

**GRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA, U.P.M.**  
**FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA**  
 CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA – JUNIO DE 2013  
 SEGUNDO EXAMEN PARCIAL

APELLIDOS:		NOMBRE:	
------------	--	---------	--

- Escriba su nombre y apellidos en los recuadros.
- Solamente se recogerá el cuadernillo.
- No separe las hojas ni añada hojas adicionales.
- Dispone de todo el espacio en blanco que hay en el cuadernillo para responder.

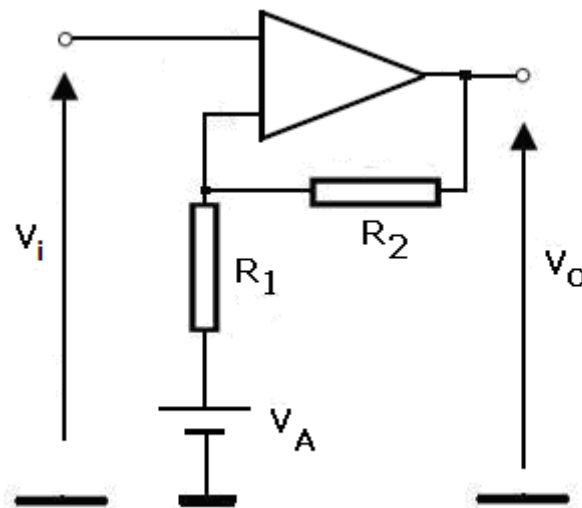
**EJERCICIO 1. (3 puntos)**

Se monta el circuito que muestra el esquema de la Figura 1, en la que  $V_A$  es una tensión continua de control. Suponiendo siempre un A.O. ideal alimentado con  $+V_{cc}$  y  $-V_{cc}$ , responda a las siguientes cuestiones:

1. Diga razonadamente a qué patilla debe conectarse  $V_i$  para que el montaje responda a una configuración de Comparador Schmitt. .... (0,25 p.)

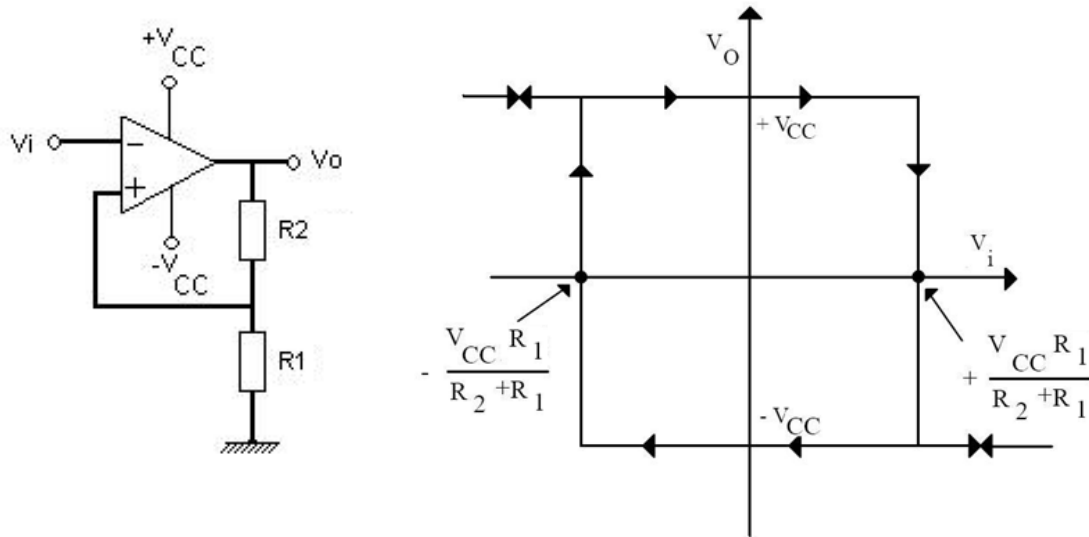
*La entrada  $V_i$  debe conectarse a la entrada inversora (v-) mientras que la realimentación de  $V_o$  debe conectarse a la entrada no inversora (v+).*

2. En la condición del apartado anterior, obtenga y represente gráficamente la relación entre la tensión de salida  $V_o$  y la tensión de entrada  $V_i=V_-$  de dicho montaje cuando la tensión  $V_A=0V$ . En la gráfica debe indicar los valores de los parámetros que caracterizan el comportamiento del circuito (valores máximos de la tensión de salida, umbrales de conmutación, etc.). .... (0,75 p.)



