_{CQ} + I_{BQ}) \times Re \Rightarrow 2{,}5mA \times 54{,}3K + 5v + (2{,}5mA + 67{,}5\mu A)\,300\Omega$

$V_{CC} = 135{,}83v + 5v + 0{,}768$ V ✓

- $V_{CC} = 141{,}6$ V ✓

B) Para $R_L' = 2.R_L$; ΔB y ΔV_m :

$$\Delta v_m = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_{b'e}} * \frac{V_{b'e}}{V_s}$$

Para simplificar la sintaxis habría que llamar directamente $h_{ie} = r_{bb'} + r_{b'e}$

$\rightarrow V_o = -g_m \times V_{b'e} \times R_L \therefore \frac{V_o}{V_{b'e}} = -g_m \times R_L$

$$\rightarrow V_{b'e} = \left\{ \left[\left(\frac{V_s}{R_s + \{R_{bb} // [r_{b'b} + r_{b'e}]\}} \right)_{i_s} \times \{R_b // [r_{b'b} + r_{b'e}]\} \right]_{V_b} \times \frac{1}{[r_{b'b} + r_{b'e}]} \right\}_{i_b} \times r_{b'e}$$ ✓

$$\frac{V_{b'e}}{V_s} = \frac{R_b \times r_{b'e}}{(R_s + \{R_{bb} // [r_{b'b} + r_{b'e}]\}) \times \{R_{bb} + [r_{b'b} + r_{b'e}]\}} = \frac{R_b \times r_{b'e}}{R_s\{R_{bb} + [r_{b'b} + r_{b'e}]\} + R_{bb} \times [r_{b'b} + r_{b'e}]}$$

$$\Delta v_m = \frac{-g_m \times R_L \times R_{bb} \times r_{b'e}}{R_s\{R_{bb} + [r_{b'b} + r_{b'e}]\} + R_{bb} \times [r_{b'b} + r_{b'e}]}$$

$$\bullet\ \Delta v_m \Big|_{2R_L} = \frac{0{,}1 \times \overbrace{2 \times 55\,K\Omega}^{2R_L} \times 400\,\Omega \times 10K}{1K\{10K + 500\,\Omega\} + 10K \times [500]} \Rightarrow 2.830{,}0$$

$$\rightarrow \omega_H = \frac{1}{R_T \times C_T} \quad \wedge \quad \begin{cases} R_T \neq f(R_L) \therefore \text{permanece invariante} \\ C_T = C_{b'e} + C_{b'c}(1 + g_m \times R_L) = f(R_L) \text{ ! Cambia} \\ C_T = 72{,}41\,pf + 5\,pf(1 + \underbrace{0{,}097 \times 2 \times 54{,}3\,K\Omega}_{52\,nf}) \\ \bullet\ C_T\big|_{2R_L} = 52{,}77\,nf \end{cases}$$ ✓

$$\omega_H = \frac{1}{292{,}1\,\Omega \times 52{,}7\,nf}$$

$\bullet\ \omega_H = 64{,}86\ K\ r/s$ ✓

$\bullet\ f_H = \frac{\omega_H}{2\pi} = 10{,}32\ K_{Hz}$ ✓

Nuevo $\bullet\ \Delta B = f_H - \underbrace{f_L}_{\text{No varía con } R_L} = 10{,}32\,K_{Hz} - 20_{Hz} \Rightarrow 10{,}3\ K_{Hz}$

c) Con ~~RL~~ ; $f_H = 100\,M_{Hz}$? $\quad \omega_H = 1/R_T.C_T \ \wedge\ C_T = C_{b'e} + C_{b'c}(1 + g_m.R_L)$

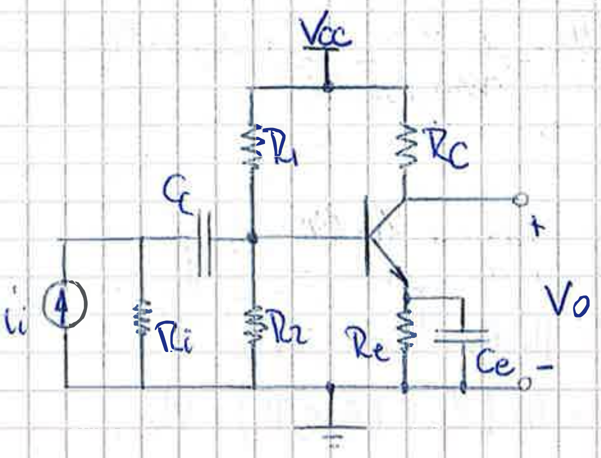
$$\bullet\ R_L = \left\{ \left[\left(\frac{1}{R_T\,\omega_H} - C_{b'e} \right) \times \frac{1}{C_{b'c}} \right] - 1 \right\} \cdot \frac{1}{g_m} \Rightarrow \left\{ \left[\left(\underbrace{\frac{1}{300 \times 2\pi \times 100\,MHz}}_{5{,}3\,pf} - 72\,pf \right) \times \frac{1}{5\,pf} \right] - 1 \right\} \times \frac{1}{0{,}1} \Rightarrow$$

La resta da (−) ! ∴ No existe una R_L tal que $f_H \Rightarrow 100\,MHz$.

Con $R_L = \emptyset\ \Omega$ se da el mayor ΔB

$$\bullet\ f_H\Big|_{R_L=0}^{(máx)} = \frac{1}{2\pi} \times \frac{1}{R_T \times C_T'\big|_{R_L=0}} \Rightarrow \frac{1}{2\pi \times 300 \times 77\,pf} \Rightarrow 6{,}89\,M_{Hz}$$

EJ. Nº 37 : Resp. en Frec. no realim.



Datos:

- $R_C = 1K$; $R_e = 1K$
- $V_{CC} = 20V$
- $R_i = 100K$
- $h_{fe} = 50$

Calcular: → R_1 y R_2 p/ MES

→ C_e y C_c p/ $\omega_L = 10$ r/s

Desarrollo:

→ P/ MES : $I_{cq} = \dfrac{V_{CC}}{R_{CC} + R_{CA}}$ ^ $\begin{cases} R_{CC} = R_C + R_e \\ R_{CA} = R_C \end{cases}$

- $I_{cq} = \dfrac{20}{2 \times 1K + 1K} \Rightarrow \boxed{6{,}666 [mA]}$

→ $V_{CC} = I_{cq} \times R_C + V_{CEq} + (I_{cq} + I_{bq}) \cdot R_e$ ^ $I_{cq} \cong I_{eq}$

$V_{ceq} = V_{CC} - I_{cq}(R_C + R_e)$

$V_{ceq} = 20 - 6{,}66 mA \times (1K + 1K)$

- $V_{ceq} = \boxed{6{,}66 [V]}$

Rbb : Puede calcularse por dos caminos distintos. Uno favorece al criterio del divisor de tensión constante ① y el otro a la estabilidad ②

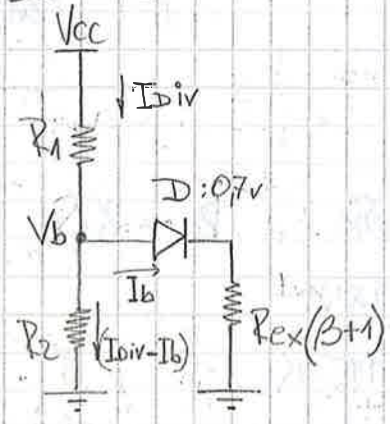
① $I_{DIV} \gg 20 \times I_{bq}$; adoptamos → $\boxed{I_{DIV} = 20\, I_{bq}}$

- $I_{bq} = I_{cq}/\beta = 6{,}666 [mA] / 50 \Rightarrow \boxed{133{,}32 \mu A}$

- $I_{DIV\,(R_1 y R_2)} = 20 \times I_{bq} = 20 \times 133{,}32 \mu A = \boxed{2{,}666 [mA]}$

NOTA

Circ. equivalentes



- $R_1 = \dfrac{V_{cc} - V_b}{I_{DIV}} = \dfrac{20 - 7{,}5v}{2{,}666 mA} \Rightarrow \underline{4{,}689\ [K\Omega]}$

- $R_2 = \dfrac{V_b}{(I_{DIV} - I_b)} = \dfrac{7{,}5v}{(2{,}666 mA - 133{,}32 \mu A)} \Rightarrow \underline{2{,}961\ [K\Omega]}$

- $R_{bb} = R_1 // R_2 \Rightarrow \underline{1{,}815\ K}$

$V_b = V_{D(be)} + I_b \times (\beta+1) \times R_e$

$V_b = 0{,}7v + 133{,}32 \mu A \times 51 \times 1K$

- $\underline{V_b = 7{,}5v}$

- $V_{bb} = I_b \times R_b + V_{be} + I_e \times R_e$

  $\hookrightarrow = I_b \left(R_b + (\beta+1) R_e\right) + V_{be}$

  $\hookrightarrow = 133{,}32 \mu A \left(1{,}81K + 51K\right) + 0{,}7v$

  $\hookrightarrow \Rightarrow \underline{7{,}741\ v}$

② Por estabilidad:

$i_c = i_b \times \beta \quad \wedge \quad i_b:$

$V_{bb} = i_b \times R_{bb} + V_{be} + i_e \times R_e$

$V_{bb} = i_b \times R_{bb} + V_{be} + i_b (\beta+1) \times R_e$

$V_{bb} = i_b \left(R_{bb} + (\beta+1) R_e \right) + V_{be}$

$$\frac{V_{bb} - V_{be}}{R_{bb} + (\beta+1) R_e} \Rightarrow i_b$$

$$i_c = \left[\frac{V_{bb} - V_{be}}{R_{bb} + (\beta+1) R_e}\right] \times \beta$$

$$i_c = \frac{V_{bb} - V_{be}}{\frac{R_{bb}}{\beta} + \left(\frac{\beta+1}{\beta}\right) \times R_e} \quad \wedge \quad \text{si } \beta \geq 40, \ \frac{\beta+1}{\beta} \cong 1$$

Así:
$$\boxed{i_c = \frac{V_{bb} - V_{be}}{\frac{R_{bb}}{\beta} + R_e}}$$

* Deducimos que mientras más chica R_{bb} y más grande R_e menos influencia tiene la variación de β a i_c!

→ Conceptualmente es un amplific. de transconductancia (visto desde realimentación), pero se ve estabilizado en su func. de transp. de corriente.

NOTA

→ Si hacemos $R_{bb} \ll (\beta+1)R_e$, $i_c \cong \dfrac{V_{bb}-V_{be}}{\cancel{(\beta+1)}R_e} \times \cancel{\beta}$ ∧ $\left(\dfrac{\beta+1}{\beta}\right)^{-1} \cong 1$

→ i_c NO depende más de "β"

$$\boxed{i_c \cong \frac{V_{bb}-V_{be}}{R_e}}$$

Se adopta $*$ $R_{bb} \cong \dfrac{\beta_M \cdot R_e}{10}$

En ésta fórmula converge una solución de compromiso entre estabilidad y polarización.

