



Guía Práctico de Electrónica Aplicada II

Ing. Carlos Olmos

Año: 2007

Realimentación:

Un sistema realimentado esta conformado por las siguientes etapas:

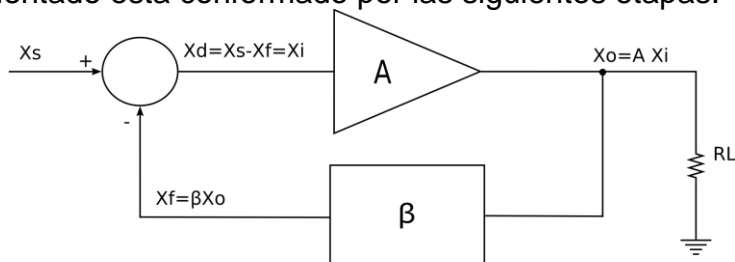


Fig. 1

Del siguiente diagrama nosotros podemos definir la ganancia de lazo cerrado:

$$A_f = \frac{X_o}{X_s} = \frac{A(X_s - X_f)}{X_s} = A \left(1 - \frac{X_f}{X_s} \right)$$

$$X_f = \beta X_o$$

$$A_f = A \left(1 - \beta \frac{X_o}{X_s} \right) = \left(A - \beta A \frac{X_o}{X_s} \right)$$

$$A_f = \frac{X_o}{X_s} = A - \beta A \frac{X_o}{X_s}$$

$$\frac{X_o}{X_s} + \beta A \frac{X_o}{X_s} = A$$

$$\frac{X_o}{X_s} (1 + \beta A) = A$$

$$A_f = \frac{X_o}{X_s} = \frac{A}{(1 + \beta A)}$$

$$A_f = \frac{A}{(1 + \beta A)}$$

A = Ganancia de Lazo Abierto

A_f = Ganancia de Lazo Cerrado

Tipos de amplificadores:

Con el concepto de realimentación se puede diseñar cuatro combinaciones de amplificadores con las diferentes formas de muestreo y mezcla.

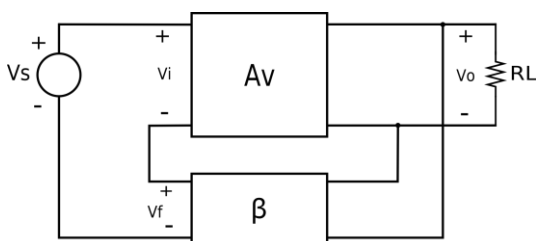


Fig. 2

Amplificador de Tensión con muestra de tensión en serie.

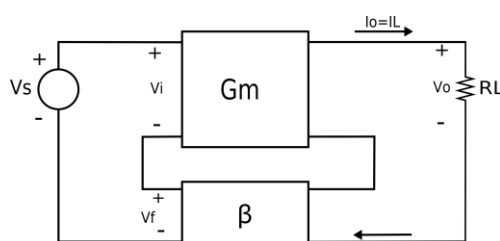


Fig.3

Amplificador de Transconductancia con muestra de corriente en serie.

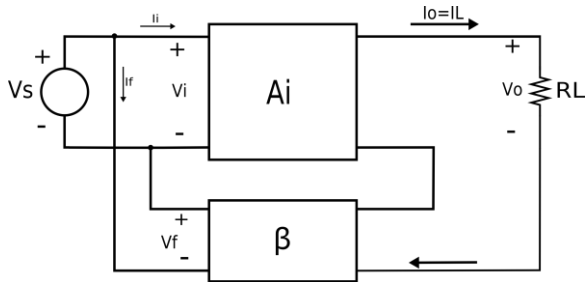


Fig.4

Amplificador de Corriente con muestra de corriente en paralelo.

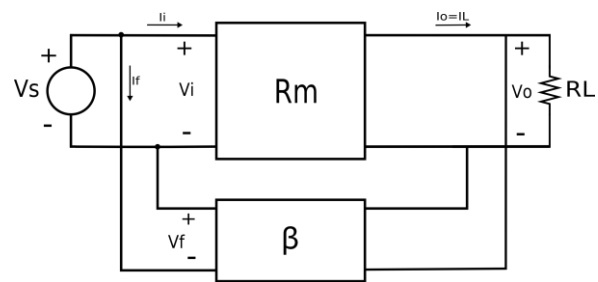


Fig.5

Amplificador de Transresistencia con muestra de tensión en paralelo.

Se debe destacar de esto que la realimentación tiene sus aspectos positivos y negativos.

Desventajas: Reduce la ganancia. Esto se debe al grafico de ganancia – ancho de banda.

Ventajas: Estabilidad de la amplificación de transferencia frente a las variaciones por:

- Envejecimiento.
- Temperatura.
- Sustitución de componentes pasivos y activos.

Sensibilidad de la Ganancia:

Definimos sensibilidad de la ganancia a la relación entre la variación relativa de la amplificación con realimentación y sin ella.

Conciderese una variacion de la ganancia de lazo cerrado. Entonces :

$$\frac{dA_f}{dA} = \frac{d\left(\frac{A}{1+\beta A}\right)}{dA} = \frac{1(1+\beta A) - A(\beta)}{(1+\beta A)^2}$$

$$\frac{dA_f}{dA} = \frac{1+\cancel{\beta A} - \cancel{A\beta}}{(1+\beta A)^2} = \frac{1}{(1+\beta A)^2} \frac{A}{A}$$

$$\frac{dA_f}{dA} = \underbrace{\frac{A}{(1+\beta A)}}_{A_f} \frac{1}{(1+\beta A)} \frac{1}{A}$$

$$\frac{dA_f}{dA} = A_f \frac{1}{(1+\beta A)} \frac{1}{A}$$

$$\frac{dA_f}{A_f} = \underbrace{\frac{1}{1+\beta A}}_{\text{sensibilidad}} \left| \frac{dA}{A} \right| \Rightarrow D: |1+\beta A| = \text{Desensibilidad}$$

Cuando a un amplificador se le agrega realimentación la ganancia queda dividida por la desensibilidad, pero también la variación de la ganancia por cualquiera de los motivos antes mencionados se divide por el mismo factor.

Distorsión de Frecuencia:

Si la red de realimentación no tiene elementos reactivos la ganancia es independiente de la frecuencia.