**Figura 1**

Si  $V_A=0$ , el circuito de la figura 1 es un comparador Schmitt estándar, según muestra la figura de la izquierda. La relación entre la entrada  $V_i$  y la salida  $V_o$  de dicho montaje presenta un ciclo de histéresis como se muestra en la figura de la derecha, en la que se indican los valores máximos y los umbrales de comparación.



Seguidamente se hace funcionar el circuito con un valor de  $V_A$  positivo.

3. Obtenga las expresiones de los valores de los umbrales de comparación en función del valor de  $V_A$ ..... (0,75 p.)

Siendo la salida del A.O.  $V_o = +V_{CC}$ :

$$V_{Th1} = V_A + \left( V_{CC} - V_A \right) \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_A \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_{CC} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Siendo la salida del A.O.  $V_o = -V_{CC}$ :

$$V_{Th2} = V_A + \left( -V_{CC} - V_A \right) \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_A \frac{R_1}{R_1 + R_2} - V_{CC} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

4. Si  $R_2 = R_1$ , indique el valor que debe tener  $V_A$  para que el umbral de comparación inferior sea de 0V. .... (0,5 p.)

Si  $V_{Th2} = 0V$ :

$$V_{Th2} = 0 = V_A \frac{R_1}{R_1 + R_1} - V_{CC} \frac{R_1}{R_1 + R_1} \Rightarrow V_A \frac{1}{2} - V_{CC} \frac{1}{2} = 0 \Rightarrow V_A = V_{CC}$$

5. Calcule el valor de la tensión umbral superior para el valor de  $V_A$  obtenido en el apartado anterior. .... (0,5 p.)

Si  $V_A = V_{CC}$ :

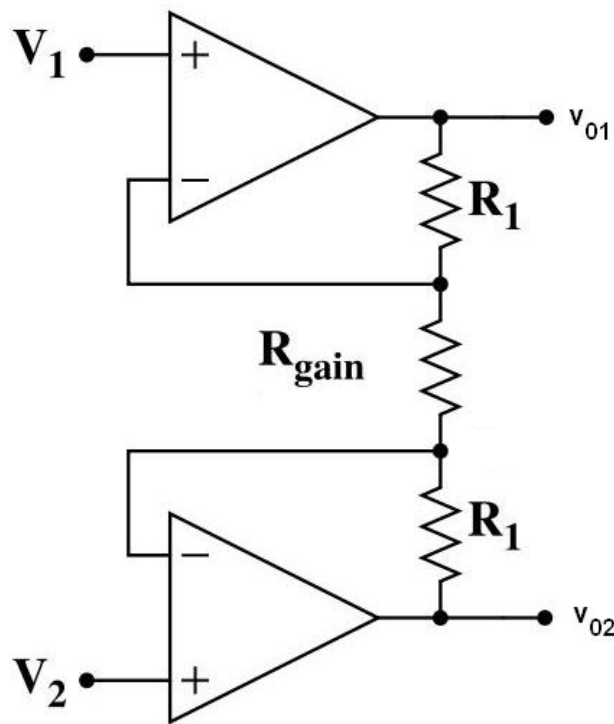
$$V_{Th1} = V_A \frac{R_1}{R_1 + R_1} + V_{CC} \frac{R_1}{R_1 + R_1} \Rightarrow V_{CC} \frac{1}{2} + V_{CC} \frac{1}{2} \Rightarrow V_{Th1} = V_{CC}$$

6. Si la tensión de entrada es  $V_i=2 \cdot V_{cc}$  y además se cumple  $V_A=V_{cc}$ , indique el valor de la tensión  $V_o$  que habría a la salida..... (0,25 p.)