Los límites están entre $\dfrac{\beta_{min} \times R_e}{100} \leqslant R_{bb} \leqslant \dfrac{\beta_{máx} \times R_e}{10}$ → − estable

+ estable ∧ $\beta_M = \sqrt{\beta_{min} \times \beta_{máx}}$

- $R_{bb} = \dfrac{\beta \cdot R_e}{10} \Rightarrow \dfrac{5\cancel{0} \times 1K}{1\cancel{0}} = 5\,K\Omega$
- $V_{bb} = i_b(R_{bb} + \beta R_e) + V_{be} = 133{,}32\,\mu A\,(5K + 50K) + 0{,}7 \Rightarrow 8{,}03\,V$

Por thevenin:

$R_{Th} = R_{bb} = \dfrac{R_{b1} \times R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}}$ corroboración: $12{,}45K // 8{,}35K \Rightarrow 5\,K\Omega$ ✓

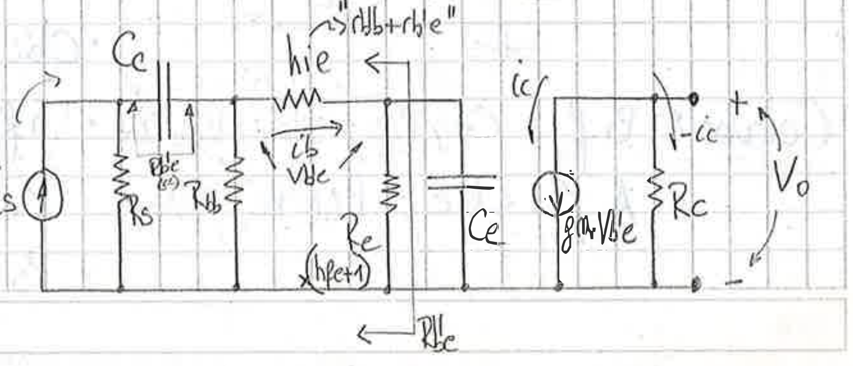
$V_{th} = \dfrac{V_{cc}}{R_{b1} + R_{b2}} \times R_{b2} = V_{bb}$, $V_{bb} \times R_1 = V_{cc} \times \left(\dfrac{R_2 \cdot R_1}{R_2 + R_1}\right) = V_{cc} \cdot R_{bb}$

∴ $R_1 = \dfrac{R_{bb}}{\left(\dfrac{V_{bb}}{V_{cc}}\right)} \Rightarrow \dfrac{5K}{\left(\dfrac{8{,}03}{20}\right)} = 12{,}45\,K\Omega$

∧ $\dfrac{(V_{cc} - V_{bb})}{R_1} = \dfrac{V_{bb}}{R_2}$

$R_2 = \dfrac{V_{bb}}{(V_{cc} - V_{bb})} \times \dfrac{R_{bb}}{\left(\dfrac{V_{bb}}{V_{cc}}\right)}$ ∴ $R_2 = \dfrac{R_{bb}}{\left(1 - \dfrac{V_{bb}}{V_{cc}}\right)} = \dfrac{5K}{\left(1 - \dfrac{8{,}03}{20}\right)} = 8{,}35\,K\Omega$

Circuito ap. p/ baja frec:



* Estremecimiento metafísico: somos chiquitos, el universo es enorme. Nos hacemos cargo de nosotros mismos...

Cálculo de Cc y Ce p' $W_L = 10\ r/s$: (utilizado $R_{bb} = 5K\Omega$ ②)

↳ Generará el polo dominante.

$$W_{ce} = \frac{1}{Rb'e_{(ce)} \times Ce} \therefore Ce = \frac{1}{Rb'e_{(ce)} \times W_{ce}} \wedge W_{ce} = W_L = 10\ r/s$$

{p' $W_{ce} = W_L$; $X_{cc} \cong \emptyset \Omega$}

$$Rb'e = Re // \left\{ \frac{hie + [Rs // Rbb]}{hfe+1} \right\}$$

$$\therefore Ce = \frac{1}{90{,}16\Omega \times 10 r/s} \Rightarrow 1109 [\mu f]$$ ✓

$$hie \cong \frac{V_T}{I_{cq}} \times hfe = \frac{25{,}7mV}{6{,}666mA} \times 50$$

• $hie \cong 192{,}77\ \Omega$ ✓

$$Rb'e = 1K // \left\{ \frac{192{,}77\Omega + [\overbrace{100K // 5K}^{4{,}76K}]}{50} \right\}_{sp}$$

• $Rb'e = 90{,}16\ \Omega$ ✓

$$W_{cc} = \frac{W_{ce}}{10} ; \quad W_{cc} = \frac{1}{Rb'e_{(cc)} \times Cc} = \frac{W_{ce}}{10}$$

$$\therefore Cc = \frac{10}{Rb'e_{(cc)} \times W_{ce}}$$

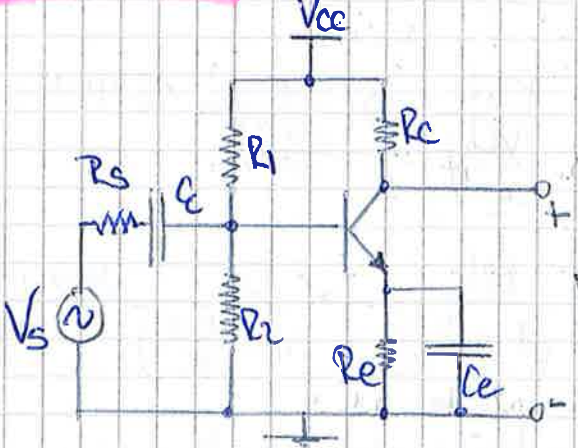
$$\wedge\ Rb'e_{(cc)} = Rs + \{ Rbb // [hie + (Re \times hfe)] \}$$

$$Rb'e_{(cc)} = 100K + \underbrace{\{ 5K // [90{,}16\Omega + 50 \times 1K] \}}_{4{,}54K} \Rightarrow 104{,}5K\Omega$$

• $Cc = \frac{10}{104{,}54K \times 10} = 9{,}56 [\mu f]$ ✓

o

EJ. Nº 38: Resp. frec. de ampl. no realim.



Datos:

- $f_L = 50 Hz$; $f_H = 1MHz$
- $I_{cq} = 2{,}5\ mA$; $V_{ceq} = 5v$
- $f_T = 200\ MHz$
- $r_{b'b} = 0{,}1K$
- $C_{b'c} = 5pf$
- $hfe = 40$
- $Re = 1K$
- $Rs = 1K$

Calcular: B.f: Ce; Cc; gm; Vbb; Rbb
A.f: Cb'e; RL(=Rc); Vcc; R1; R2

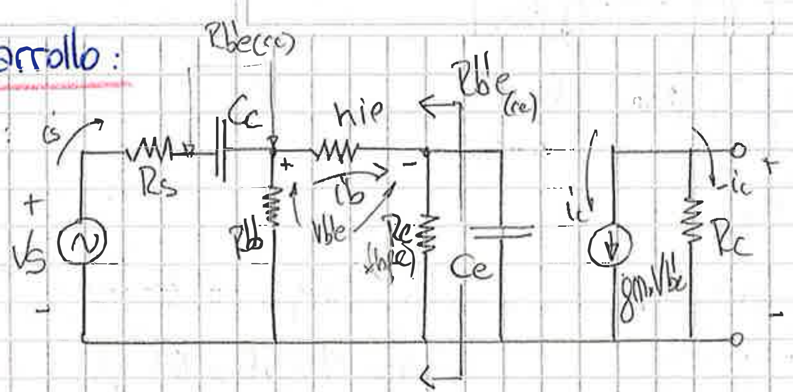
NOTA

HOJA N° 56

FECHA 03/07/2010

Desarrollo:

B.f.:



- $W_{ce} = W_L = 2\pi \times f_L = 2\pi \times 50\,Hz \Rightarrow 314,16\ r/s$

- $Rbb = \frac{\beta Rc}{10} = \frac{40 \times 1K}{10} \Rightarrow 4K\Omega$
- $rb'e = \frac{V_T}{Icq} \times hfe = 411,2\,\Omega$
- $hie = rb'e + rb'b = 411,2 + 100 = 511,2\,\Omega$

$\wedge\ W_{ce} = \frac{1}{Rb'e \times Ce} \therefore Ce = \frac{1}{Rb'e \times W_{ce}}$

$\wedge\ Rb'e_{(ce)} = Re // \left\{ \frac{hie + (Rbb // Rs)}{hfe+1} \right\}$

$Rb'e = 1K // \left\{ \frac{511,2\,\Omega + (4K\Omega // 1K\Omega)}{40} \right\}$

- $Rb'e = 31,74\,\Omega$

$\therefore Ce = \frac{1}{31,74\,\Omega \times 314,16\ r/s}$

- $Ce = 100,28\,[\mu f]$ ✓

- $W_{cc} = \frac{W_{ce}}{10} \Rightarrow \frac{314,16\ r/s}{10} \Rightarrow 31,416\ r/s$

$\wedge\ W_{cc} = \frac{1}{Rb'e_{(cc)} \times Cc} \therefore Cc = \frac{1}{Rb'e_{(cc)} \times W_{cc}}$

$\wedge\ Rb'e_{(cc)} = Rs + \{ Rbb // [hie + Re \times (hfe+1)] \}$

$Rb'e_{(cc)} = 1K + \{ 4K // [511,2 + 1K \times 41] \}$

- $Rb'e_{(cc)} = 4,648\ K\Omega$ ✓

$Cc = \frac{1}{4,648\,K\Omega \times 31,416\ r/s}$

- $Cc = 6,847\,[\mu f]$ ✓

$\rightarrow Vbb = Ib \times Rbb + Vbe + Ie \times Re \Rightarrow Ib(Rbb + (hfe+1) \times Re) + Vbe$

$Vbb = 62,5\,\mu A (1K + 41 \times 1K) + 0,7$

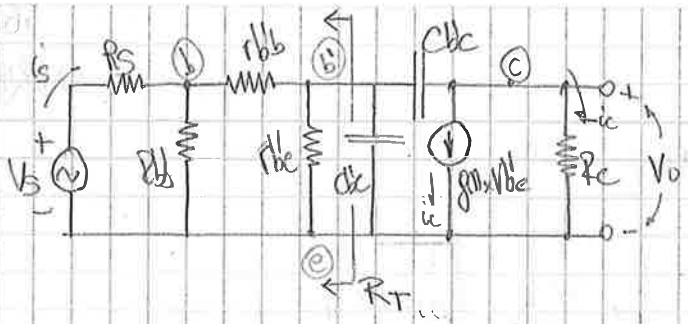
$\wedge$ • $Ib_q = \frac{Icq}{hfe} = \frac{2,5\,mA}{40} = 62,5\,[\mu A]$

- $Vbb = 3,32\,[v]$ ✓

- $gm \Rightarrow \frac{1}{r'e} = \frac{1}{(r_\pi / hfe)} = \frac{1}{(rb'e / hfe)} = \frac{hfe}{rb'e} = \frac{Icq}{V_T} = \frac{2,5\,mA}{25,7\,mV} \Rightarrow 97,27 \times 10^{-3}\ \mho$ ✓

NOTA

Δ.f:



$\rightarrow\ \omega_T = \frac{1}{r_{b'e}(C_{b'e}+C_{b'c})} = \frac{g_m}{(C_{b'e}+C_{b'c})}$ ∧ $\omega_T = 2\pi f_T = 2\pi\times 200\,MHz$

$\omega_T = 1{,}256\times10^{9}\ r/s$

$C_{b'e}+C_{b'c} = \frac{g_m}{\omega_T}$

∧ $C_{b'e} = \frac{g_m}{\omega_T} - C_{b'c} \Rightarrow \frac{97{,}27\times10^{-3}\,\mho}{1{,}256\times10^{9}\,r/s} - 5pf \Rightarrow 77{,}41pf - 5pf$

• $\boxed{C_{b'e} = 72{,}41\,[pf]}$ ✓

$\rightarrow\ \omega_H = \frac{1}{R_T\cdot C_T}$ ∧ $C_T = C_{b'e} + C_{b'c}\times(1+g_m\times R_L)$

• $\omega_H = 2\pi f_H = 2\pi\times 1MHz \Rightarrow \boxed{6{,}283\ Mr/s}$

$C_T = C_{b'e} + C_{b'c}(1+g_m\cdot R_L) = \frac{1}{R_T\cdot\omega_H}$

$1+g_m R_L = \left(\frac{1}{R_T\cdot\omega_H} - C_{b'e}\right)\frac{1}{C_{b'c}}$

$R_L = \left\{\left[\left(\frac{1}{R_T\cdot\omega_H} - C_{b'e}\right)\times\frac{1}{C_{b'c}}\right]-1\right\}\times\frac{1}{g_m}$ ∧ $R_T = r_{b'e}//\{r_{bb'}+[R_{bb}//R_S]\}$

$R_L = \left\{\left[\left(\frac{1}{282{,}2\Omega\times 6{,}283\,Mr/s} - 72{,}41pf\right)\times\frac{1}{5pf}\right]-1\right\}\times\frac{1}{97{,}27\,m\mho}$

$R_T = 411{,}2\ //\{100+[4K//1K]\}$

• $\boxed{R_T = 282{,}2\,\Omega}$ ✓

• $\boxed{R_L = 1\ K\Omega}$ ✓

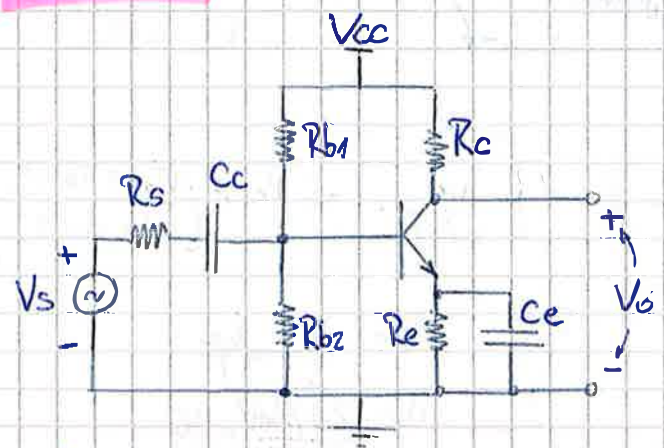
$V_{cc} = I_c\cdot R_c + V_{ce} + I_e\cdot R_e = I_c(R_c+R_e)+V_{ce}$

$V_{cc} = 2{,}5mA\times(1K\Omega+1K\Omega)+5V$

$\boxed{V_{cc} = 10\,V}$

NOTA

Ej. N° 39: Resp. frec. amp. no realim.