Si consideramos el producto $\beta A \gg 1$ entonces la ganancia a lazo cerrado es:

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A} \approx \frac{1}{\beta}$$

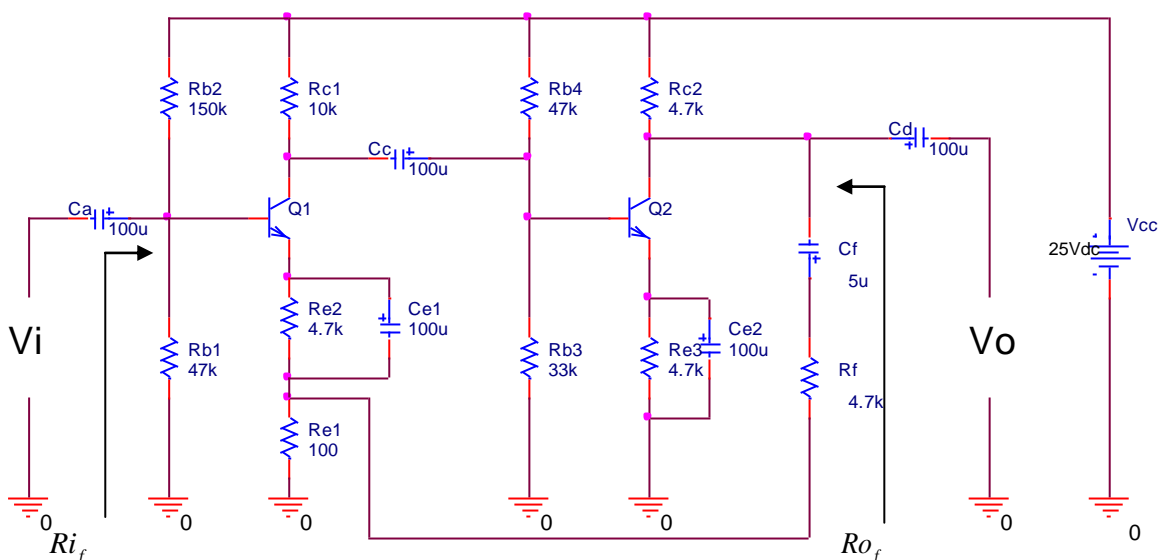
En caso de estar compuesto con elementos reactivos la amplificación a distintas frecuencias va a depender notablemente de la misma.

Distorsión no lineal: Permite reducir la distorsión no lineal % por D.

Reducción de ruido: Es dividido por el factor D.

Ahora para aplicar todos los conceptos definidos con anterioridad realizaremos el estudio completo sobre un sistema compuesto por dos amplificadores en cascada.

1) Realimentación de Tensión en Serie:



Calcular: A_{vf} , R_{of} , R_{if} con los siguientes datos:

Datos: $R_s = 0$, $h_{fe} = 50$, $h_{ie} = 1.1K\Omega$, $h_{re} = h_{oe} = 0$, $Q_1 = Q_2$

Consignas:

- Identificar el tipo de topología para la cual vamos a analizar si la señal realimentada es una tensión o una corriente o dicho otro modo esta en serie o en paralelo con la señal? La señal muestreada es una tensión o una corriente? O dicho de otro modo es tomado del nudo de salida o de la malla de salida?
- Construir el circuito equivalente del amplificador con realimentación pero considerando los elementos que componen la red de realimentación β , reemplazando los dispositivos activos por el modelo apropiado (por ejemplo, el modelo híbrido – II para un transistor de alta frecuencia, o el modelo de parámetros h para baja frecuencia).

Para construir el circuito de entrada se debe eliminar la señal de realimentación para lo cual hacemos:

$$V_o = 0 \quad (\text{para muestreo de tensión})$$

$$I_o = 0 \quad (\text{para muestreo de corriente})$$

Para construir el circuito de salida debemos hacer:

$$V_i = 0 \quad (\text{para mezcla en paralelo})$$

$$I_i = 0 \quad (\text{para mezcla en serie})$$

c. Reemplazar la fuente de tensión por una de corriente aplicando Norton/Thevenin

d. Hallar la ganancia aplicando Kirchhoff.

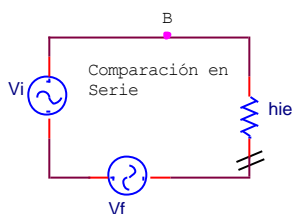
e. Calcular el β que dependiendo de la topología podrá ser :

$$\beta = \frac{X_f}{X_o} \cong \frac{V_f}{V_o} \cong \frac{I_f}{I_o} \cong \frac{V_f}{I_o} = \frac{I_f}{V_o}$$

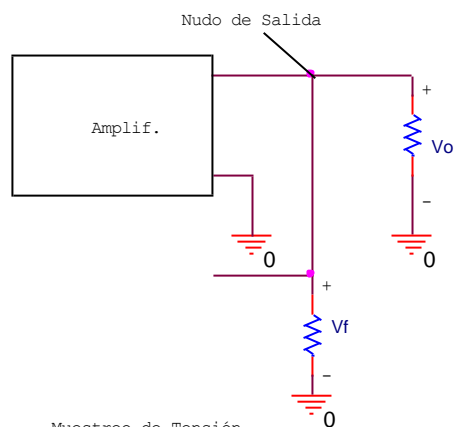
f. Con A y β , calcular D, A_f , Z_{if} , Z_{of} .

Desarrollo:

a. Muestreo de tensión – comparación en serie.

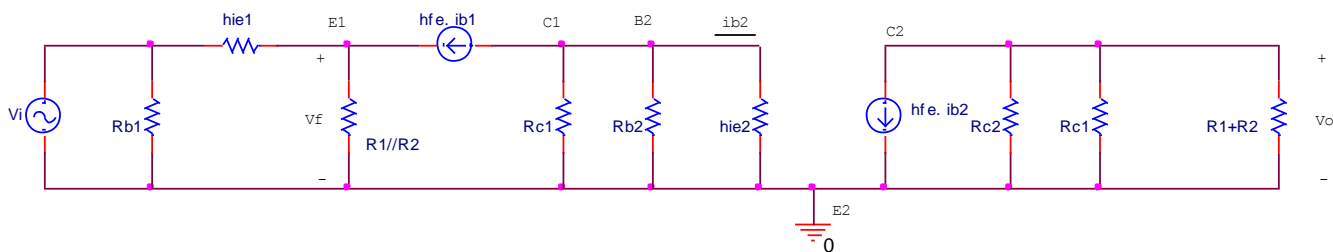


Circuito de Entrada



Muestreo de Tensión

b. A continuación se grafica el circuito equivalente híbridos – II.



Una vez que se determino el circuito equivalente podremos realizar los análisis correspondientes a las ganancias y demás parámetros de nuestro amplificador. Recuérdese que este circuito se encuentra a lazo abierto, es decir, que luego tendremos que encontrar los parámetros a lazo cerrado mediante algunas consideraciones teóricas.

d.

$$R_{b1} = \frac{150k\Omega \cdot 47K\Omega}{150k\Omega + 47K\Omega} = 35,78K\Omega$$

$$R_{b1} = \frac{47k\Omega \cdot 33K\Omega}{47k\Omega + 33K\Omega} = 19,38K\Omega$$

Cálculo de $A_v =$

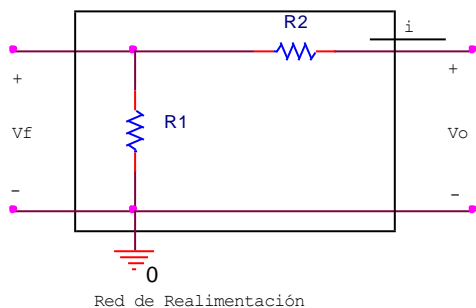
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{i_{b2}} \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \frac{i_{b1}}{v_i} \left\{ \begin{array}{l} \frac{v_o}{i_{b2}} = -hfe [R_{C2} // (R_1 + R_2)] = 118,7 K\Omega \\ \frac{i_{b2}}{i_{b1}} = -hfe \frac{R_{C1} // R_{b2} // hie_2}{hie_2} = 42,84 \\ \frac{i_{b1}}{v_i} = \frac{1}{hie_1 + [(R_1 + R_2)(hfe + 1)]} = 0,822 \square \end{array} \right.$$

$$A_v = 118,7 K\Omega.42,84.0,822 \square$$

$A_v = 828$

e.

