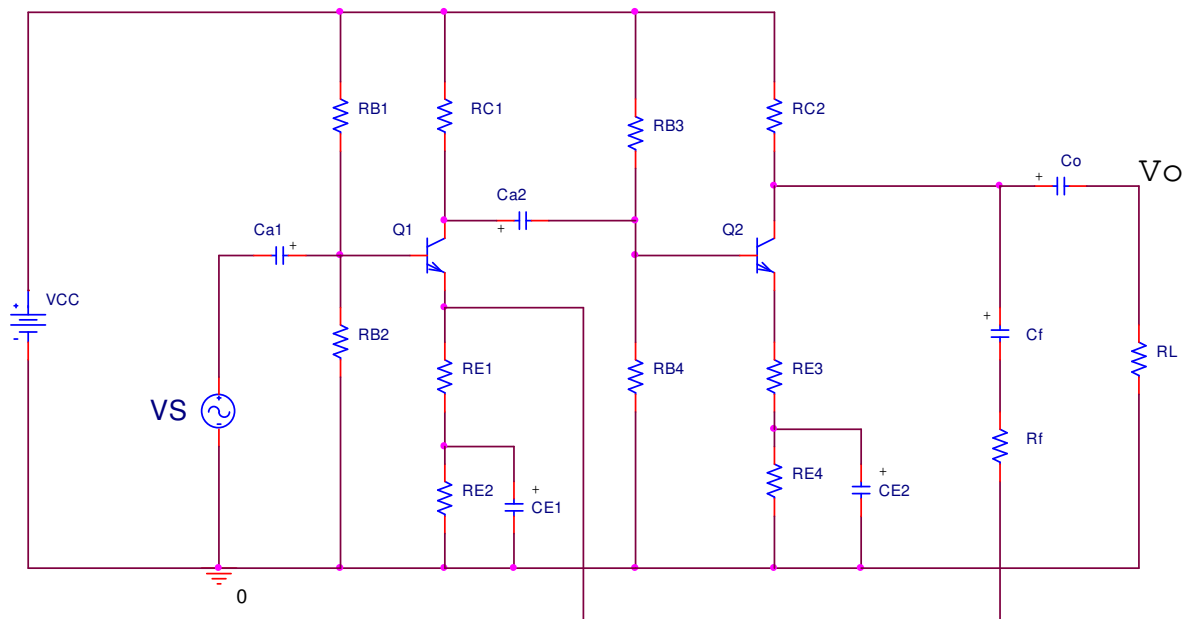




## Trabajo Práctico 1

### Tema: Realimentación Negativa. (Diseño) Rev01

- Diseñar un amplificador realimentado según la topología del circuito de la figura :



- Incluir el desarrollo analítico de  $A_v$ ,  $Z_o$ ,  $Z_i$ ,  $A_{vf}$ ,  $Z_{of}$ ,  $Z_{if}$ .
- Para el diseño considerar los siguientes requerimientos:
  - Ganancia de lazo cerrado: 12
  - Excursión de tensión de salida sobre  $R_L$ : 3 Vpp.
  - Frecuencia de trabajo del circuito: 1,5 KHz.
  - Variación máxima de la  $A_{vf}$  a lazo cerrado del 3%, para una variación a lazo abierto del 45%.
  - Impedancia de carga  $R_L \geq 500 \Omega$ ;  $V_{cc}$  máximo de 25 VDC.

#### Se pide:

- Diseñar ambas etapas para Máxima Excursión Simétrica (MES).
- Especificar la topología de realimentación utilizada.
- Enumerar las ventajas que presenta la topología de realimentación empleada respecto de los parámetros  $Z_i$  y  $Z_o$ .
- Corroborar prácticamente los valores obtenidos en los cálculos analíticos.
- Obtener y graficar la curva de respuesta en frecuencia del circuito.



## 1. Procedimiento para el diseño

### 1.1 Cálculo de la red de realimentación $\beta_{realim.}$

Para este cálculo la ganancia de lazo cerrado  $A_{vf}$  debe ser de 12. Entonces en base a los requerimientos solicitados, se tiene que la sensibilidad del amplificador será de,

$$S = \frac{\Delta A_{vf}}{\Delta A_v}$$

La inversa de la sensibilidad se denomina desensibilidad,

$$D = \frac{1}{S}$$
$$D = \frac{\Delta A_v}{\Delta A_{vf}} = \frac{45\%}{3\%} \Rightarrow D = 15$$
$$A_v = A_{vf} D$$
$$A_v = 12 \times 15 \Rightarrow A_v = 180$$

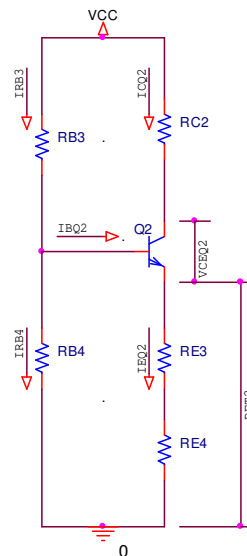
Por otro lado se sabe que la desensibilidad está dada por

$$D = (1 + \beta_{realim.} A_v) \Rightarrow \beta_{realim.} = \frac{D-1}{A_v} \Rightarrow \boxed{\beta_{realim.} = 0,0778}$$

### 1.2 Análisis de corriente continua para la segunda etapa amplificadora

Para obtener la máxima transferencia de energía entre etapas las impedancias de salida de la primera etapa amplificadora debe ser igual a la impedancia de entrada de la segunda etapa amplificadora.