Datos:

- $Rc = 1{,}5\,K\Omega$
- $Re = 1\,K\Omega$
- $Vcc = 15\,v$
- $hfe = 40$; $fT = 200\,MHz$
- $Cb'c = 5\,pf$; $r_{bb'} = 30\,\Omega$

Calcular:

1) R_1 y R_2 p/ MES
2) Cc y Ce p/ $f_L = 20\,Hz$
3) F_H

Desarrollo:

1) Tomando $\bullet\, R_{bb} = \dfrac{\beta \times Re}{10} = \dfrac{40 \times 1K\Omega}{10} = 4K\Omega$

$\bullet\, I_{cq} = \dfrac{Vcc}{Rcc + Rca} = \dfrac{Vcc}{(Rc+Re)+Rc} = \dfrac{Vcc}{2Rc+Re} = \dfrac{15v}{2\times 1{,}5K + 1K} = 3{,}75\,mA$

$\bullet\, I_{bq} = \dfrac{I_{cq}}{\beta} = \dfrac{3{,}75\,mA}{40} = 93{,}75\,\mu A$

$\therefore\, V_{bb} = R_{bb}.I_b + V_{be} + Re.I_e = I_{bq}(R_{bb} + (hfe+1)Re) + V_{be}$

$\bullet\, V_{bb} = 93{,}75\,\mu A\,(4K + 41 \times 1K) + 0{,}7v = 4{,}918\,[V]$

$\bullet\, R_1 = \dfrac{R_{bb}}{\left(\frac{V_{bb}}{Vcc}\right)} = \dfrac{4K}{\left(\frac{4{,}918}{15}\right)} = 12{,}198\,K\Omega$

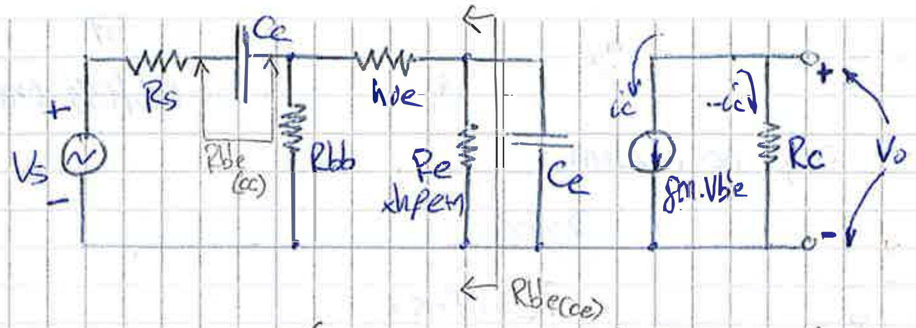
$\bullet\, R_2 = \dfrac{R_{bb}}{1 - \left(\frac{V_{bb}}{Vcc}\right)} = \dfrac{4K}{1 - \left(\frac{4{,}9V}{15V}\right)} = 5{,}951\,K\Omega$

Corroboración:
$R_{bb} = R_1 // R_2 \Rightarrow 4K\Omega$ ✓
$V_{bb} = \dfrac{Vcc}{R_1 + R_2} \times R_2 \Rightarrow 4{,}91\,v$ ✓

2) $W_L = 2\pi \times f_L = 2\pi \times 20\,Hz$; $\bullet\, W_L = 125{,}66\,[r/s]$

$W_{ce} = W_L \Rightarrow \dfrac{1}{R_{bb'e} \times Ce}\;[r/s]$

NOTA



{Suponemos W_{ce} Dominante} $\wedge$ $R_s = \varnothing \Omega$

$$Rb'e_{(ce)} \Rightarrow Re // \left\{\frac{hie + (Rbb // Rs)}{hfe+1}\right\} = Re // \left\{\frac{hie}{hfe+1}\right\} \Rightarrow Re // \left\{\frac{(rb'b + rb'e)}{(hfe+1)}\right\}$$

$$Rb'e_{(ce)} \Rightarrow 1K // \left\{\frac{30\Omega + 274{,}13}{40+1}\right\}$$

$$rb'e = \frac{V_T}{I_{cq}} \times hfe$$

$$rb'e = \frac{25{,}7mV}{3{,}75mA} \times 40$$

- $Rb'e_{(ce)} \Rightarrow 7{,}362\ \Omega$
- $rb'e = 274{,}13\ \Omega$

$$Ce = \frac{1}{Rb'e_{(ce)} \times W_{ce}} = \frac{1}{7{,}632\Omega \times 125{,}66 r/s}$$

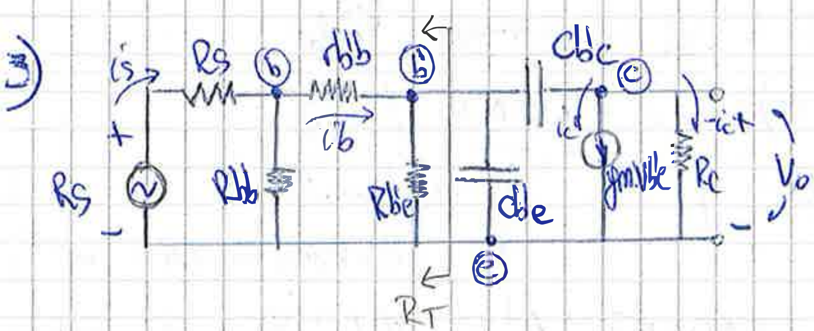
- $hie = 304{,}13\ \Omega$
- $Ce \Rightarrow 1080{,}7\ [\mu f]$
- $W_{cc} = \frac{W_{ce}}{10} = \frac{125{,}66 r/s}{10} = 12{,}566 r/s$

$$W_{cc} = \frac{1}{Rb'e_{(c)} \times Cc} \therefore Cc = \frac{1}{Rb'e_{(cc)} \times W_{cc}} \wedge Rb'e_{(cc)} = Rbb // \{hie + Re \times (hfe+1)\}$$

$$Rb'e_{(c)} = 4K\Omega // \{304{,}13 + 1K \times 41\}$$

- $Cc = \frac{1}{3{,}646K \times 12{,}56 r/s} \Rightarrow 21{,}82\ [\mu f]$
- $Rb'e_{(cc)} = 3{,}646\ K\Omega$

3)



$$R_T = rb'e // rbb \quad (Rs \to \varnothing\Omega)$$

$$R_T = 274{,}13 // 30$$

- $R_T = 27{,}04\ \Omega$

$$W_T = \frac{gm}{(Cb'e + Cb'c)} \wedge$$

- $gm = \frac{I_{cq}}{V_T} = \frac{375mA}{25{,}7mV} \Rightarrow 145{,}91 m℧$
- $W_T = 2\pi f_T = 2\pi \times 200MHz \Rightarrow 1{,}2566 \times 10^9 r/s$

$$\therefore \bullet\ Cb'e = \frac{gm}{W_T} - Cb'c = \frac{145{,}91 m℧}{1{,}2566 \times 10^9 r/s} - 5pf = 111{,}11\ [pf]$$

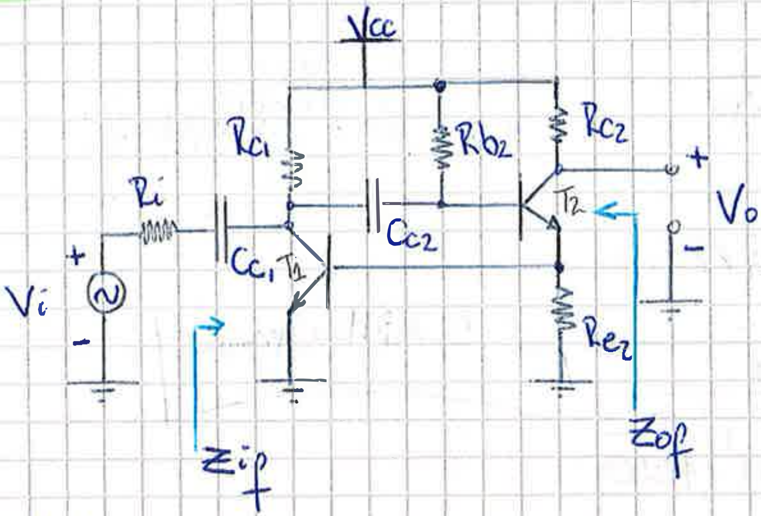
$$W_H = 1 / R_T \times C_T = 1 / (R_T \times [Cb'e + Cb'c(gm \times R_L + 1)]) = 1 / (27{,}04\Omega \times [111{,}11pf + 5pf(145{,}91m℧ \times 1K + 1)])$$

NOTA: • $W_H \Rightarrow 30{,}551\ [MHz]$

HOJA Nº 58

FECHA 06/07/2010

Ej. Nº 40: Realimentación



Datos:

- $h_{fe} = 50$ ✓
- $h_{ie} = 1K\Omega$ ✓ $\Rightarrow (h_{ie1} = h_{ie2})$
- $R_i = 0{,}1K$ ✓
- $R_{C1} = 15K$ ✓
- $R_{b2} = 2{,}7K$ ✓
- $R_{C2} = 2K$ ✓ ; $R_{e2} = 0{,}5K$ ✓
- $V_{cc} = 24V$

Calcular:

~~1) Polarización ; Parámetros~~

2) Δ_f ; Z_{if} ; Z_{of}. ✓

✓1) Topología realim. β ; Δ
✓2) Circ. equivalente
✓3) Red β
✓4) Z_i ; Z_o ; Δ
5) D ; Z_{if} ; Z_{of} ; Δ_f

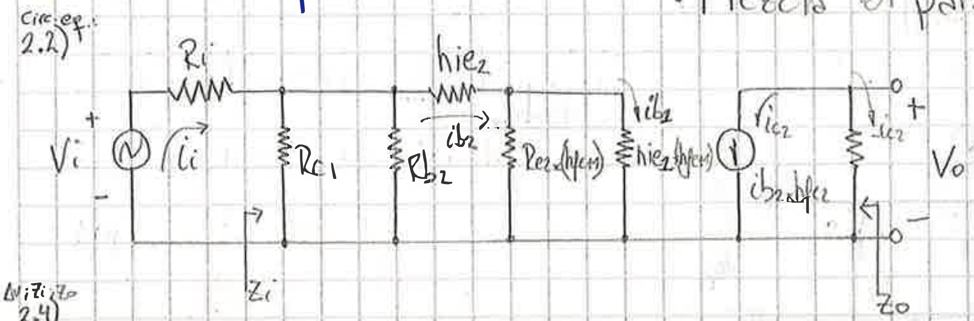
Desarrollo:

~~1)~~ 2) Circ. equivalente$_f$

Topología 2.1)
- Muestra de corriente
- Mezcla en paralelo

$\beta = \dfrac{I_f}{I_o}$ ∧ $\Delta_i = \dfrac{I_o}{I_i}$

Circ. eq. 2.2)



Para poder construir el circuito se hace de→ Entrada: $I_o = 0$; de→ Salida: $V_i = \emptyset$

⇓

Son conceptualizaciones!