Sustituyendo:  $V_o = -V_{cc}$

**EJERCICIO 2. (1 punto)**

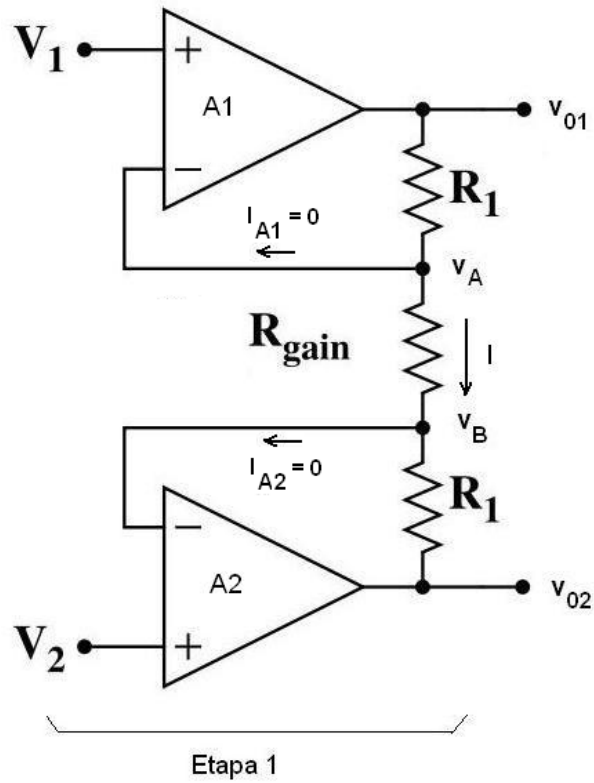
El circuito mostrado en la Figura 1 es una de las etapas de un amplificador diferencial de instrumentación con aplicaciones biomédicas.



**Figura 1**

1. Suponiendo que los amplificadores operacionales son ideales ( $A_d=\infty$ ,  $CMRR=\infty$ ,  $Z_{in}=\infty$ ,  $Z_{out}=0$ ), obtenga la expresión de la ganancia diferencial  $A_{vd}$  del montaje, definida como la relación entre la diferencia de tensiones de las salidas ( $v_{o1}-v_{o2}$ ) y la diferencia de tensiones de las entradas ( $V_1 - V_2$ ). ..... (1 p.)

*La impedancia de entrada de los amplificadores ( $A_1, A_2$ ) es infinita por ser ideales, por tanto solo circula la corriente  $I$  por las resistencias  $R_1$  y  $R_{gain}$ . Además existe cortocircuito virtual en los dos amplificadores, ya que la realimentación se produce en ambos casos a la entrada inversora, por lo que  $V_1 = v_A$  y  $V_2 = v_B$ .*



Podemos poner,

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_{\text{gain}}} = \frac{v_{01} - v_A}{R_1} \Rightarrow v_{01} = V_1 \left( 1 + \frac{R_1}{R_{\text{gain}}} \right) - V_2 \frac{R_1}{R_{\text{gain}}}$$

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_{\text{gain}}} = \frac{v_B - v_{02}}{R_1} \Rightarrow v_{02} = V_2 \left( 1 + \frac{R_1}{R_{\text{gain}}} \right) - V_1 \frac{R_1}{R_{\text{gain}}}$$

Restando:

$$v_{01} - v_{02} = (V_1 - V_2) \left( 1 + \frac{2R_1}{R_{\text{gain}}} \right) \Rightarrow A_d = \frac{v_{01} - v_{02}}{V_1 - V_2} = 1 + \frac{2R_1}{R_{\text{gain}}}$$

**EJERCICIO 3.** (2 puntos)

**NOTA:** Debe justificar sus respuestas.

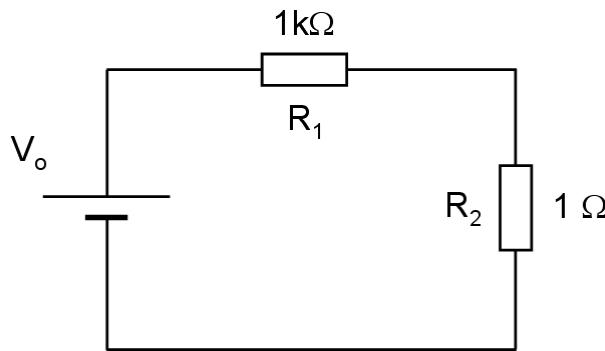
Se dispone de un conjunto de resistores de  $1\text{ k}\Omega$  de valor nominal (potencia nominal  $0,5\text{ W}$ ) y de otro conjunto de resistores de  $1\ \Omega$  de valor nominal (potencia nominal  $0,1\text{ W}$ ), ambos tipos de resistores pertenecientes a la serie E12 (tolerancia  $\pm 10\%$ ).