Cálculo de la red $\beta =$



$$v_o = i(R_1 + R_2)$$

$$v_f = i R_1$$

$$\beta = \frac{v_f}{v_o} = \frac{j R_1}{j (R_1 + R_2)} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{0,1 K\Omega}{4,8 K\Omega}$$

$$\beta = 0,02 = 1/48$$

$$D=1+A_v \beta=1+\frac{828}{48}=18,25$$

$$A_{vf} = \frac{A_v}{D} = \frac{828}{18,25}$$

$$A_{vf} = 45,36$$

f.

Solo nos queda calcular las impedancias de lazo abierto como de lazo cerrado :

Lazo abierto :

$$Z_i = R_{b1} // \left\{ h_{ie1} + \left[(R_1 + R_2)(h_{fe} + 1) \right] \right\} = 35,78 K\Omega // 6 K\Omega$$

$$\boxed{Z_i = 5,2 K\Omega}$$

$$Z_o = R_{c2} // (R_1 + R_2)$$

$$\boxed{Z_o = 2,37 K\Omega}$$

Lazo cerrado :

$$P / D = 18,25$$

$$Z_{if} = Z_i D = 5,2 K\Omega \cdot 18,25 \Rightarrow \boxed{Z_{if} = 94,9 K\Omega}$$

$$Z_{of} = \frac{Z_o}{D} = \frac{2,37 K\Omega}{18,25} \Rightarrow \boxed{Z_{of} = 129 \Omega}$$

Conclusiones:

La ganancia de la tensión se ve disminuida por el factor D mientras que la impedancia de entrada aumenta y la de salida baja mejorando las condiciones y propiedades del amplificador.

Como regla general :

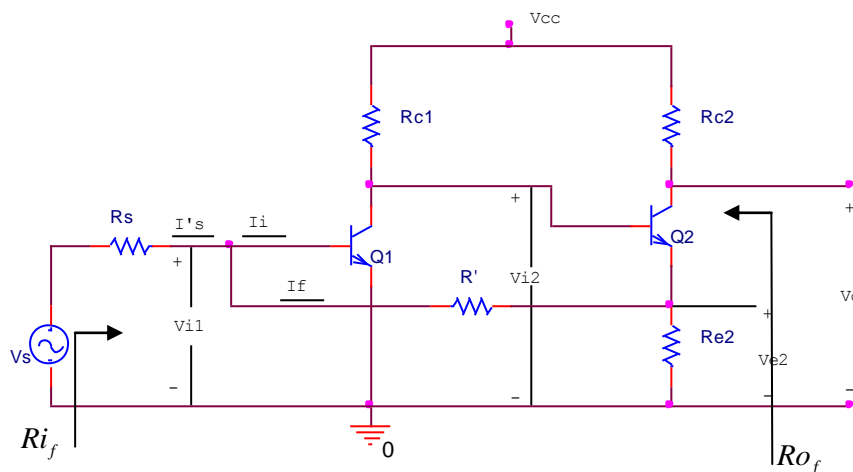
Muestreo de tensión $\equiv Z_o$ se ve disminuido D veces.

Muestreo de corriente $\equiv Z_i$ se ve aumentado D veces.

Mezcla de tensión $\equiv Z_i$ se ve aumentada D veces.

Mezcla de corriente $\equiv Z_i$ se ve disminuido D veces.

2) Muestreo de Corriente en Paralelo:



Datos :

$$R_{c1} = 3 K\Omega \quad R' = 1,2 K\Omega \quad h_{ie} = 1,1 K\Omega$$

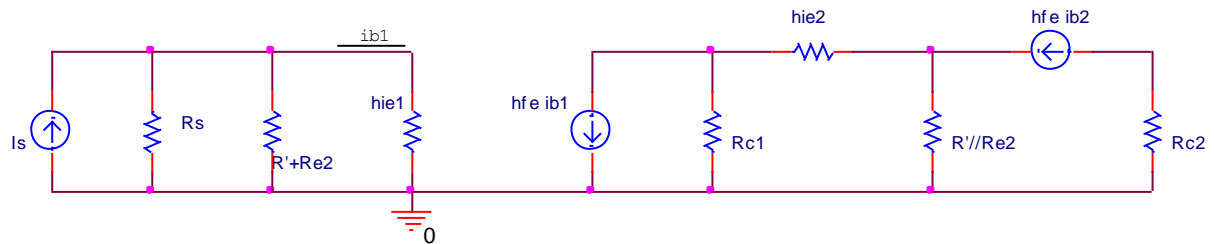
$$R_{c2} = 500 \Omega \quad R_s = 1,2 K\Omega$$

$$R_{e2} = 50 \Omega \quad h_{fe} = 50$$

Se pide calcular idem al punto anterior

Desarrollo:

Circuito equivalente:



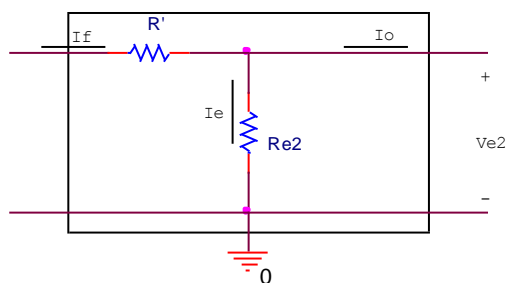
$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_o}{i_{b2}} \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \frac{i_{b1}}{i_i} \quad \therefore \quad i_o = -hfe i_{b2} \rightarrow \frac{i_o}{i_{b2}} = -50$$

$$i_{b2} = -hfe i_{b1} \frac{R_{c1} \parallel [hie_2 + hfe(R_{e2} \parallel R_f)]}{hie_2 + hfe(R_{e2} \parallel R_f)} \rightarrow \frac{i_{b2}}{i_{b1}} = -22,907$$

$$i_s = i_i \quad \therefore \quad i_{b1} = i_s \frac{[R_s \parallel (R_{e2} \parallel R_f) \parallel hie_1]}{hie_1} \rightarrow \frac{i_{b1}}{i_i} = 0,357$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_s} = 409,55 \quad \therefore \quad \boxed{A_i = 409,55}$$

Red de Realimentación:



para $v_{e2} \parallel v_{i1}$

$$i_f = \frac{v_{i1} - v_{e2}}{R_f} \quad \text{tambien} \quad \begin{cases} v_{e2} = R_{e2} \cdot i_e \\ i_e = i_f - i_o \end{cases}$$