$\Delta_i; Z_i; Z_o$ 2.4)

A lazo abierto:

$$Z_i = \left\{ R_{C1} \,//\, R_{b2} \,//\, \left(h_{ie2} + \left[R_{e2}(h_{fe}+1) \,//\, h_{ie2} \cdot (h_{fe}+1) \right] \right) \right\}$$

$$Z_i = \frac{1}{\left\{ \frac{1}{R_{C1}} + \frac{1}{R_{b2}} + \left[\frac{1}{h_{ie2} + \frac{1}{\left(\frac{1}{R_{e2} \cdot h_{fe}} + \frac{1}{h_{ie2} \cdot h_{fe}} \right)}} \right] \right\}} = \frac{1}{\frac{1}{15K} + \frac{1}{2{,}7K} + \frac{1}{1K + \frac{1}{\frac{1}{0{,}5K \cdot 50} + \frac{1}{1K \cdot 50}}}}$$

- $Z_i = 2{,}025\ K\Omega$
- $Z_o = R_{C2} = 2\ K\Omega$

NOTA

$$\Delta_i = \frac{i_o}{i_i} = \left(\frac{i_o}{i_{b2}}\right) \times \left(\frac{i_{b2}}{i_i}\right)$$

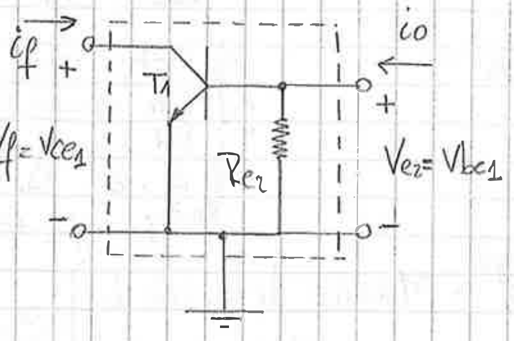
$$i_o = -i_{c_2} = -h_{fe} \times i_{b2} \quad \therefore \quad * \; \frac{i_o}{i_{b2}} = -h_{fe}$$

$$i_{b2} = (i_i \times Z_i) \times \frac{1}{h_{ie2} + R_{e2}(h_{fe}) \,//\, h_{ie1}(h_{fe})} \quad \therefore \quad * \; \frac{i_{b2}}{i_i} = \frac{Z_i}{h_{ie2} + R_{e2}(h_{fe}) \,//\, h_{ie1}(h_{fe})}$$

$$\Delta_i = (-h_{fe}) \times \left(\frac{Z_i}{h_{ie2} + (R_{e2}(h_{fe}) \,//\, h_{ie1}(h_{fe}))}\right)$$

- $$\Delta_i = -50 \times \frac{2.025\,\Omega}{1K\Omega + \dfrac{1}{\left(\dfrac{1}{0{,}5K \times 50}\right) + \left(\dfrac{1}{1K \times 50}\right)}} \Rightarrow 5{,}7311 \text{ [veces]}$$

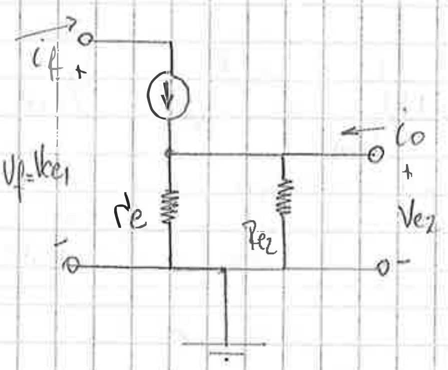
2.3) Red β:



$$\beta = \frac{i_f}{i_o}$$

Circ. equivalente

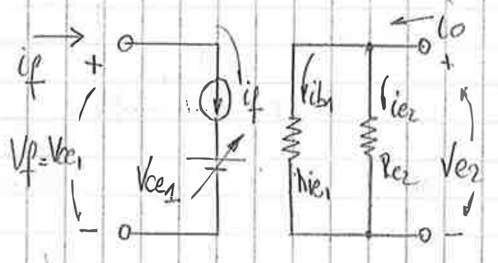
|||



Modelo T

|||

Modelo π



$$i_{b1} = \left[i_o \times (h_{ie1} \,//\, R_{e2})\right]^{V_{e2}} \Big/ h_{ie1}$$

$$\wedge \; i_f = h_{fe1} \times i_{b1}$$

$$i_f = h_{fe} \times \frac{i_o \times (h_{ie1} \,//\, R_{e2})}{h_{ie1}}$$

$$\therefore \; \beta = \frac{i_f}{i_o} = \frac{h_{fe} \times R_{e2}}{R_{e2} + h_{ie1}}$$

NOTA

• $\beta = \frac{i_f}{i_o} = \frac{50 \times 500}{500 + 1k} = \frac{25k}{1,5K} = 16,666$ ✓

5) • $D = 1 + \beta . \Delta i \Rightarrow 1 + 16,666 \times 5,731 \Rightarrow 96,518$ ✓

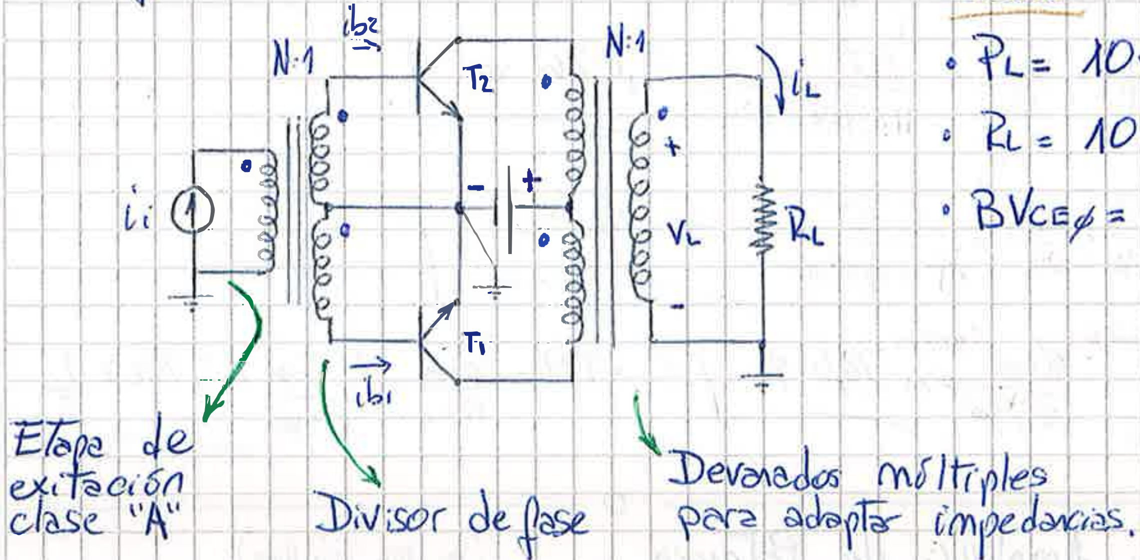
• $Z_{if} = \frac{Z_{if}}{D} = \frac{2025\Omega}{96,51} \Rightarrow 20,98\ \Omega$ ✓

• $Z_{of} = Z_{of} \times D = 2K\Omega \times 96,51 = 193,03\ K\Omega$ ✓

• $\Delta i_f = \frac{\Delta i_f}{D} = \frac{5,7311}{96,518} = 0,0594$

EJ. Nº 41 Amplific. de Potencia.

Amplific. Clase B "Push-Pull"



Datos
- $P_L = 10w$
- $R_L = 10\Omega$
- $BV_{CE\phi} = 40v$

Encontrar: $P_{C\,máx}$; V_{CC} ; N ; $P_{CC\,máx}$

Desarrollo:

→ $P_L = (V_{Lef})^2 / R_L = (I_{Lef})^2 \times R_L$ ∧ $V_{Lef} = \sqrt{P_L \times R_L}$

• $V_{Lef} = \sqrt{10w \times 10\Omega} = 10v$

→ $V_{Lef} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \hat{V}_L$ ∴ • $\hat{V}_L = \frac{2 V_{Lef}}{\sqrt{2}} = \frac{2 \times 10v}{\sqrt{2}} = 14,142\ v$

NOTA [Marco Alvarez Reyna UTN-FRC marcoalrey@gmail.com]

Suponiendo • $V_{CC} = BV_{CE\emptyset}/2 = 40V/2 = 20V$

$\wedge$ • $V_{CEsat} = \emptyset V$ (ideal)

$\rightarrow \frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = N$ / • $N = \frac{V_{CC}}{V_L} = \frac{20}{14{,}142V} = 1{,}41$

$\hookrightarrow V_P = V_{CC}$
$V_S = V_L$

Otro camino:

$P_{L_{máx}} \Rightarrow \frac{V_{CC}^2}{2 \cdot R'_L} \wedge \underset{(P)}{R'_L} = N^2 \cdot \underset{(S)}{R_L}$ $\left(N = \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \sqrt{\frac{R'_L}{R_L}} \right)$

$P_{L_{máx}} \Rightarrow \frac{V_{CC}^2}{2 \cdot (N^2 \cdot R_L)}$ / $N^2 = \frac{V_{CC}^2}{2 \cdot P_{Lm} \cdot R_L} \rightarrow N = \frac{V_{CC}}{\sqrt{2 \cdot P_{Lmáx} \cdot R_L}}$

• $N = \frac{20V \; (BV_{CE\emptyset}/2)}{\sqrt{2 \times 10W \times 10\Omega}} = \frac{20V}{14{,}142V} = 1{,}41$

$\rightarrow P_{C_{Máx}} = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{V_{CC}^2}{R'_L} = \frac{20^2}{\pi^2 \times (1{,}41)^2 \times 10\Omega} \Rightarrow 2{,}026 \; W$

$\rightarrow P_{CC_{Máx}} = \frac{2}{\pi} \times \frac{V_{CC}^2}{R'_L} = \frac{2 \times 20^2}{\pi \times (1{,}41)^2 \times 10} \Rightarrow 12{,}73 \; W$

• $\eta\% = \frac{P_{Lmáx}}{P_{CCmáx}} (\times 100\%) = \frac{10W}{12{,}73W} (100\%) \Rightarrow 78{,}5\%$ ✓ • $F.M. = \frac{P_{Cmáx}}{P_{Lmáx}} = \frac{2{,}026W}{10W} = 0{,}202 \cong \frac{1}{5}$ ✓

Ej. Nº 42: Amplific. de Potencia (Pag. 246 Schilling)

Amplific. clase B "Push-Pull"

Datos:
- $R_L = 10\Omega$
- $P_{C_{máx}} = 4W$
- $BV_{CE\emptyset} = 40V$
- $I_{C_{máx}} = 1A$

Datos nominales del transistor.

$\hookrightarrow$ Definitorio! (N)

Calcular:
- η ✓; F.M. ✓
- $P_{L_{máx}}$ ✓
- V_{CC} ✓
- N ✓
- Red de polarización.

NOTA

Consigna: Diseñar un ampl. clase B "Push-Pull" que proporcione potencia máxima sobre una carga de 10Ω.