1. Obtenga el valor de la máxima corriente que podría circular por cualquiera de los resistores de  $1\ \Omega$  nominal de modo que en ningún caso se excediese la limitación impuesta por su potencia nominal..... (0,7 p.)

*Dado que la tolerancia es del 10%, los valores posibles de la resistencia de valor  $1\ \Omega$  nominal, están comprendidos entre  $0,9$  y  $1,1\ \Omega$ .*

*Para asegurarnos que no se supera la potencia nominal de  $0,1\text{ W}$ , independientemente del valor real de la resistencia, la corriente máxima viene limitada por la resistencia de mayor valor ( $P_N = I^2 \cdot R_M$ ), por lo que  $I_{\text{máx}} = \sqrt{0,1\text{ W} / 1,1\ \Omega} = 0,3\text{ A}$ .*

Se selecciona aleatoriamente un resistor de cada valor de entre los disponibles y se monta con ellos el circuito mostrado en la Figura 1.



**Figura 1**

2. Calcule el valor máximo que puede tomar la resistencia eléctrica total de la combinación en serie de los dos resistores. .... (0,4 p.)

*El valor máximo, dado que las dos resistencias están en serie, corresponderá a la suma de los valores máximos de ambas,  $R_{\text{máx}} = 1100\ \Omega + 1,1\ \Omega = 1101,1\ \Omega$ . El valor mínimo será  $R_{\text{mín}} = 900\ \Omega + 0,9\ \Omega = 900,9\ \Omega$ .*

3. Al aumentar la tensión de la batería se llegará a un valor que hará que alguno de los resistores disipe su potencia nominal. Teniendo en cuenta el límite de la potencia nominal que pueden disipar los resistores, ¿cuál de los dos resistores es el que limita la corriente máxima que puede circular por el circuito? ..... (0,2 p.)

*La corriente máxima será la que haga que alguno de los resistores disipe su potencia máxima. El valor de la corriente para que los resistores disipen la potencia nominal será  $I_1 = P_N / R_N = 0,5\text{ W} / 1000\ \Omega = 0,5 \times 10^{-3}\text{ A}$  e  $I_2 = 0,1\text{ W} / 1\ \Omega = 0,1\text{ A}$ , obviamente es el resistor de  $1000\ \Omega$  quien limita la corriente máxima.*

En el catálogo de especificaciones de los resistores de 1 kΩ nominal se encuentra el gráfico mostrado en la Figura 2.

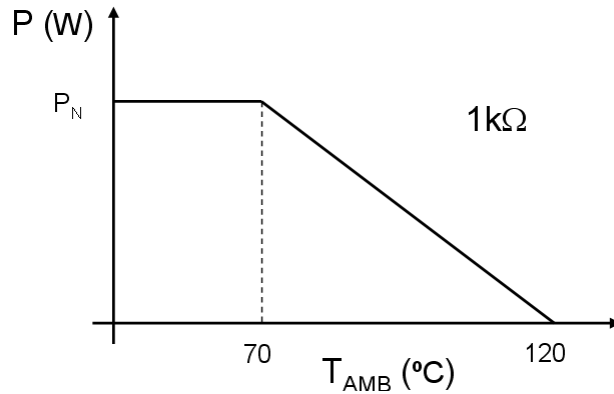


Figura 2

4. Si la temperatura ambiente de operación del circuito aumentase a 90 °C, ¿qué potencia podría disipar como máximo el resistor de 1 kΩ nominal?..... (0,7 p.)