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

$$i_f R_f = R_{e2} i_o - R_{e2} i_f$$

$$i_f (R_f + R_{e2}) = R_{e2} i_o$$

$$\beta = \frac{i_f}{i_o} = \frac{R_{e2}}{R_{e2} + R_f} = 0,04$$

$$\boxed{\beta = 0,04}$$

$$D = 1 + \beta A_i = 1 + 0,04 \cdot 409,55$$

$$\boxed{D = 17,38}$$

$$A_{if} = \frac{A_i}{D} = \frac{409,55}{17,38} = 23,56$$

$$\boxed{A_{if} = 23,56}$$



Calculo de Impedancias :

$$Z_i = R_s \parallel (R_f + R_{e2}) \parallel hie_1$$

$$Z_i = 393,32\Omega$$

$$Z_o = R_c$$

$$Z_o = 500\Omega$$

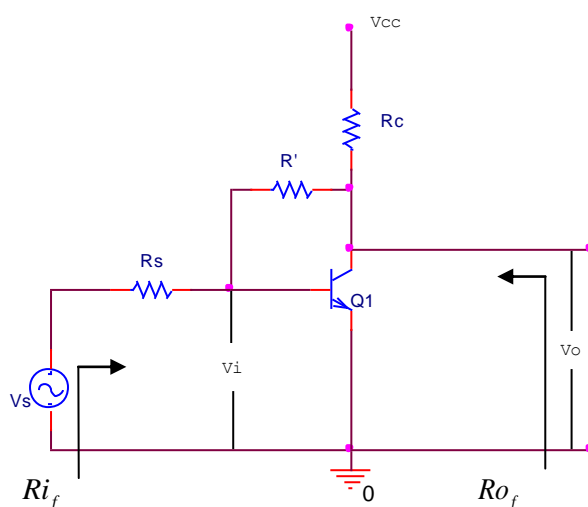
$$Z_{if} = \frac{Z_i}{D}$$

$$Z_{if} = 22,62\Omega$$

$$Z_{of} = Z_o D$$

$$Z_{of} = 8,69K\Omega$$

3) Realimentación de tensión en paralelo:



$$R_c = 4K\Omega$$

$$R' = 40K\Omega$$

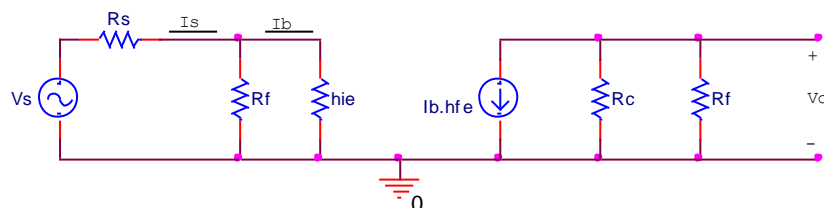
$$hie = 1,1K\Omega$$

$$hfe = 50$$

$$R_s = 10K\Omega$$

$$\text{Calcular} \begin{cases} R_{mf} \\ A_{vf} \\ Z_{if} \\ Z_{of} \end{cases}$$

Circuito equivalente:

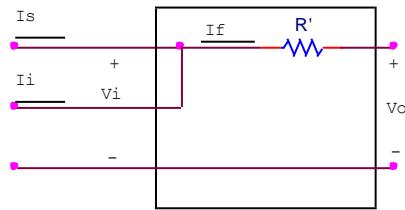


$$R_m = \frac{v_o}{i_s} = \frac{v_o}{i_b} \frac{i_b}{i_s} \Rightarrow \frac{v_o}{i_b} = hfe (R_c \parallel R') = 181,81K\Omega$$

$$\frac{i_b}{i_s} = \frac{R' \parallel R_s}{(R' \parallel R_s) + hie} = 879,12\Omega$$

$$R_m = 159,84K\Omega$$

Red de Realimentación :



para $v_i \approx v_o$

$$i_f = \frac{v_i - v_o}{R_f}$$

$$i_f \approx -\frac{v_o}{R_f}$$

$$\beta = \frac{i_f}{v_o} = \frac{-\frac{v_o}{R_f}}{v_o}$$

$$\beta = -\frac{1}{R_f} \rightarrow \boxed{\beta = -0,025 \text{ mA/V}}$$

Desensibilidad :

$$D = 1 + \beta R_m = 1 + (-0,025 \text{ mA/V}) \cdot 159,84 \text{ K}\Omega$$

$$D = 4,99 \Rightarrow \boxed{D = 5}$$

$$R_{mf} = \frac{R_m}{D} = \frac{159,84 \text{ K}\Omega}{5} \Rightarrow \boxed{R_{mf} = 31,968 \text{ K}\Omega}$$

Impedancias Z_{if}, Z_{of}

$$Z_i = R_s \parallel h_{ie} \parallel R' = 10 \text{ K}\Omega \parallel 1,1 \text{ K}\Omega \parallel 40 \text{ K}\Omega$$

$$Z_i = 967,02 \text{ K}\Omega$$

$$Z_o = R_c \parallel R' = 4 \text{ K}\Omega \parallel 40 \text{ K}\Omega$$

$$Z_o = 3,63 \text{ K}\Omega$$

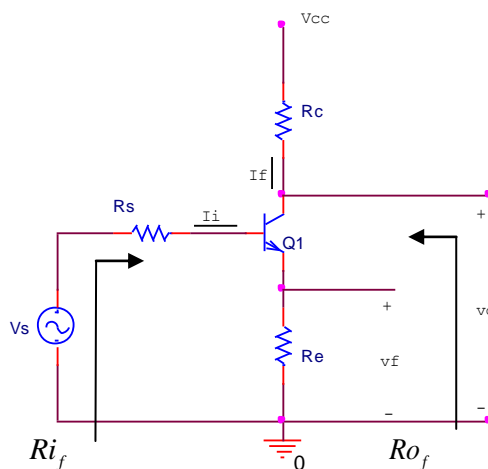
$$Z_{if} = \frac{Z_i}{D} = \frac{967,02 \text{ K}\Omega}{5}$$

$$\boxed{Z_{if} = 178,29 \Omega}$$

$$Z_{of} = \frac{Z_o}{D} = \frac{3,63 \text{ K}\Omega}{5}$$

$$\boxed{Z_{of} = 727,27 \Omega}$$

4) Realimentación de Corriente en Serie:



$$G_{mf} = 1 \text{ mA/V}$$

$$A_{vf} = -4$$

$$D = 50$$

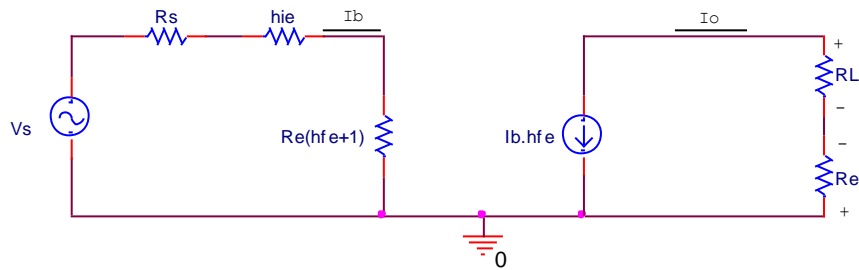
$$h_{fe} = 150$$

$$R_s = 1 \text{ K}\Omega$$

$$\text{Calcular} \begin{cases} R_L \\ R_e \\ Z_{if} \\ i_{Co} \end{cases}$$



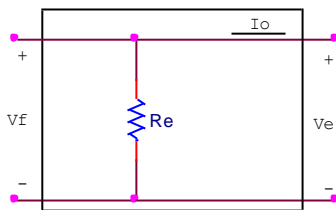
Circuito equivalente:



Desarrollo :

$$G_{mf} = \frac{G_m}{D} = -1 \text{ mA/V} \Rightarrow G_m = G_{mf} D = -1 \text{ mA/V} \cdot 50$$

$$G_m = -50 \text{ mA/V}$$



$$\beta = \frac{V_f}{i_o} = \frac{-i_o R_e}{i_o}$$

$$\beta = -R_e$$

Como $\beta = -R_e$, entonces

$$D = 1 + \beta G_m = 1 + 50 R_e = 50$$

$$R_e = \frac{D-1}{G_m} = \frac{50-1}{50} = 0,98 \text{ K}\Omega$$

$$R_e \approx 1 \text{ K}\Omega$$

$$A_{vf} = G_{mf} R_L \Rightarrow R_L = \frac{A_{vf}}{G_{mf}} = \frac{-4}{-1} \Rightarrow R_L = 4 \text{ K}\Omega$$

$$\text{como } G_m = -50 = \frac{-hfe}{R_s + hie + R_e} = \frac{-150}{1 + hie + 1}$$

$$hie = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_i = R_s + hie + R_e = 1 \text{ K}\Omega + 1 \text{ K}\Omega + 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_i = 3 \text{ K}\Omega$$

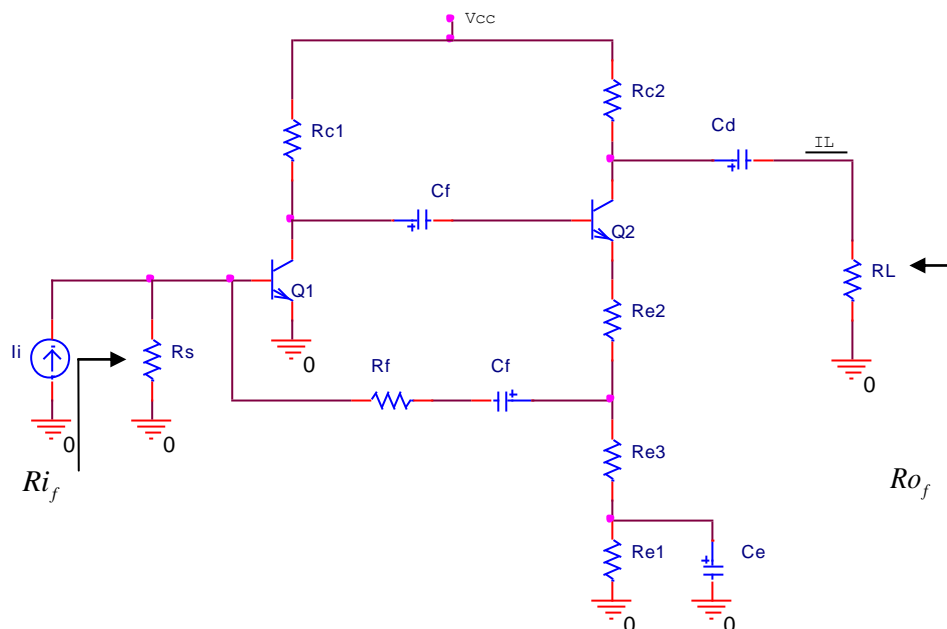
$$R_{if} = R_i D = 3 \text{ K}\Omega \cdot 50 \Rightarrow R_{if} = 150 \text{ K}\Omega$$

$$\text{como } hie = hfe \frac{V_T}{i_{co}} \Rightarrow i_{co} = hfe \frac{V_T}{hie} = 150 \frac{25 \text{ mV}}{1 \text{ K}\Omega}$$

$$i_{co} = 3,9 \text{ mA}$$

5) Análisis de Circuitos Realimentados:

- a. Del siguiente circuito se debe realizar un análisis completo en el cual se debe usar todas las técnicas de realimentación estudiadas hasta el momento.



Datos :

$$hfe_1 = hfe_2 = 50$$

$$hie_1 = hie_2 = 1K\Omega$$

$$R_s = 100K\Omega ; R_{e2} = 1K\Omega$$

$$R_{c1} = 2K\Omega ; R_{e3} = 1K\Omega$$

$$R_{c2} = 2K\Omega ; R_{e1} = 100\Omega$$

$$R_f = 10K\Omega ; R_L = 10\Omega$$

Calcular :

$$A_{if}$$

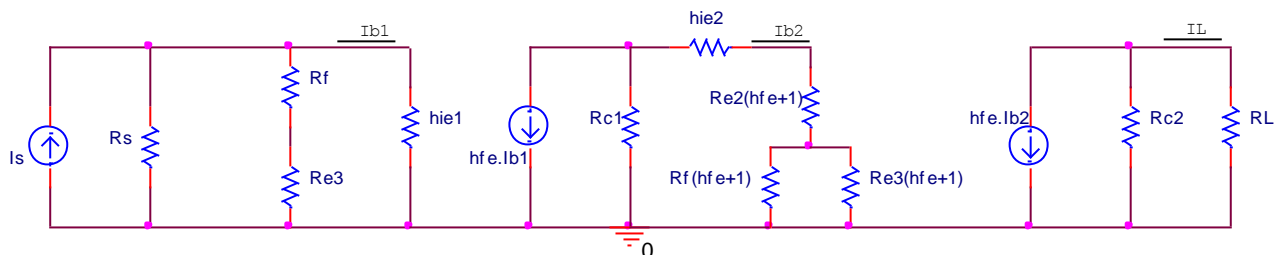
$$Z_{if}$$

$$Z_{of}$$

(*) No se incluyen las resistencias de polarización de base para simplificar el calculo

Desarrollo:

Circuito equivalente:





$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_o}{i_{b2}} \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \frac{i_{b1}}{i_i}$$

donde

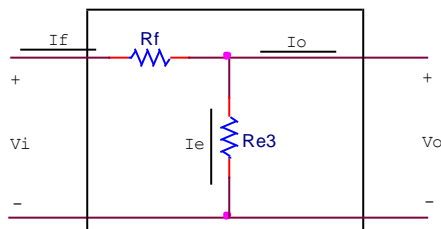
$$i_o = -hfe i_{b2} \frac{R_{c2}}{R_{c2} + R_L} \Rightarrow \frac{i_o}{i_{b2}} = hfe \frac{R_{c2}}{R_{c2} + R_L} = -2487,56$$

$$i_{b2} = -hfe i_{b1} \frac{R_{c1}}{R_{c1} + [hie_1 + R_{e2} + (R_f \parallel R_{e3})(hfe + 1)]} \Rightarrow \frac{i_{b2}}{i_{b1}} = -1,9927$$

$$i_{b1} = i_i \frac{R_f + R_{e3}}{R_f + R_{e3} + hie_1} \Rightarrow \frac{i_{b1}}{i_i} = \frac{R_f + R_{e3}}{R_f + R_{e3} + hie_1} = 0,9166$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_{b2}} \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \frac{i_{b1}}{i_i} = (-2487,56)(-1,9927)0,9166 \Rightarrow \boxed{A_i = 45,44}$$