Desarrollo:

$$\rightarrow V_{CC} = I_C \times R'_L + V_{CE} \quad , \quad V_{CE} = V_{CC} - I_C . R'_L \quad \wedge \quad I_C R'_L = -N . V_L = -V_{CC}$$

$$\hat{V}_{CE} = V_{CC} + V_{CC} = 2V_{CC}$$

$$\bullet\ V_{CC} = \frac{(\hat{V}_{CE} = BV_{CEO})}{2} \Rightarrow \frac{40v}{2v} = 20V$$

$$\rightarrow I_{C\,máx} = \frac{V_{CC}}{R'_L} = \frac{V_{CC}}{N^2 . R_L} \quad \therefore \bullet N = \sqrt{\frac{V_{CC}}{I_{C\,máx} . R_L}} = \sqrt{\frac{20}{1 \times 10}} = 1{,}41$$

$$\rightarrow \bullet R'_L = N^2 . R_L = 2 \times 10 = 20\,\Omega$$

$$\rightarrow \bullet P_{C\,máx} = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{V_{CC}^2}{R'_L} = \frac{20^2}{\pi^2\ 20\Omega} = 2{,}026\ W < P_{Cmáx(T)} = 4W$$

$$\rightarrow \bullet P_{L\,máx} = \frac{1}{2} \frac{V_{CC}^2}{R'_L} = \frac{20^2}{2 \times 20\Omega} = 10\ W$$

$$FM = \frac{P_C}{P_L} = \frac{1}{5} \quad \therefore \quad P_L \leq 5 \times P_C$$

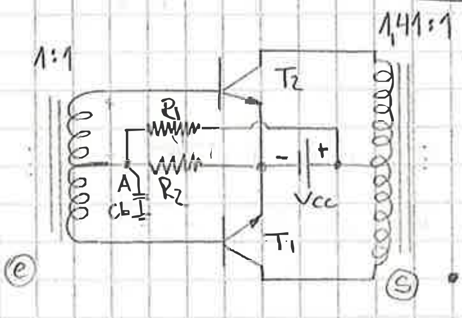
$$\rightarrow \bullet P_L \leq 5 \times 4W = 20W$$

$$\rightarrow \bullet \eta\% = \frac{P_{L\,máx}}{P_{CC\,máx}} \times 100\% = \frac{10\ W}{12{,}73\ W} \times 100\% = 78{,}5\ \%$$

$$\rightarrow \bullet P_{CC\,máx} = \frac{2}{\pi} \times \frac{V_{CC}^2}{R'_L} = \frac{2 \times (20v)^2}{\pi \times 20\Omega} = 12{,}73\ W$$

$$\rightarrow \bullet FM = \frac{P_{C\,máx}}{P_{L\,máx}} \Rightarrow \frac{2{,}026\ W}{10\ W} = 0{,}202 \cong \frac{1}{5}$$

Red de polarización (AB):



En A: $V_A \cong 0{,}65v$ (prepolarización de T_1 y T_2)

$$V_A = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \times R_2 \quad ; \quad \left(\frac{R_1}{R_2} + 1\right) = \frac{V_{CC}}{V_A}$$

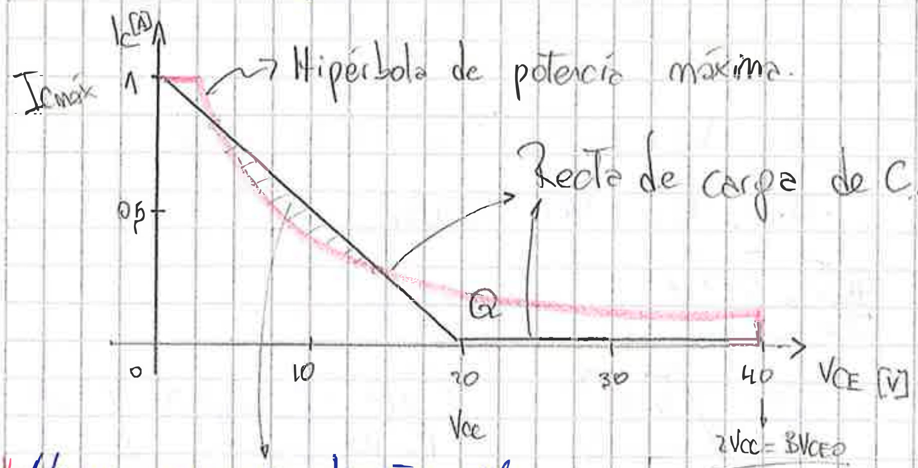
$$\bullet\ \frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{V_{CC}}{V_A} - 1\right) = \frac{20v}{0{,}65} - 1 = 29{,}77$$

P.ej: $\{ R_2 = 1K\,\Omega \ ; \ R_1 = 29{,}77\,K\Omega \}$

→ o en paralelo con?

En vez de R_2 suele agregarse un diodo de silicio para enclavar $V_{be(T_1,T_2)} \approx 0{,}65 - 0{,}7\,v$; (debido a V_{cc})

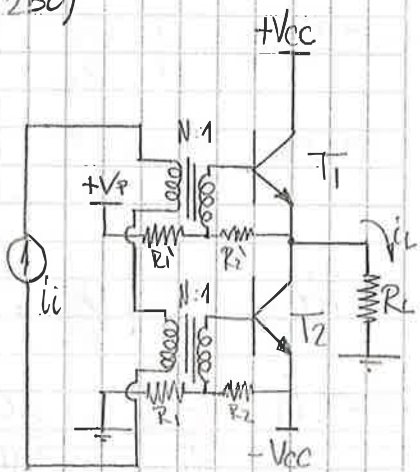
Recta de carga: p/ 1 Transistor!



*No es necesario diseñar el amp. para que la hiperb. de potencia máxima sea Tangente a la recta de carga.

Ej. Nº43: Amplific. de Potencia. (Schilling pag. 250)

Amplif. clase B directamente acoplado:



Datos del Trans.:

- $P_{C\,máx}$: 4 W
- $I_{C\,máx}$: 1 A
- BV_{CEO}: 40 v

Carga:

- $R_L = 10\,\Omega$

Diseñar un ampl. clase B acoplado directamente que proporcione potencia máx. sobre una carga $R_L = 10\,\Omega$.

- $V_{L\,máx} = I_{C\,máx} \times R_L = 1\,A \times 10\,\Omega = 10\,v$ ∧ { Considerando una $V_{CE_{sat}} = 2\,v$ }

Hacemos $V_{cc} = V_{L\,máx} + V_{CE_{sat}} = 10\,v + 2\,v$

- $V_{cc} = 12\,v$

NOTA

- $P_{cc_{máx}} = \frac{2}{\pi} \times \frac{V_{cc}^2}{R_L} \Rightarrow \frac{2}{\pi} \times \frac{(10v)^2}{10\Omega} = 6{,}36\,w$
- $P_{L_{máx}} = \frac{1}{2} \frac{V_{cc}^2}{R_L} \Rightarrow \frac{(10v)^2}{2 \times 10\Omega} = 5\,w$
- $P_{C_{máx}} = \frac{1}{\pi^2} \frac{V_{cc}^2}{R_L} = \frac{(10v)^2}{\pi^2 \times 10\Omega} = 1{,}013\,w < 4\,w$
- $\eta\% = \frac{P_{L_{max}}}{P_{cc_{máx}}} \times 100\% = \frac{5w}{6{,}36w} \times 100\% = 78{,}5\,\%$
- $F.M = \frac{P_{C_{max}}}{P_{L_{máx}}} = \frac{1{,}013w}{5w} = 0{,}2026 \cong \frac{1}{5}$

Polarización:

T_1 $\quad V_{be_1} = \frac{V_P}{R_1' + R_2' + R_L} \times R_2' = 0{,}7v$ $\qquad$ Suponemos $V_P = 10V$

$V_{be_1} = \frac{V_P}{\frac{R_1'}{R_2'} + \left(\frac{R_2' + R_L}{R_2'}\right)}$, $\quad$ * Si $R_2' \gg R_L$; $\frac{R_2' + R_L}{R_2'} \cong 1$

$V_{be_1} = \frac{V_P}{\frac{R_1'}{R_2'} + 1} \rightarrow \frac{R_1'}{R_2'} = \frac{V_P}{V_{be_1}} - 1 = \frac{10v}{0{,}7v} - 1 = 13{,}28$

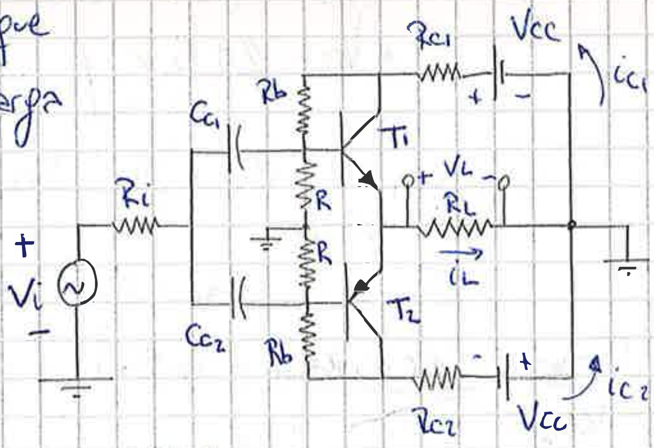
$\boxed{R_1' = 13{,}28 \times R_2'}$

Simpl.: $\left\{ V_{be} = \left(\frac{V_{cc}}{R_1 + R_2}\right) \times R_2 \right\}$

Ej. N°44 Amplific. de Potencia.

Amplif. de pot. clase B Simétrico Complementario.

* Hallar V_{cc} y la potencia máxima que puede suministrar a una carga de 10Ω (* y R_L: 4Ω)



Datos del Transistor:

- $P_{C,máx} = 4\,W$
- $BV_{CEO} = 40V$
- $i_{C,máx} = 1\,A$

$R_b \gg R$ (de 15 a 30 veces), $\quad R_{C1} = R_{C2} \Rightarrow 1\Omega$

NOTA * Recalcular $P_{C,máx}$ c/Transformador;

Desarrollo:

(T1) $V_{CC} = i_C \times R_{C1} + V_{CE} + i_C \cdot R_L$ ∧

$V_{CC} = i_C (R_{C1} + R_L) + V_{CE}$

$V_{CC} = i_{C,máx.} (R_{C1} + R_L) + V_{CE_{sat}}$

$V_{CC} = 1A (1\Omega + 10\Omega) + 2V$

• $V_{CC} = 13V$

* $V_{CE,sat} \Rightarrow 2V$
* Se calcula Vcc para que el Tr trabaje en corte y sat (lo menos posible en la z. activa)

• $P_{CC,máx.} \Rightarrow \frac{2}{\pi} \times \frac{V_{CC}^2}{R_L} \Rightarrow \frac{2 \times (13V)^2}{\pi \times 10\Omega} \Rightarrow 10,75\,W$

• $P_{L,máx.} \Rightarrow \frac{1}{2} \times \frac{V_{CC}^2}{R_L} \Rightarrow \frac{(13V)^2}{2 \times 10\Omega} \Rightarrow 8,45\,W$

• $P_{C,máx} \Rightarrow \frac{1}{\pi^2} \times \frac{V_{CC}^2}{R_L} \Rightarrow \frac{(13V)^2}{\pi^2 \times 10\Omega} \Rightarrow 1,71\,W$ $< 4W$ ✓

• $\eta\% = \frac{P_{L\,máx}}{P_{CC\,máx}} \times 100\% \Rightarrow \frac{8,45W}{10,75W} \times 100\% = 78,5\%$ ✓

• F.M.: $\frac{P_{C\,máx}}{P_{L\,máx}} = 0,202 \cong \frac{1}{5}$

C/transformador:

* Con T2 cerrado, $V_{CE1(máx)} = V_{CC} + V_{R'L}$ ∧ $V_{R'L} = V_{CC} - V_{CE_{sat}} - i_C\, R_{C2}$