De acuerdo con el grafico, cuando la temperatura ambiente es más alta de 70 °C la potencia que puede disipar como máximo el resistor es menor que la potencia nominal. Su valor es  $P = P_N - [P_N / (120-70) \text{ } ^\circ\text{C}] \cdot (90-70) \text{ } ^\circ\text{C} = 0,6 \cdot P_N = 0,6 \cdot 0,5\text{W} = 0,3\text{W}$ .

**EJERCICIO 4. (4 puntos)**

Se ha montado un amplificador como el mostrado en la Figura 1, con un generador ideal en la entrada de amplitud V<sub>i</sub> y condensadores que se pueden considerar de capacidad infinita. El transistor presenta en activa una tensión |V<sub>BE</sub>| = 0,7 V y una β = 200. Considere en los cálculos que V<sub>T</sub> = kT/q = 25 mV.

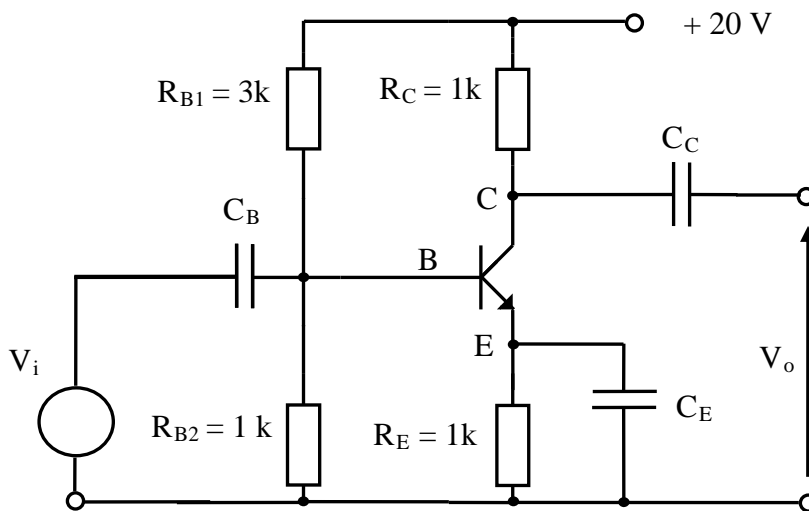
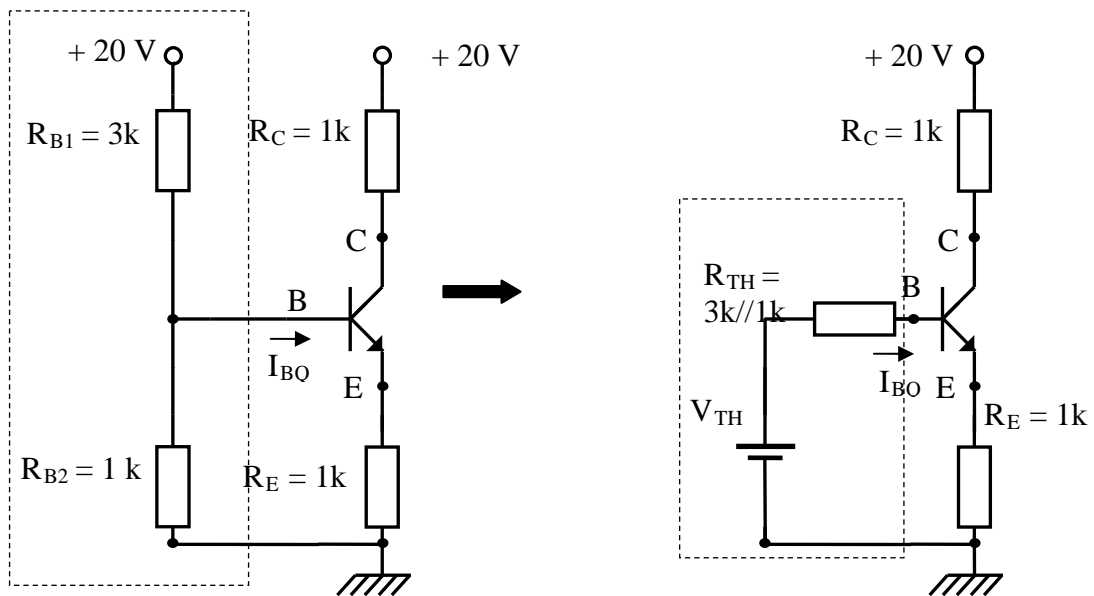


Figura 1

1. Calcule el equivalente de Thévenin del circuito que se ve en continua desde la base del transistor (el circuito formado por las resistencias de polarización y la fuente de alimentación). ..... (0,5 p.)