Red de Realimentacion :



$$i_o = i_f + i_e$$

$$\text{donde } i_f = \frac{v_{e3} - v_i}{R_f} ; \quad i_e = \frac{v_{e3}}{R_{e3}}$$

reemplazando i_f, i_e

$$i_o = \frac{v_{e3} - v_i}{R_f} + \frac{v_{e3}}{R_{e3}}$$

$$\text{donde } v_i \ll v_{e3} \therefore i_f = \frac{v_{e3}}{R_f}$$

$$i_o = \frac{v_{e3}}{R_f} + \frac{v_{e3}}{R_{e3}}$$

$$i_o = v_{e3} \left(\frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_{e3}} \right) \Rightarrow \frac{i_o}{v_{e3}} = \frac{R_f + R_{e3}}{R_f R_{e3}}$$

$$\frac{i_o}{\frac{v_{e3}}{R_f}} = \frac{R_f + R_{e3}}{R_{e3}} \Rightarrow \frac{i_o}{i_f} = \frac{R_f + R_{e3}}{R_{e3}}$$

$$\text{Desensibilidad : } D = 1 + \beta A_i$$

$$D = 1 + 0,09 \cdot 45,44$$

$$\boxed{D = 5,1309}$$

invirtiendo ambos miembros

$$\beta = \frac{i_f}{i_o} = \frac{R_{e3}}{R_f + R_{e3}} = \frac{1K\Omega}{10K\Omega + 1K\Omega} \therefore \boxed{\beta = 0,09}$$

$$A_{if} = \frac{A_i}{D} = \frac{45,44}{5,1309}$$

$$\boxed{A_{if} = 8,85}$$

Impedancias :

$$Z_i = R_s \parallel hie_1 \parallel (R_f + R_{e3}) = 100K\Omega \parallel 1K\Omega \parallel (10K\Omega + 1K\Omega)$$

$$Z_i = 908,34\Omega$$

$$Z_o = R_{c2} \parallel R_L = 2K\Omega \parallel 10\Omega$$

$$Z_o = 9,95\Omega$$

$$Z_{if} = \frac{Z_i}{D} = \frac{908,34\Omega}{5,1309}$$

$$\boxed{Z_{if} = 177,03\Omega}$$

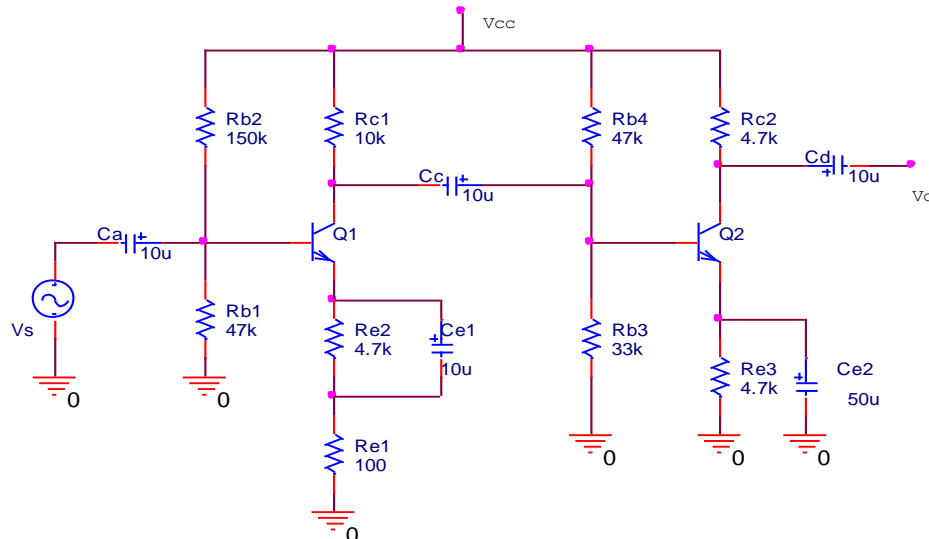
$$Z_{of} = Z_o D = 9,95\Omega \cdot 5,1309$$

$$\boxed{Z_{of} = 51,05\Omega}$$

- b. Dado el esquema circuital, aplicar al circuito una realimentación negativa de manera que cumpla con los siguientes requerimientos:

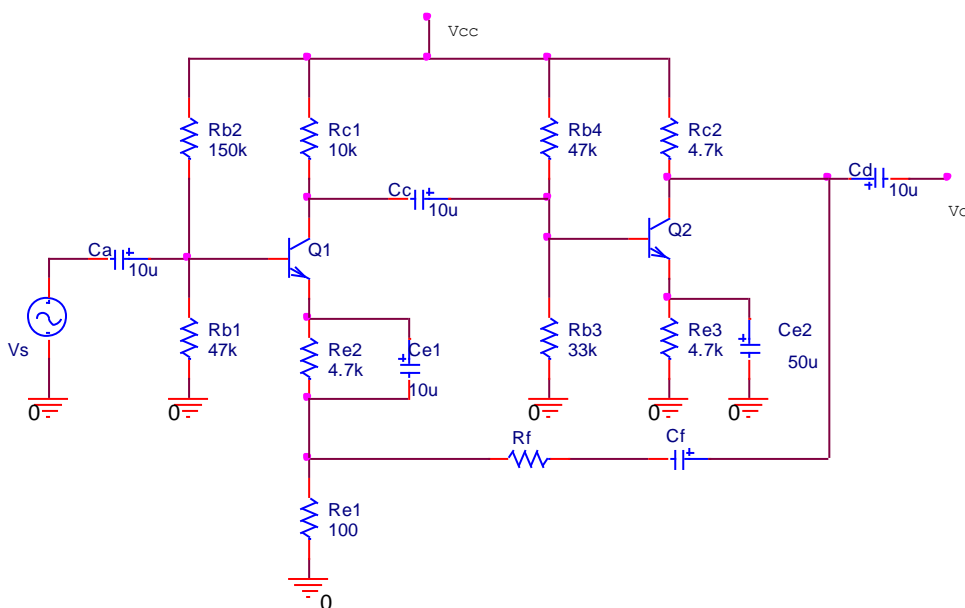
$$A_{vf} = 45,4$$

$$\text{donde } \Delta A_{vf} = 0,271\% \text{ para } \Delta A_v = 5\%$$



Desarrollo:

Debido a la configuración del esquema circuital se aplica una *Realimentación de Tensión en Serie*. El circuito con la realimentación se muestra a continuación:



$$A_{vf} = \frac{A_v}{D} \text{ si se aplica una variación a la función anterior}$$

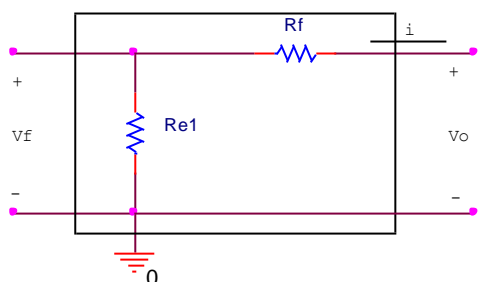
$$\text{donde } \Delta A_{vf} = \frac{\Delta A_v}{D} \text{ para } \Delta A_{vf} = 0,271\% \text{ y } \Delta A_v = 5\%$$

$$D = \frac{\Delta A_v}{\Delta A_{vf}} = \frac{5\%}{0,271\%} = 18,4$$

$$\text{para } A_{vf} = 45,4 \Rightarrow A_v = A_{vf} D = 45,4 \cdot 18,4 \Rightarrow \boxed{A_v = 835,36}$$

Con los datos obtenidos se puede, a continuación, encontrar el valor de la resistencia de realimentación R_f .

Cálculo de la red $\beta =$



$$v_o = i(R_{e1} + R_f)$$

$$v_f = i R_{e1}$$

$$\beta = \frac{v_f}{v_o} = \frac{i R_{e1}}{i(R_{e1} + R_f)} = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_f}$$

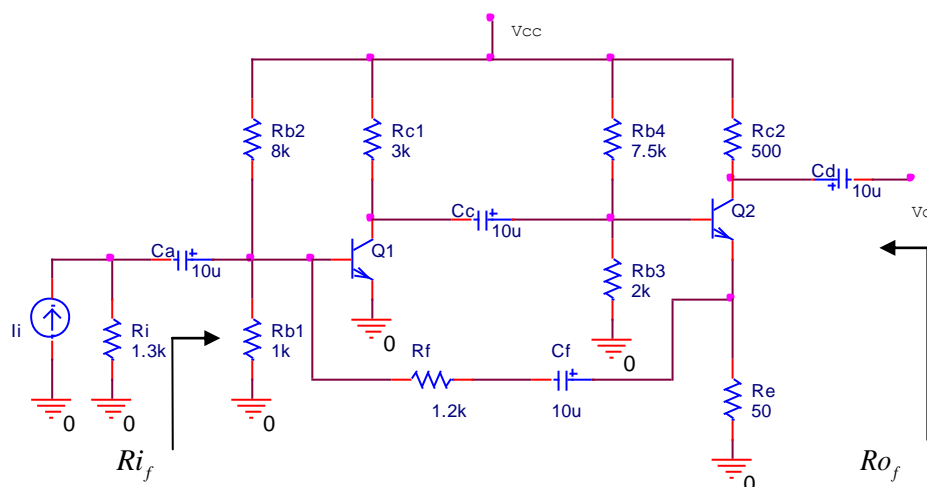
$$D = 1 + \beta A_v$$

$$\beta = \frac{D-1}{A_v} = \frac{18,4-1}{835,36} = 0,0208$$

$$\beta = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_f} \Rightarrow R_f = \frac{R_{e1} - R_{e1}\beta}{\beta} = R_{e1} \frac{1-\beta}{\beta} = 100\Omega \frac{1-0,0208}{0,0208}$$

$$R_f = 4,7K\Omega$$

c. Al siguiente circuito:



Datos :

$$hfe_1 = hfe_2 = 50$$

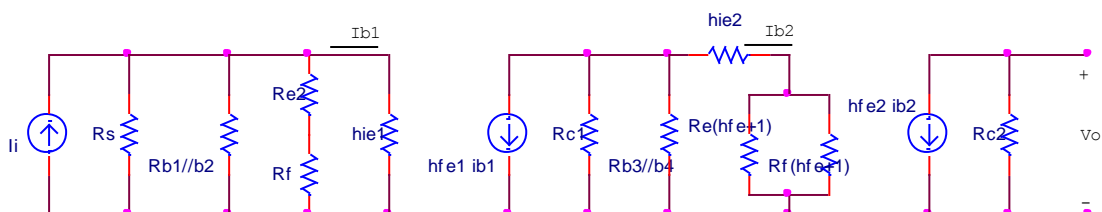
$$hie_1 = hie_2 = 1,1K\Omega$$

Calcular :

$$A_f ; Z_{if} ; Z_{of}$$

Desarrollo:

Circuito equivalente: En este caso consideramos que la carga es R_{C2} .



Realimentación de Corriente en Paralelo

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_o}{i_{b2}} \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \frac{i_{b1}}{i_i}$$

$$i_o = -hfe i_{b2} \Rightarrow \frac{i_o}{i_{b2}} = -50$$

$$i_{b2} = -hfe i_{b1} \frac{R_{c1} \parallel R_{b3//b4}}{(R_{c1} \parallel R_{b3//b4}) + [hie_2 + (R_f \parallel R_e)(hfe + 1)]} \Rightarrow \frac{i_{b2}}{i_{b1}} = -hfe \frac{R_{c1} \parallel R_{b3//b4}}{(R_{c1} \parallel R_{b3//b4}) + [hie_2 + (R_f \parallel R_e)(hfe + 1)]}$$

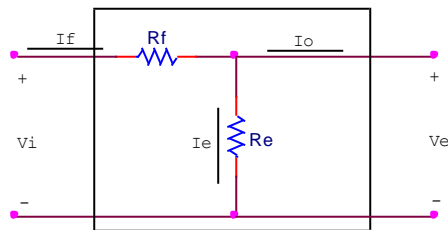
$$\frac{i_{b2}}{i_{b1}} = -11,28$$

$$i_{b1} = i_i \frac{R_s \parallel R_{b1//b2} \parallel (R_f + R_e)}{[R_s \parallel R_{b1//b2} \parallel (R_f + R_e)] + hie_1} \Rightarrow \frac{i_{b1}}{i_i} = \frac{R_s \parallel R_{b1//b2} \parallel (R_f + R_e)}{[R_s \parallel R_{b1//b2} \parallel (R_f + R_e)] + hie_1} = 0,2522$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_{b2}} \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \frac{i_{b1}}{i_i} = (-50)(-11,28)0,2522$$

$$A_i = 142,24$$

Red de Realimentación



$$\beta = \frac{i_f}{i_o} = \frac{\frac{v_e}{R_f}}{\frac{v_e}{R_f} + \frac{v_e}{R_e}}$$

$$\beta = \frac{\frac{v_e}{R_f}}{\frac{v_e}{R_e} + \frac{v_e}{R_f}} = \frac{R_e}{R_e + R_f}$$

$$\beta = \frac{50\Omega}{50\Omega + 1,2K\Omega} \Rightarrow \beta = 0,04$$

$$D = 1 + \beta A_i = 1 + 0,04 \cdot 142,24$$

$$D = 6,69$$

$$A_{if} = \frac{A_i}{D} = \frac{142,24}{6,69} \Rightarrow A_{if} = 21,26$$

Impedancias:

$$Z_i = R_{b1//b2} \parallel (R_f + R_e) \parallel hie_1 = (1K\Omega \parallel 8K\Omega) \parallel (1,2K\Omega + 50\Omega) \parallel 1,1K\Omega$$

$$Z_i = 352,84\Omega$$

$$Z_o = R_{c2}$$

$$Z_o = 500\Omega$$

$$Z_{if} = \frac{Z_i}{D} = \frac{352,84\Omega}{6,69}$$

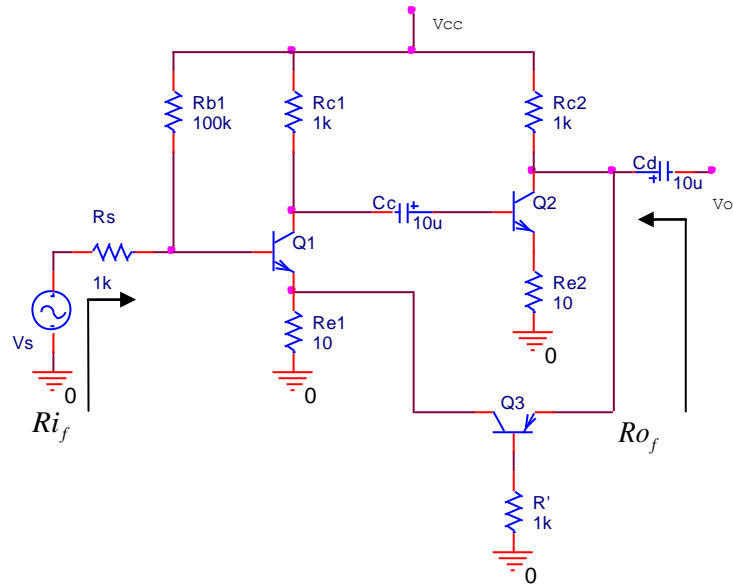
$$Z_{if} = 52,74\Omega$$

$$Z_{of} = Z_o \cdot D = 500\Omega \cdot 6,69$$

$$Z_{of} = 3,34K\Omega$$



d. Con el siguiente circuito, se pide:



Datos :

$$hfe = 40$$

$$hib = 10$$

Calcular :

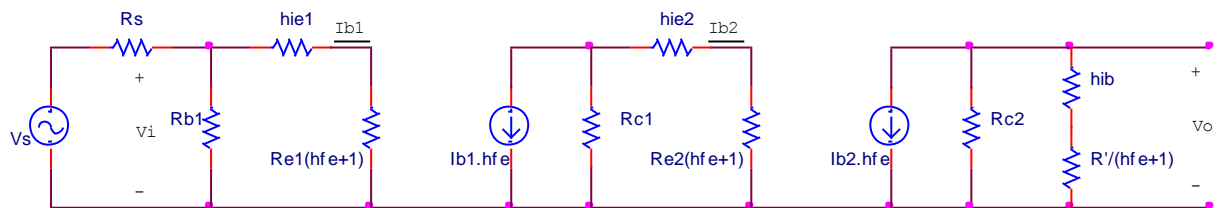
$$A_v ; A_{vf}$$

$$Z_i ; Z_o$$

$$Z_{if} ; Z_{of}$$

Desarrollo:

Circuito equivalente:



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{i_{b2}} \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \frac{i_{b1}}{v_i}$$

$$v_o = -hfe i_{b2} \left[R_{c2} \parallel \left(hib + \frac{R_{b3}}{hfe + 1} \right) \right] \Rightarrow \frac{v_o}{i_{b2}} = -hfe \left[R_{c2} \parallel \left(hib + \frac{R_{b3}}{hfe + 1} \right) \right] = -0,5703$$

$$i_{b2} = -hfe i_{b1} \frac{R_{c1}}{R_{c1} + [hie_2 + R_{e2}(hfe + 1)]} \Rightarrow \frac{i_{b2}}{i_{b1}} = -hfe \frac{R_{c1}}{R_{c1} + [hie_2 + R_{e2}(hfe + 1)]} = -21,97$$

$$i_{b1} = \frac{v_i}{hie_1 + R_{e1}(hfe + 1)} \Rightarrow \frac{i_{b1}}{v_i} = \frac{1}{hie_1 + R_{e1}(hfe + 1)} = 1,2195$$

$$A_v = \frac{v_o}{i_{b2}} \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \frac{i_{b1}}{v_i} = (-0,5703)(-21,97)1,2195$$

$$A_v = 15,28$$

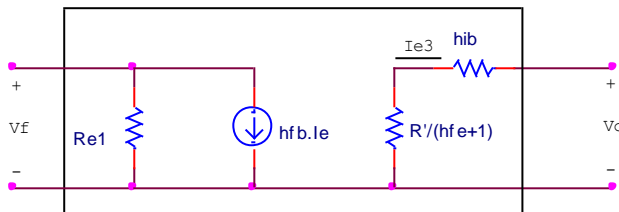


Recuerdese que:

$$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1} \quad \therefore \quad h_{ie} = h_{ib}(h_{fe} + 1) \Rightarrow \boxed{h_{ie} = 410\Omega}$$

$$-\alpha = h_{fb} = \frac{h_{fe}}{h_{fe} + 1} \Rightarrow \boxed{h_{fb} = 0,9756}$$

Red de Realimentación:



$$\beta = \frac{v_f}{v_o} = \frac{R_{e1} h_{fb} i_{e3}}{i_{e3} \left(h_{ib} + \frac{R'}{h_{fe} + 1} \right)} = \frac{R_{e1} h_{fb}}{h_{ib} + \frac{R'}{h_{fe} + 1}}$$

$$\text{donde } h_{fb} = \frac{h_{fe}}{h_{fe} + 1} = 0,9756$$

$$\boxed{\beta = 0,283}$$

$$D = 1 + \beta A_v = 1 + 0,283 \cdot 15,28$$

$$D = 5,33$$

$$A_{vf} = \frac{A_v}{D} = \frac{15,28}{5,33} \Rightarrow \boxed{A_{vf} = 2,864}$$

Impedancia:

$$Z_i = R_{b1} \parallel [h_{ie1} + R_{e1}(h_{fe} + 1)] = 100K\Omega \parallel [410\Omega + 10\Omega(40 + 1)]$$

$$Z_i = 850\Omega$$

$$Z_o = R_{c2} \parallel \left(h_{ib} + \frac{R'}{h_{fe} + 1} \right) = 1K\Omega \parallel \left(10\Omega + \frac{1K\Omega}{40 + 1} \right)$$

$$Z_o = 14,26\Omega$$

$$Z_{if} = Z_i D = 850\Omega \cdot 5,33$$

$$\boxed{Z_{if} = 4,53K\Omega}$$

$$Z_{of} = \frac{Z_o}{D} = \frac{14,26\Omega}{5,33}$$

$$\boxed{Z_{of} = 4,8\Omega}$$