$V_{CE1(máx)} = V_{CC} + (V_{CC} - V_{CE_{sat}} - i_{C2} \times R_{C2})$

$V_{CE1(máx)} = 2V_{CC} - V_{CE_{sat}} - i_{C2}\, R_{C2}$

$\therefore V_{CC} = (V_{CE1(máx)} + V_{CE_{sat}} + i_{C2}\, R_{C2}) \times 1/2$

$V_{CC} = (40V + 2V + 1A \times 1\Omega)/2 = 43V/2$

• $V_{CC} = 21,5V$

Corroboración: $V_{CE,1}\Big|_{T2(sat)} = V_{CC} + (V_{CC} - V_{CE2(sat)} - i_{C2}\, R_{C2})$

• $V_{CE1} = 2 \times 21,5V - 2V - 1A \times 1\Omega \Rightarrow 40V$

• $R'_L = \frac{V_{R'L\,máx}}{I_{C\,máx}} = \frac{(V_{CC} - V_{CE_{sat}} - i_C \cdot R_{C2})}{I_{C\,máx}} \Rightarrow \frac{21,5V - 2V - 1A \times 1\Omega}{1A}$

• $R'_L = 18,5\,\Omega$

NOTA

$\rightarrow R'L = N^2 . R_L$ ∴ • $N = \sqrt{\frac{R'L}{R_L}} = \sqrt{\frac{18{,}5}{10}} \Rightarrow 1{,}36$

Corroboración: $i_{c\,máx} = \frac{(V_{cc} - V_{CEsal} - i_{c\,máx} . R_{c1})}{R'L} \Rightarrow \frac{V_{cc} - V_{CEsal} - i_{c\,máx} . R_{c1}}{N^2 . R_L}$

∴

$$N = \sqrt{\frac{V_{cc} - V_{CEsal} - i_{c\,max} R_{c1}}{i_{c\,máx} . R_L}} = \sqrt{\frac{21{,}5v - 2v - 1A \times 1\Omega}{1A \times 10\Omega}}$$

• $N = 1{,}36$ ✓

$\rightarrow$ • $P_{cc,máx} \Rightarrow \frac{2}{\pi}\frac{V_{cc}^2}{R'L} = \frac{2 \times (21{,}5v)^2}{\pi \times 18{,}5\Omega} \Rightarrow 15{,}9\ w$

$\rightarrow$ • $P_{L,máx} \Rightarrow \frac{1}{2}\frac{V_{cc}^2}{R'L} = \frac{(21{,}5v)^2}{2 \times 18{,}5\Omega} \Rightarrow 12{,}49\ w$

$\rightarrow$ • $P_{c,máx} \Rightarrow \frac{1}{\pi^2} \times \frac{V_{cc}^2}{R'L} = \frac{(21{,}5v)^2}{\pi^2 \times 18{,}5\Omega} \Rightarrow 2{,}53\ w$

$\rightarrow$ • $\eta\% \Rightarrow \frac{P_{L,máx}}{P_{cc\,máx}} \times 100\% = \frac{12{,}49w}{15{,}9\ w} \times 100\% \Rightarrow 78{,}5\ w$ ✓

$\rightarrow$ • $F.M \Rightarrow \frac{P_{c,máx}}{P_{L,máx}} = \frac{2{,}53w}{12{,}49w} = 0{,}202 \cong \frac{1}{5}$ ✓

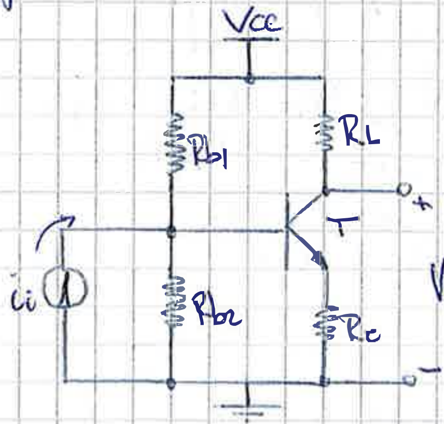
Conclusión: C/trasformador la potencia transferida a la carga es mayor, un 47% más. Tanto el rendimiento como el factor de merito permanecen constantes.

* EL agregar un trasf. de acopl. de salida permite Tener un R'L (aparente) más grande y por lo tanto una mayor caída de tensión $V_{R'L}$ con la misma $i_{c\,máx}$; aumentando el valor de la fuente Vcc, llevándola al límite donde $V_{CE} = < B_{Vceo}$.

∧ como: $\left\{ \begin{array}{l} V_s = \frac{V_p}{N}, \quad V_p = V_{R'L} = i_{c\,máx} \times R'L, \quad R'L = N^2 R_L, \left\{ \begin{array}{l} V_p \text{ aumenta con } N^2 \\ V_s \text{ disminuye con } N \end{array} \right. ! \\ I_s = N . I_p \ ; \ i_p = i_{c\,máx} \ ; \ \therefore \ i_s \text{ aumenta!} \end{array} \right.$

Ej. N° 45: Amplific. de Potencia.

Amplif. clase A



Datos:

- $V_{cc} = 15v$
- $R_L = 1K\Omega$
- $R_e = 500\Omega$
- $\beta = 100$

Determinar:

- I_{cq} / Mes ✓
- Punto Ø ✓
- Recta de carga
- R_1 ✓ y R_2 ✓
- P_{cc} ✓; P_c ✓
- P_L ✓; P_e ✓
- $\eta\%$ ✓; FM ✓

Desarrollo:

Polarización

→ • $R_b = \dfrac{\beta R_e}{10} \Rightarrow \dfrac{100 \times 500}{10} = 5K\Omega$ ✓

→ • $I_{cq} = \dfrac{V_{cc}/2}{R_L + R_e} = \dfrac{15v/2}{1K + 500} \Rightarrow 5\ mA$ ✓

$\dfrac{V_{cc}}{(R_{L}+R_e)}$

Suponemos $\begin{cases} h_{fe}+1 \cong h_{fe} \\ \wedge\ V_{be} \cong 0{,}7v \\ V_{ce_{sat}} \cong \emptyset v \end{cases}$

→ • $I_{bq} = \dfrac{I_{cq}}{\beta} = \dfrac{5mA}{100} = 50\ \mu A$ ✓

→ $V_{bb} = I_b \times R_b + V_{be} + I_b . h_{fe} \times R_e$

$V_{bb} = 50\mu A (5K\Omega + 100 \times 500) + 0{,}7v$

• $V_{bb} = 3{,}45\ v$ ✓

→ • $R_{b1} = \dfrac{R_{bb}}{\left(\dfrac{V_{bb}}{V_{cc}}\right)} = \dfrac{5K\Omega}{\left(\dfrac{3{,}45v}{15v}\right)} = 21{,}74\ K\Omega$

→ $R_{b2} = \dfrac{R_{bb}}{1 - \left(\dfrac{V_{bb}}{V_{cc}}\right)} = \dfrac{5K\Omega}{1 - \left(\dfrac{3{,}45}{15}\right)} = 6{,}49\ K\Omega$

Corroboración: $R_{bb} = R_{b1} // R_{b2} \Rightarrow 5K\Omega$ ✓

→ $V_{cc} = I_c . R_L + V_{CE} + I_e . R_e$ ∴ $V_{CE} = V_{cc} - I_c (R_e + R_L)$

$V_{ce} = 15v - 5mA (1K + 500\Omega) = 15v - 7{,}5v$

• $V_{ce} = 7{,}5\ v$ ✓ $= \left(V_{cc}/2\right)$!

Potencia.

→ • $P_{cc} = \dfrac{V_{cc}^2}{2(R_L + R_e)} = \dfrac{15^2}{2(1K + 0{,}5K)} \Rightarrow 75\ mW$ ✓

NOTA

$$\rightarrow \bullet P_{C_{S=Mes}} = \frac{1}{8} \times \frac{V_{CC}^2}{(R_L + R_C)} = \frac{(15V)^2}{8(1K + 0{,}5K)} = 18{,}75\ mW$$

$$\rightarrow \bullet P_{L_{S=Mes}} = \frac{1}{8} \frac{V_{CC}^2 \times R_L}{(R_L + R_C)^2} = \frac{(15V)^2 \times 1K}{8(1K + 500)^2} = 12{,}5\ mW$$

$$\rightarrow \bullet \eta\% = \frac{P_{LCA}}{P_{CC}} \times 100\% = \frac{12{,}5mW \times 100\%}{75mW} \Rightarrow 16{,}66\%$$

$$\rightarrow F_M = \frac{P_{Cmax}}{P_{LCAmax}} = \frac{37{,}5mV}{12{,}5} = 3$$

$$\rightarrow P_{CC_{(CC+CA)}} = P_L + P_C + P_e \quad , \quad P_C = P_{CC} - (P_L + P_e)$$

$$P_{C_{(CC+CA)}} = V_{CC} \cdot I_{CQ} - \left[(R_L + R_e) I_{CQ}^2 + (R_e + R_L) \frac{I_{Cm}^2}{2} \right]$$

$$P_{C_{(CC+CA)}} = V_{CC} \cdot I_{CQ} - \Bigg[R_L \cdot I_{CQ}^2 + \underbrace{\overbrace{(R_e \cdot I_{CQ}^2)}^{P_L + P_e} + \left(R_e \frac{I_{Cm}^2}{2}\right)}_{P_e} + R_L \cdot \frac{I_{Cm}^2}{2} \Bigg]$$

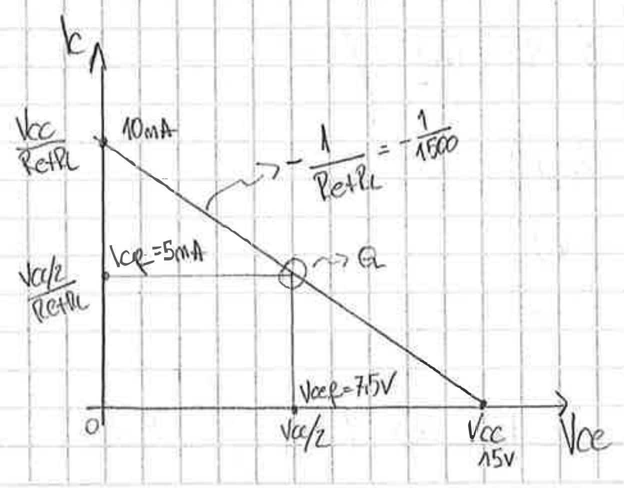
$$P_{e_{(CC+CA)}} = R_e \left(I_{CQ}^2 + \frac{I_{Cm}^2}{2} \right) \Bigg|_{I_C = I_{CQ} = I_{CQmes}}$$

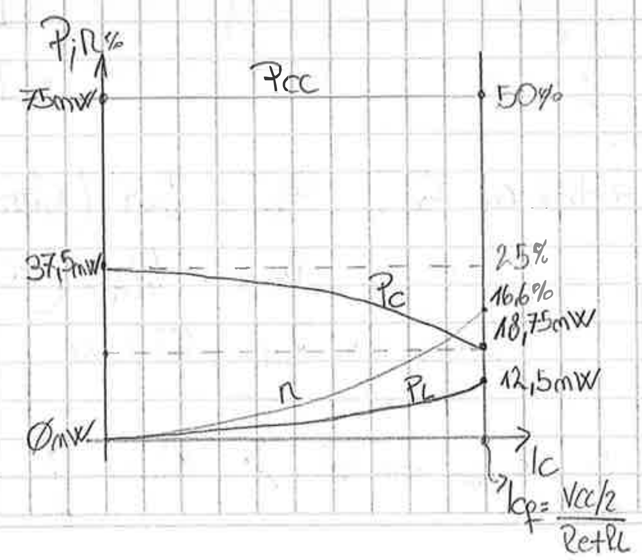
$$P_{e_{(CC+CA)}} = R_e \left(\frac{2}{2}\left(\frac{V_{CC}/2}{R_e + R_L}\right)^2 + \left(\frac{V_{CC}/2}{R_e + R_L}\right)^2 \times \frac{1}{2} \right) = R_e \times \frac{3}{2} \times \frac{V_{CC}^2}{4(R_e + R_L)^2} = \frac{3}{8} \frac{V_{CC}^2}{(R_e + R_L)^2} \times R_e$$

$$\bullet P_{e_{(CC+CA)}} \Rightarrow \left[3 \times (15V)^2 / 8 \times (1K + 0{,}5K)^2 \right] \times R_e \Rightarrow 18{,}75\ mW$$

$$\bullet P_{L(CC+CA)} = 36{,}5\ mW$$

$$\bullet P_{C_{(S=0)}} = \frac{1}{4} \frac{V_{CC}^2}{(R_e + R_L)} = \frac{(15V)^2}{4(1500)} = 37{,}5\ mW$$





Ej. N° 46 : Reguladores Monolíticos de tres Terminales.