Para lograr esto se hace un análisis de la segunda etapa amplificadora de manera aislada.





Se define entonces, la tensión de alimentación del circuito y la ganancia del transistor elegido, como así también un punto Q, por ejemplo

$$I_{CQ2} = 5mA, V_{CEQ2} = 10V \text{ y } V_{CC} = 22V$$

Con condición de estabilidad se define entonces,

$$V_E = \frac{1}{10} V_{CC} \Rightarrow V_E = I_{CQ2} \cdot R_{ET2} \therefore R_{ET2} = \frac{V_{CC}}{10 \cdot I_{CQ2}}$$

$$R_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{CEQ2} - I_{CQ2} \times R_{ET2}}{I_{CQ2}}$$

Condición de independencia de  $\beta$ ,

$$R_B = \frac{\beta \cdot R_{ET2}}{10}$$

Cálculo de  $R_{B3}$  y  $R_{B4}$

$$V_{BB2} = I_{CQ2} \cdot \left( R_{ET2} + \frac{R_B}{\beta} \right) + 0,7V$$

$$R_{B4} = \frac{R_B}{1 - \frac{V_{BB2}}{V_{CC}}}$$

$$R_{B3} = \frac{R_B}{\frac{V_{BB2}}{V_{CC}}}$$

Se rediseña para MES, considerando una carga  $R_L = 470\Omega$  (No consideraremos el efecto de de  $R_{E3}$  para  $R_{CA}$ ).

$$I_{CQ2(MES)} = \frac{V_{CC}}{R_{CC} + R_{CA}} = \frac{V_{CC}}{(R_{ET2} + R_{C2}) + (R_{C2} // R_L)}$$

$$V_{BB2(MES)} = I_{CQ2(MES)} \cdot \left( R_{ET2} + \frac{R_B}{\beta} \right) + 0,7V$$

Se obtienen entonces los nuevos valores

$$R_{B3(MES)}$$

$$R_{B4(MES)}$$

Para el cálculo del  $h_{ie2}$

$$h_{ie2} = 25mV \frac{h_{fe2}}{I_{CQ2(MES)}}$$



Para el análisis de ganancia en la segunda etapa, mostramos el circuito equivalente, donde se puede observar que,

$$A_{v2} = \frac{V_{o2}}{V_{o1}}$$

$$V_{o2} = i_{b2} \cdot h_{fe2} \cdot \left[ R_{c2} // (R_f + R_{E1}) // R_L \right] = i_{b2} \cdot h_{fe2} \cdot \frac{R_L}{2}$$

$$V_{o1} = i_{b2} \cdot \left[ h_{ie2} + R_{E3} (h_{fe2} + 1) \right]$$

$$A_{v2} = \frac{h_{fe2} \cdot \frac{R_L}{2}}{\left[ h_{ie2} + R_{E3} (h_{fe2} + 1) \right]}$$

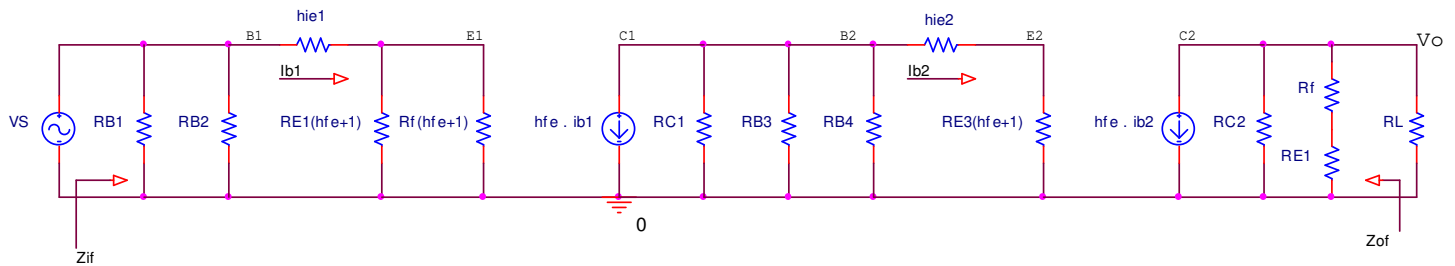
En ese momento se distribuirá la ganancia final deseada entre los dos transistores entonces se propone  $A_{v1} = 45$  y  $A_{v2} = 4$ .