El circuito anterior en continua es el de la izquierda de la figura siguiente. Tomando los elementos que se ven desde la base ( $V_{CC} = 15\text{ V}$  y  $R_{B1}$  y  $R_{B2}$ ), resulta el circuito de la derecha, donde

$$V_{TH} = \frac{V_{CC}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{20V * 1k}{3k + 1k} = 5V \qquad R_{TH} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{3k * 1k}{3k + 1k} = 0,75k\Omega = 750\Omega$$



2. Halle las tensiones de reposo de emisor, base y colector. Justifique las aproximaciones que realice. .... (1 p.)

Supongamos que el circuito está polarizado en zona activa ( $V_{EQ} < V_{BQ} < V_{CQ}$ ). La malla formada por el circuito conectado a la base desde masa, la unión base-emisor y del emisor a masa da la siguiente ecuación:

$$V_{TH} = I_{BQ} \cdot R_{TH} + V_{BE} + I_{EQ} \cdot R_E, \text{ por lo que,}$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_{BQ} \cdot R_{TH} + I_{EQ} \cdot R_E = I_{BQ} \cdot R_{TH} + I_{BQ}(\beta + 1) \cdot R_E = I_{BQ}(R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E) \Rightarrow$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E} \approx \frac{V_{TH} - V_{BE}}{(\beta + 1) \cdot R_E} = \frac{4,3V}{201 \cdot 1k\Omega} \approx 21,4\mu A \Rightarrow I_{EQ} = (\beta + 1)I_{BQ} \approx 4,3mA$$

Observe que  $R_{Th} = 0,75k\Omega$  es despreciable frente a  $(\beta + 1)R_E = 201k\Omega$ , por ser 300 veces menor y sumarse ambas en la expresión anterior, y despreciarla es equivalente a admitir que la caída de tensión  $I_{BQ}R_{Th}$  es despreciable frente a  $I_{EQ}R_E$ . Es inmediato ver que, en esas circunstancias (no hay caída en  $R_{Th}$ ),  $V_{BQ} = V_{TH} = 5\text{ V}$ ,  $V_{EQ} = V_{BQ} - V_{BE} = 4,3\text{V}$  y, por lo tanto,  $V_{CQ} = 20V - I_{CQ}R_C \approx 20V - I_{EQ}R_C = 20 - 4,3V = 15,7\text{V}$ . Como  $V_{BQ} < V_{CQ}$ ,  $V_{EQ} < V_{BQ}$  la situación es coherente con la suposición inicial (zona activa).

3. Indique razonadamente a qué tipo de configuración básica de amplificación corresponde el circuito (EC, BC, CC). ..... (0,5 p.)

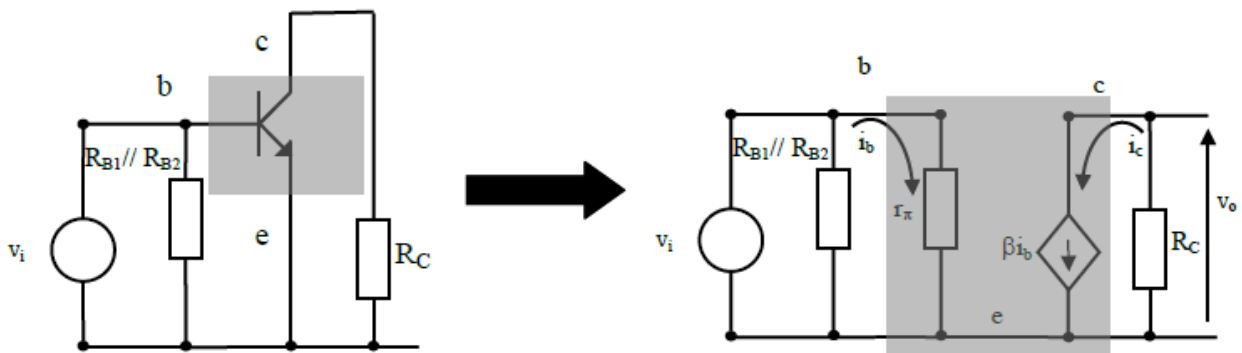
Se trata de un amplificador en emisor común ya que la señal a amplificar se la aplica a la base y la amplificada se obtiene en colector. Al estar, en alterna, el emisor puesto a tierra indica que no es degenerado.