Diseñar un reg. con tras. de paso ext para que cumpla con los sig. req.:

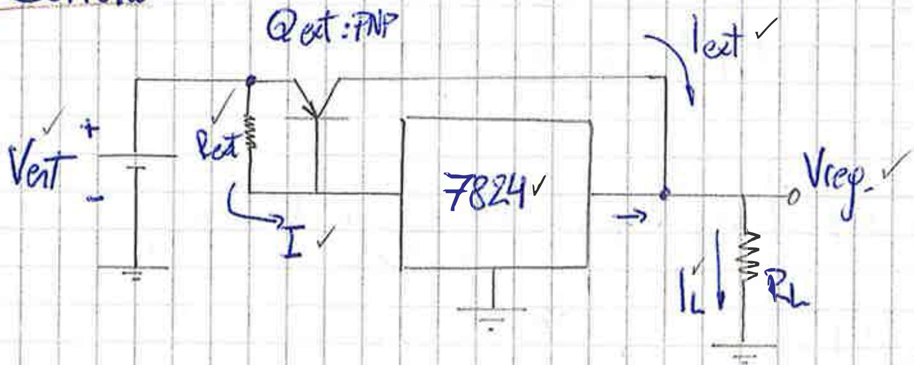
$V_{reg} = 24v$ (7824)

$V_{ent} = 30v$

$R_L = 10\Omega$

$I_{máx} = 0{,}7A$

Desarrollo:



→ Q conduce con $V_{Rext} \geqslant 0{,}7v$

∴ • $R_{ext} = \dfrac{0{,}7v}{I_{máx}} \Rightarrow \dfrac{0{,}7v}{0{,}7A} = 1\,[\Omega]$

• $I_L = \dfrac{V_{reg}}{R_L} = \dfrac{24v}{10\Omega} = 2{,}4\,[A]$

→ Como $I_L = I_{máx} + I_{ext}$, $I_{ext} = I_L - I_{máx}$

$I_{ext} = 2{,}4A - 0{,}7A$

• $I_{ext} \Rightarrow 1{,}7\,[A]$

→ Potencia Q ; $P_{ext} = I_{ext}\,(V_{ent} - V_{sal})$

$P_{ext} = 1{,}7A \times (\underbrace{30v - 24v}_{6v})$

• $P_{ext} = 10{,}2\,w$

∴ $P_{C\,máx}$ de Q $> 10{,}2w$ ∧ $I_{C\,máx}\,Q > 1{,}7A$ ∧ $BV_{CEO} > 6v$

NOTA

EJ. N° 47 Fuente de corr. cte c/reg. lineal monol.

Diseñar una fuente de corr. cte con un reg. lin. monol. que cumpla con las sig. especific.:

Reg.: 7805

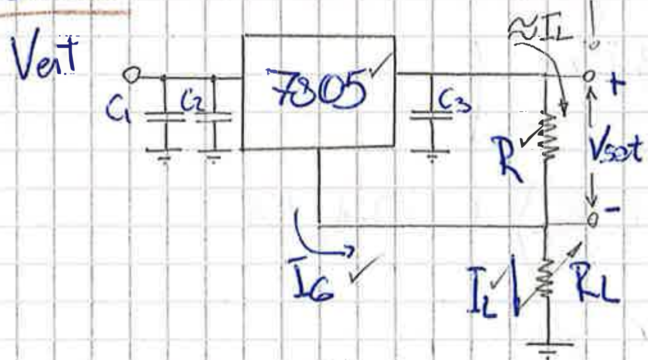
$I_L = 1\,A$

R_L = variable

$V_{ent} > V_{sal}$

$I_G = 1{,}5\,mA$

Desarrollo:



$I_L \cong \dfrac{V_{sal}}{R} \therefore \bullet\ R = \dfrac{V_{sal}}{I_L} \Rightarrow \dfrac{5V}{1A} \Rightarrow 5[\Omega]$

$R_{L(máx)}$ tal que $(\underbrace{V_{RL}}_{I_L \times R_L} + V_{sal}) + 2V \leq V_{ent}$

$\therefore\ I_L \times R_{L_{máx}} + V_{sal} + 2V = V_{enT}$

↳ No está especificado, suponemos $V_{ent} = 12V$

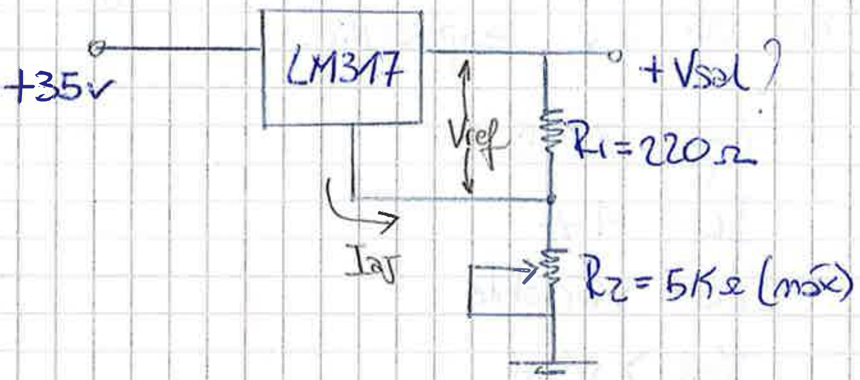
$R_{L_{máx}} = \dfrac{V_{ent} - V_{sal} - 2V}{I_L}$

$\bullet\ R_{L_{máx}} = \dfrac{12V - 5V - 2V}{1A} = \dfrac{5V}{1A} = 5[\Omega]$

→ I_G prácticamente no influye, $I_G \ll I_L$

Ej. N° 48 Regulador monolítico lin. de tensión ajustable.

Determinar los voltajes de salida máx. y mín.
c/ $I_{aj} = 50\,\mu A$



Solución:

$$V_{sal} = V_{ref}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{aj} \times R_2$$

$R_2 = 0\,\Omega$; $V_{sal(mín)} = V_{ref} = 1{,}25\,v$

$R_2 = 5K\Omega$; $V_{sal(máx)} = 1{,}25\,v\left(1 + \frac{5K}{220}\right) + 50\,\mu A \times 5K$

$V_{sal(máx)} = 29{,}9\,v$ ✓

Faltan: AD590 (1) } Drisd.
LM35 (2)

NOTA

Complementos

PRÁCTICO

[Marco Alvarez Reyna UTN-FRC marcoalrey@gmail.com]

21/05/09
Marco Alvarez Reyna
UTN-FRC
marcoalrey@gmail.com

Anexo#1 Integración Analógica

$$\left(\Delta v_p = -\frac{R_{pc}}{R_{si}} \times \frac{1}{(1+R_{pc}\,S.C)} \right)$$

Analítica:

$$V_o(t) = -\frac{1}{R_{si}C_{si}} \times \int_0^t V_i(t)\,.dt$$

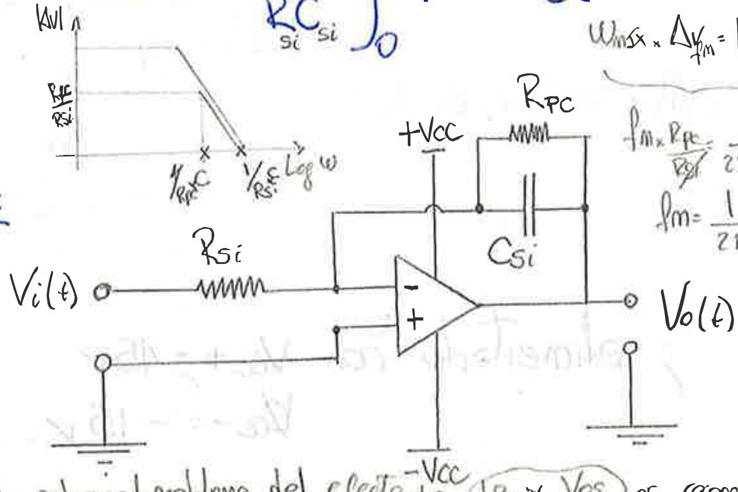
$$W_{max} \times \Delta V_{fm} = |f_t|_{S\to\infty} \qquad \left\{ \Delta V = -\frac{R_{pc}}{R_{si}} \right\}_{S\to\infty}$$

Sin conectar Csi ⇓

$$f_m \times \frac{R_{pc}}{R_{si}} = \frac{1}{2\pi R_{si}.C} \qquad f_m = \frac{1}{2\pi.R.C}$$

"Si aumenta Rpc con respecto a Rsi; aumenta la ganancia"

Circuito:



La ganancia depende de la frecuencia de la señal de entrada!
↳ le otorga un polo al origen.

"Con el fin de pelear el problema del efecto de (IB y Vos/Rsi) es recomendable disminuir la ganancia del circ para bajas frec. Esto se consigue con Rpc en paralelo con Csi. Evita que la ganancia llegue a ser la de lazo abierto para CC."

- El término $\left(\frac{1}{RC}\right)$ representa la pendiente de la curva de integración; en $\left[\frac{1}{s}\right]$

↳ Si se aumenta Csi o Rsi mucho, la curva de integ. se vuelve plana.

Sin conectar Rpc ($R_{pc}\to\infty$)

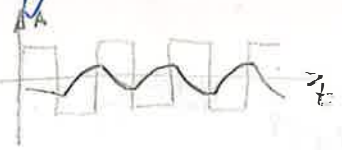
⇓

La curva de integración sube su nivel de CC hasta casi alcanzar +Vcc; redondeando la curva en el cambio de signo de la pendiente (+→-)

Conclusiones de la simulación con EWB5:

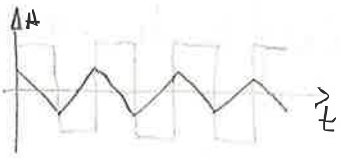
* La resistencia Rpc; con el capacitor Csi conectado; no modifica el valor final de la integración en un período τ [s]. {No afecta la ganancia si $R_{pc} > 2 \times R_{si}$}

Para: → $R_{pc} < R_{si}$



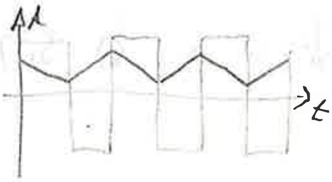
La curva de integración tiene características exponenciales. Con nivel de CC=0v.

↳ Para → → $R_{pc} \cong 10 \times R_{si}$



La curva de integración es lineal; recta con pendiente $\pm 1/RC$. Nivel CC=0v.

→ $R_{pc} > 10.R_{si}$ (P.ej: 40.Rsi)



La curva presenta características lineales pero tiene un nivel de $CC \neq 0v$; (positivo)

Datos del circuito:

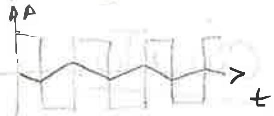
$V_i(t) = \pm 5v$; onda cuadrada (50% DC); 1KHz.