Entonces de la ecuación anterior se puede despejar  $R_{E3}$

$$R_{E3} = \left( \frac{h_{fe} \cdot R_L}{2 \cdot A_{v2}} - h_{ie2} \right) \frac{1}{(h_{fe2} + 1)}$$

Entonces

$$R_{ET2} = R_{E3} + R_{E4} \Rightarrow R_{E4} = R_{ET2} - R_{E3}$$





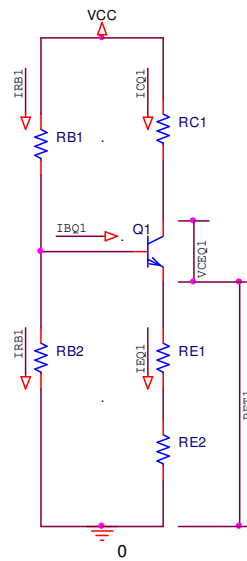
### 1.3 Análisis de corriente continua para la primera etapa amplificadora

Para una máxima transferencia de energía entre etapas, se realiza la siguiente igualdad, donde  $R_{C1}$  es la impedancia de salida de la primera etapa.

$$R_{C1} = [R_{B3} // R_{B4}] // [h_{ie2} + R_{E3}(h_{fe} + 1)]$$

Para el análisis de continua se procederá de forma similar a lo que se hizo anteriormente.

$$I_{CQ1} = 175\mu A, V_{CEQ1} = 10V$$



Con condición de estabilidad se define entonces,

$$V_E' = \frac{1}{10} V_{CC} \Rightarrow V_E' = I_{CQ1} \cdot R_{ET1} \therefore R_{ET1} = \frac{V_{CC}}{10 \cdot I_{CQ1}}$$

Condición de independencia de  $\beta$ ,

$$R_B' = \frac{\beta \cdot R_{ET1}}{10}$$

Se rediseña para MES, considerando una carga considerando la carga en la segunda etapa

$$I_{CQ2(MES)} = \frac{V_{CC}}{R_{CC} + R_{CA}} = \frac{V_{CC}}{(R_{ET1} + R_{C1}) + (R_{C1} // Z_{ix})}$$

$$V_{BB1(MES)} = I_{CQ1(MES)} \left( R_{ET1} + \frac{R_B'}{\beta} \right) + 0,7V$$

Se obtienen entonces los nuevos valores

$$R_{B1(MES)}$$

$$R_{B2(MES)}$$

Para el cálculo del  $h_{ie1}$

$$h_{ie1} = 25mV \frac{h_{fe1}}{I_{CQ1(MES)}}$$



Para el análisis de ganancia en la primera etapa, mostramos el circuito equivalente, donde se puede observar que,

$$A_{v1} = \frac{V_{o1}}{V_{oi}}$$

$$V_{o1} = i_{b1} \cdot h_{fe1} \cdot \left\{ R_{C1} // R_{B3} // R_{B4} // \left[ h_{ie2} + R_{E3} (h_{fe1} + 1) \right] \right\}$$

$$V_{oi} = i_{b1} \cdot \left[ h_{ie1} + (R_{E1} // R_f) (h_{fe} + 1) \right]$$

Para obtener la máxima transferencia de potencia entre la primera y segunda etapa

$$A_{v1} = \frac{1}{2} h_{fe1} \frac{[R_{B3} // R_{B4}] // [h_{ie2} + R_{E3} (h_{fe} + 1)]}{[h_{ie1} + (R_{E1} // R_f) (h_{fe} + 1)]}$$

$$R_{E1} // R_f = \left\{ \frac{[R_{B3} // R_{B4}] // [h_{ie2} + R_{E3} (h_{fe} + 1)]}{2 \cdot A_{v1}} \cdot h_{fe1} - h_{ie1} \right\} \frac{1}{h_{fe1} + 1}$$

Teniendo en cuenta la función de transferencia de una realimentación de tensión en serie, se tiene,

$$\beta_{realim.} = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_f} = 0,0778$$

Con el valor que dé el paralelo  $R_{E1} // R_f$  y la ecuación de  $\beta$  se tiene un sistema de ecuaciones con dos incógnitas, resolviendo el mismo se obtienen los valores de  $R_{E1}$  y  $R_f$

Ahora es posible encontrar el valor de  $R_{E2}$

$$R_{E2} = R_{ET1} - R_{E1}$$

Los valores numéricos de  $Z_{if}$  y  $Z_{of}$  quedan

$$Z_i = (R_{B1} // R_{B2}) // \left\{ h_{ie1} + \left[ R_f (h_{fe1} + 1) // R_{E1} (h_{fe1} + 1) \right] \right\}$$

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

$$Z_o = R_{C2} // (R_f + R_{E1})$$

$$Z_{of} = \frac{Z_o}{D}$$