Suponga en lo que sigue que  $I_{CQ} = 4,3 \text{ mA}$  independientemente del resultado que haya obtenido al resolver el apartado 2.

4. Dibuje el circuito equivalente de pequeña señal del amplificador y calcule los valores de los parámetros del mismo a frecuencias medias, suponiendo  $r_o = \infty$ . ..... (1 p.)

Teniendo en cuenta que la fuente de alimentación es un cortocircuito para alterna, el circuito queda como se ve en la figura de la izquierda que, una vez sustituido el transistor por su equivalente de pequeña señal en el punto de polarización, queda como se ve en la derecha, donde

$$r_{\pi} = \frac{KT}{qI_{BQ}} = \frac{V_T}{I_{BQ}} = \frac{(\beta + 1)V_T}{I_{EQ}} \approx \frac{200 * 25mV}{4,3mA} = 1,16k\Omega$$



5. Halle la impedancia de entrada, la ganancia de tensión (módulo y fase) y la impedancia de salida del amplificador. .... (1 p.)

La ganancia se puede obtener directamente de la figura de arriba (derecha) y resulta ser:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-i_c R_C}{i_b r_{\pi}} = \frac{-\beta i_b R_C}{i_b r_{\pi}} = \frac{-\beta R_C}{r_{\pi}} = -\frac{200 * 1k}{1,16k} \approx -172,4$$

o bien

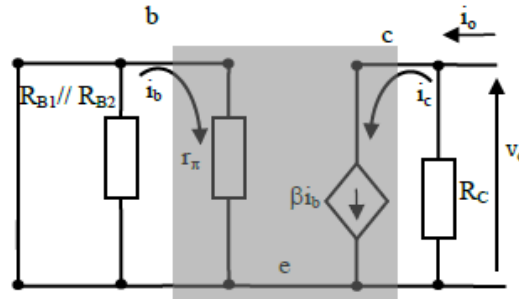
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-i_c R_C}{i_b r_{\pi}} = \frac{-\beta i_b R_C}{i_b r_{\pi}} = \frac{-\beta R_C}{r_{\pi}} = \frac{-\beta R_C}{\frac{V_T}{I_{BQ}}} = -\frac{\beta I_{BQ} R_C}{V_T} = -\frac{I_{CQ} R_C}{V_T} \approx -\frac{4,3mA * 1k}{25mV} = -172,4$$

La impedancia de entrada es la relación entre la tensión del generador de señal de la entrada y la corriente que tiene que proporcionar a dicha entrada. Dado que es un circuito unilateral (la entrada es independiente de la salida, pero no al revés), se puede seguir utilizando el mismo circuito y se observa que el generador de tensión en la base ve una resistencia que es el paralelo de las dos resistencias de polarización y  $r_{\pi}$  es decir



$$Z_{in} = \frac{v_i}{i_i} = (R_{B1} // R_{B2} // r_{\pi}) = 3k // 1k // 1,16k = 455\Omega$$

En lo que respecta a la impedancia de salida, será el cociente entre la tensión que apliquemos en la salida y la corriente que absorba el circuito cuando cortocircuitamos la entrada ( $v_o/i_o$  en la figura siguiente)



Se ve que, dado que no hay tensión en la entrada del circuito equivalente de alterna (se supone que la hemos cortocircuitado),  $i_b$  será cero, por lo que desde la salida sólo se ve a  $R_C$  en paralelo con un generador de corriente nula. Es decir:

$$Z_{out} = \frac{v_o}{i_o} = R_C = 1k\Omega$$