$R_{si} = 100 K\Omega$

* $C_{si} = 2{,}5\ nf$ → Al variar C_{si}; R_{si}=cte:

$C_{si}' = C_{si}/4$

$C_{si}' = 4 \times C_{si}$

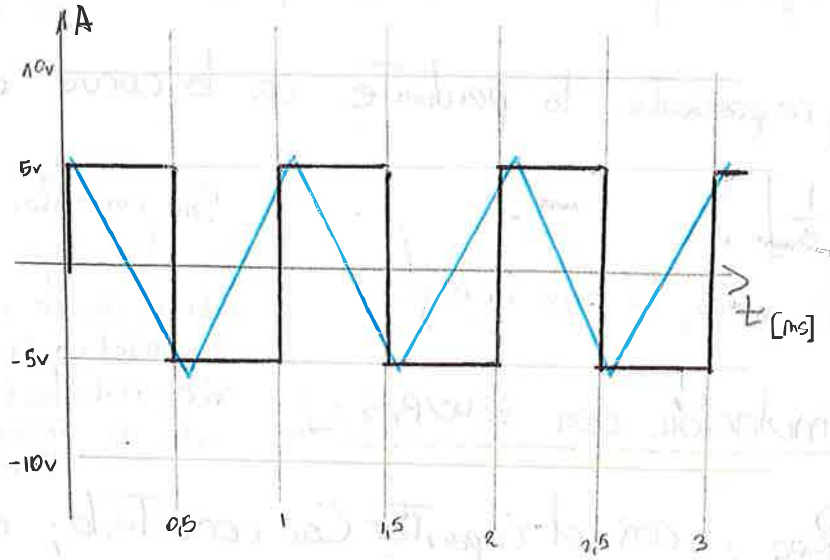


$R_{pc} = 1 M\Omega$

Operacional: 741; alimentado con $V_{cc}+ = 15v$
$V_{cc}- = -15v$.

Al aumentar C_{si}; se hace mas chica la pendiente ($1/RC$), aumentando el tiempo de integración. Al disminuir C_{si}; aumenta la pendiente y satura.

Gráfica:



* onda cuadrada
* integración.

Cálculos:

$$\frac{1}{RC} = \frac{1}{100\times10^3 \times 2{,}5\times10^{-9}} = 4\times10^3 \left[\frac{1}{s}\right]$$

- $V_o(\tau) \Rightarrow -\frac{1}{RC}\int_0^{T/2=\tau} V_i(t)\,dt = -4\times10^3 \int_0^{0{,}5\times10^{-3}} 5v\,dt = -4\times10^3 \frac{1}{s} \times 5v \times t\Big|_{0{,}5ms} = -10v$

$\tau = T/2$

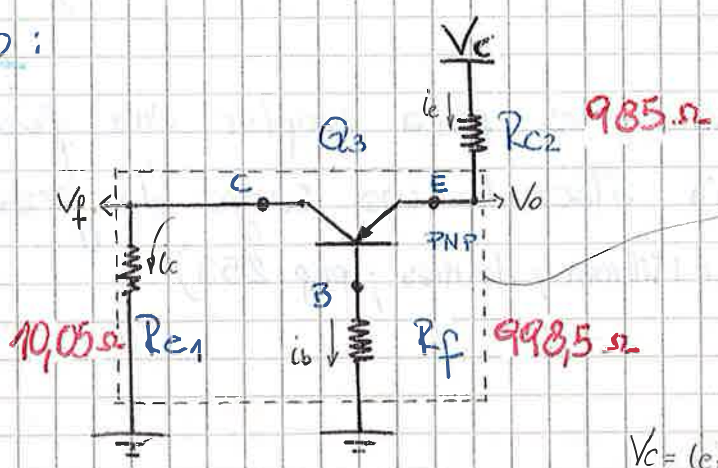
El resultado analítico y la simulación coinciden!

Anexo # 2
(anteriormente anexo 1)

HOJA N° 13
FECHA 17/11/2009

Análisis y ensayo de un Tr. bipolar TIP30c (PNP) en configuración de base común. (como bloque β)

Circuito:



TIP 30c
$h_{fe} > 40$ ≈ 70
↳ con Ic<9,2A

$\beta_{(realim)} = \frac{V_f}{V_o}$

Mu. Tensión
Me. Serie

$V_C = I_E \cdot R_{C2} + V_{be} + R_f / (h_{fe}+1)$

$I_C = \alpha \cdot I_E$

Ensayo:

Vc = 5v		Vc = 15,13 ✓		Vc = 14,5v	
VE	0,614 v	VE	0,727 ✓	VE	0,712 v
VB	0,039 v	VB	0,1157 v	VB	0,109 v
Vc	0,049 v	Vc	0,1513 v	Vc	0,149 v
VEB	0,575 v	VEB	0,609 v	VEB	0,601 v
VCB	0,010 v	VCB	35,4 mV	VCB	0,039 v
VEC	0,576 v	VEC	0,574 v	VEC	0,562 v
IE	4,44 mA	IE	14,574 mA	IE	13,84 mA
IB	39,2 μA	IB	117,3 μA	IB	111 μA
Ic	4,41 mA	Ic	14,457 mA	Ic	13,54 mA

⇓
Mejor medición

NOTA

Configuración en BC

$A_i < 1$ — 0,98
$A_v \gg 1$ — 131
R_i : baja — 22,5 Ω
R_o : alta — 1,72 MΩ

Typ. con $R_L = 3K\Omega$

Se utiliza algunas veces para acoplar una fuente de baja impedancia atacando una carga de gran impedancia. (Fuentes: Millman y Halkias ; pag. 253)

...TODO ES TODO

Analítica: "Con $V_C = 15,13\ V$"

$\rightarrow V_{BE} = V_D + I_E \times r_{e(hib)}$

$V_D = 0,609 - 14,574mA \times 1,729$

$V_D = 0,583\ V$ | Tensión aplicada directamente sobre el diodo emisor.

β_{cc} (hfe) $= \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow \frac{14,457mA}{117,3\mu A} \Rightarrow 123,24$

$\alpha_{cc} = \frac{I_C}{I_E} = \frac{14,457mA}{14,574mA} \Rightarrow 991,97 \times 10^{-3}$

$h_{ie} = \frac{V_T \times h_{fe}}{I_{cq}} \Rightarrow \frac{25mV}{14,457mA} \times 123,24 \Rightarrow 213,11\ \Omega$

$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{(h_{fe}+1)} \Rightarrow 1,729\ \Omega$

$I_C = \alpha_{cc} . I_E$

$I_B = (1-\alpha_{cc})\ I_E$

$-\alpha_{cc} = h_{fb} = \frac{h_{fe}}{(h_{fe}+1)} \Rightarrow -0,99195$

Corroboración:

$\rightarrow V_C = I_C \times R_{ei} \Rightarrow 14,457\ mA \times 10,05\Omega \Rightarrow 0,1453\ V$

$\rightarrow V_E = V_{EB} + I_B \times R_f \Rightarrow 0,609\ v + 117,3\ \mu A \times 998,5\Omega = 0,726\ V$

$\hookrightarrow V_E = V_{EB} + I_E \times R_f / h_{fe+1} \Rightarrow 0,726\ V$

$R_{D_{BE}} = \frac{V_{BE}}{I_B} = \frac{0,609\ v}{117,3\ \mu A} = 5,19\ K\Omega$

NOTA

o o o hay víboras que comen huevos

HOJA N° 45

Anexo # 3
(anteriormente anexo 2)

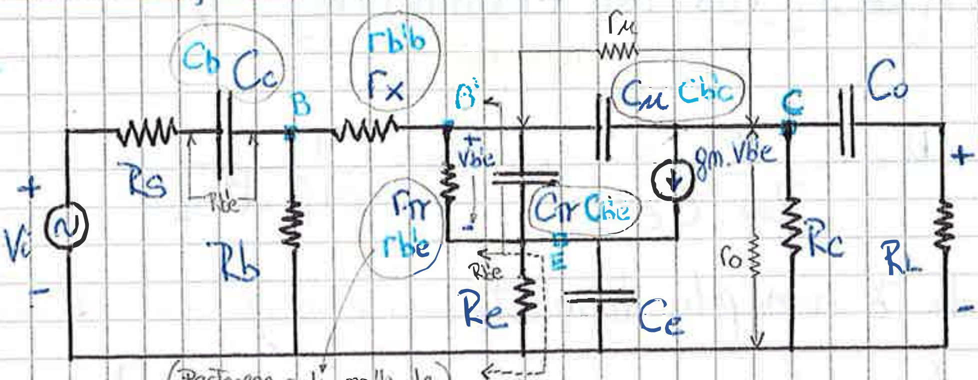
Equivalencias: Teórico ⇌ Práctico*

FECHA 16/04/2010

Amplific. en conf. de emisor común: Modelo incremental.

→ AC
→ Pequeña señal.

General:



(Pertenece a la malla de entrada. En la salida se denomina r'e!)

ro ∧ rμ → ∞ !

- $h_{ie} = r_{b'b} + r_{b'e}$ ∧ → $r_{b'b}$ normalmente es muy baja.

∴ $h_{ie} \cong r_{b'e} \cong \frac{V_T}{I_{eq}}$

→ $r_{b'e} = h_{fe} \times r'_e$ ∧ $r'_e = \frac{1}{g_m}$

∴ $r_{b'e} = \frac{h_{fe}}{g_m}$ ∧ $g_m = \frac{I_{eq}}{V_T}$ / $V_T \cong 25\,mV$

$g_m = \frac{I_{eq}}{0{,}025} = 40 \times I_{eq}$

∴ $r_{b'e} = \frac{h_{fe}}{40 \cdot I_{eq}}$

Alta Frecuencia:

- $C_{b'e} = \frac{h_{fe}}{r_{b'e} \cdot \omega_T} = \frac{g_m}{\omega_T}$

- $C_{b'c} = (V_{CB})^{1/P}$; P: dopado → 1/2 ó 1/3 (sale de la hoja de datos)

- $Z_{i\,(fm)} = \left\{ R_s + \left[(R_{b1} // R_{b2}) // (r_{b'b} + r_{b'e}) \right] \right\}$

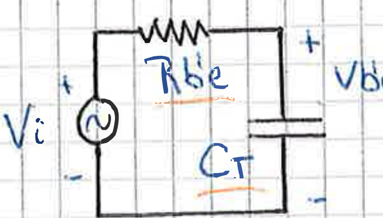
- $R_{b'e} \Rightarrow r_{b'e} // [r_{b'b} + (R_b // R_s)]$ → $(R_{b1} // R_{b2})$

↳ Como $R_{bb} \gg R_s$ ∧ $r_{b'b} \ll R_s$;

$R_{b'e} \cong r_{b'e} // R_s$!

- $C_M = C_{b'c} (1 + g_m \cdot R'_L)$ ∧ $R'_L = R_C // R_L$; - $C_T = C_{b'e} + C_M$

Modelo de un polo:



- $\omega_H = \frac{1}{R_{b'e} \cdot C_T}$

NOTA

Baja Frecuencia:

- Considerando Ce como polo dominante: → Se considera Cb cortocircuito.

  - $R_{eq} = \left\{ Re \,//\, \left[\dfrac{rb'b + rb'e + (Rb_1 // Rb_2) // Rs}{(hfe+1)} \right] \right.$ ✓   * $Cb_{(Ce)} = \dfrac{1}{(Rb'e_x)\left(\dfrac{W_L}{10}\right)}$

    incluye Re!

  - $W_L = W_{Ce} = \dfrac{1}{Req . Ce}$ ∴ $Ce = \dfrac{1}{2\pi f_L \times Req}$

- Considerando Cb como polo dominante: → Se considera Ce cortocircuito.

  - $Req = \left\{ Rs + \left[(Rb_1 // Rb_2) // (rb'b + rb'e + \cancel{Re(hfe+1)}) \right] \right.$ ✓ $Ce = \dfrac{1}{(Rb'e)\left(\dfrac{W_L}{10}\right)}$

    "Ce" la cortocircuita.

    excluye Rs!

  - $W_L = W_{Cb} = \dfrac{1}{Req . Cb}$ ∴ $Cb = \dfrac{1}{2\pi f_L . Req}$

Al separarse más de una década sus polos (Cb y Ce) sus efectos no se superponen!

✳ Si este apunte contiene algún error, por favor envíelo por correo electrónico a:

Marco A.R. marcoalrey@gmail.com

indicando referencias y si es posible la corrección.

Gracias!

NOTA