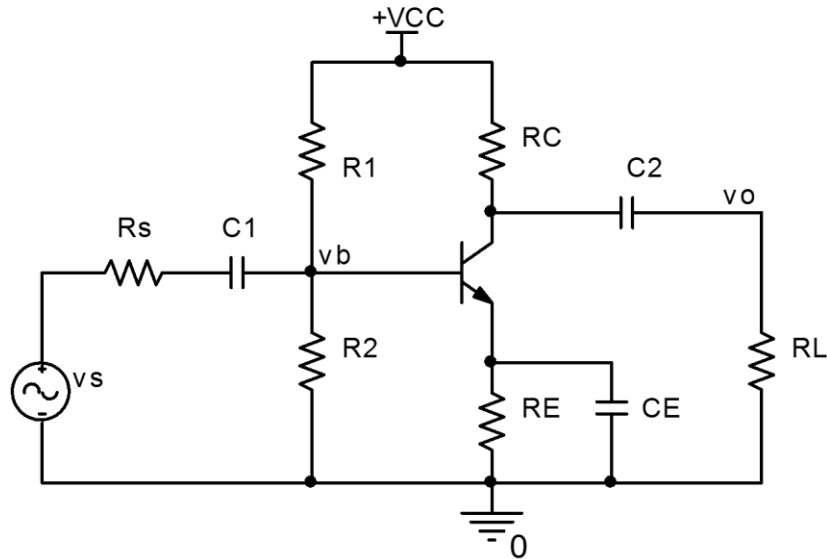


Electrónica Analógica 1

Trabajo Práctico 4: El transistor bipolar como amplificador. Modelo equivalente de pequeña señal. Parámetros híbridos. Configuraciones multietapa.

Análisis en pequeña señal: método de trabajo

La figura representa una etapa amplificadora elemental con transistor bipolar en la configuración denominada EC (Emisor Común)



En el esquema circuital del amplificador EC de la figura el capacitor C_1 , llamado de acople, permite aislar la corriente continua de polarización proveniente de la fuente VCC a través del divisor de tensión R_1 , R_2 , de la fuente de señal v_s ($V_s \sin \omega t$) y de su resistencia interna R_s .

Cuando no hay señal alterna aplicada (frecuencia cero) la reactancia de C_1 es infinita.

A la frecuencia de la señal que se pretende amplificar se elige el valor de C_1 de modo tal que su reactancia sea lo suficientemente pequeña, comparada con R_s , de modo que el efecto de C_1 sobre la señal de entrada pueda despreciarse.

El capacitor C_2 permite el acoplamiento de la etapa con la etapa siguiente que en la figura está representada por un resistor equivalente R_L . El efecto de C_2 es prevenir interacciones de corriente continua entre etapas adyacentes.

El capacitor C_E , llamado de desacople o de "by-pass", evita que el resistor de emisor R_E (necesario para la polarización del dispositivo) influya en el funcionamiento de corriente alterna, y por lo tanto disminuya la ganancia del amplificador (ya que una parte de la señal a amplificar se derivaría por R_E).

Para realizar el análisis de amplificadores se realizan dos cálculos independientes: corriente continua (que permite obtener el punto de reposo estático) y corriente alterna (que permite caracterizar el comportamiento con la señal a amplificar). Luego se aplica el teorema de superposición (que resulta válido cuando los modelos utilizados son lineales).

1- Circuito equivalente para análisis en corriente continua

Se anula la fuente de señal v_s ($v_s = 0$). Los capacitores se comportan como circuitos abiertos, ya que su reactancia es infinita para corriente continua. El circuito resultante permite calcular el punto de reposo estático Q , necesario para poder encontrar los parámetros que modelizan al dispositivo en pequeña señal.

Electrónica Analógica 1

2- Circuito equivalente para análisis en corriente alterna

Se anulan las fuentes de corriente continua y se consideran (salvo indicación en contrario) los capacitores como cortocircuitos a la frecuencia de interés. Se reemplaza el transistor por su modelo equivalente lineal de señal.

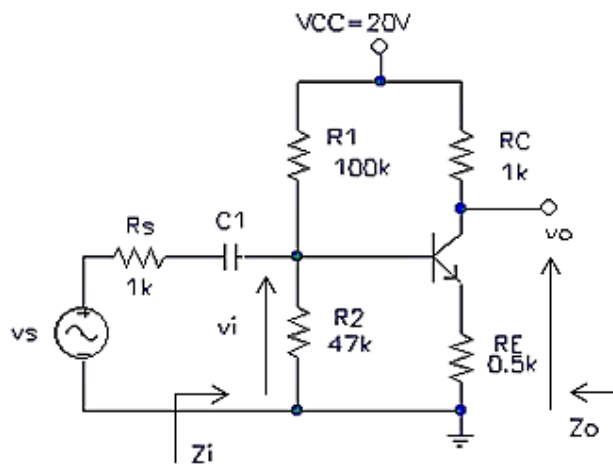
Para construir este circuito se pueden seguir las siguientes reglas:

- Dibujar en forma clara el diagrama de conexiones del circuito señalando los terminales del transistor E, B y C, que serán los puntos de partida del circuito equivalente a construir.
- Reemplazar al transistor por su modelo equivalente de señal.
- Transferir todos los elementos del circuito real al equivalente manteniendo intactas las posiciones relativas de los mismos. Las fuentes independientes de continua se reemplazan por su resistencia interna, en caso de poseerla. La fuente de tensión continua ideal se reemplaza por un cortocircuito y la fuente de corriente ideal por un circuito abierto.
- Se resuelve el circuito lineal resultante aplicando métodos de resolución conocidos de la teoría de circuitos.

Ejercicio 1

El transistor 2N3904 (cuyas hojas de datos se dieron en el TP4) se usa en la etapa amplificadora mostrada en la siguiente figura. ($C1 \rightarrow \infty$).

- Calcular el punto de reposo Q. (Utilizar datos de la hoja de datos)
- Utilizando la hoja de datos del dispositivo obtener valores de los parámetros h
- Determinar el tipo de configuración y dibujar el circuito equivalente de parámetros h
- Verificar si se cumplen las condiciones para usar el modelo híbrido simplificado y en tal caso dibujar el circuito equivalente resultante.
- Calcular $A_v = v_o/v_i$, $A_{vs} = v_o/v_s$, A_i , Z_i y Z_o .
- Se coloca un capacitor $C_E \rightarrow \infty$ (capacitor de 'by pass') en paralelo con R_E :
 - ¿Qué efecto tiene sobre el punto de polarización?
 - ¿Qué efecto tiene sobre $A_v = v_o/v_i$, $A_{vs} = v_o/v_s$, A_i , Z_i y Z_o ?
- Calcular, comparar con d) y sacar conclusiones.

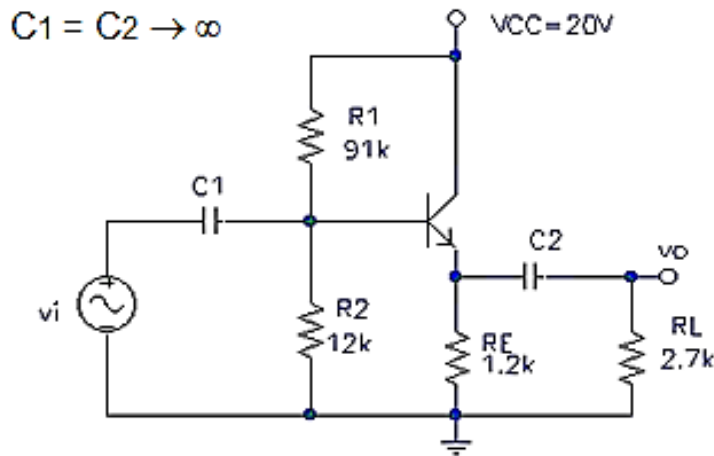


Electrónica Analógica 1

Ejercicio 2

Para la siguiente configuración de seguidor por emisor (colector común) y utilizando el modelo de parámetros h de emisor común:

- Dibujar el circuito equivalente y para los datos del transistor verificar si puede usarse el modelo simplificado.
- Calcular $A_v = v_o/v_i$, Z_i y Z_o . ¿Qué características presenta esta configuración?



Ejercicio 3

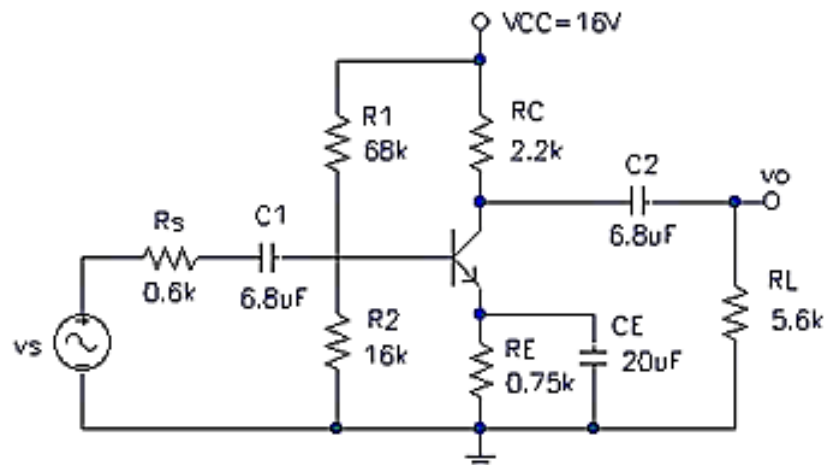
Realizar una tabla comparativa entre las configuraciones EC, EC con RE y CC analizando ganancia de tensión y de corriente, impedancia de entrada y de salida.

Ejercicio 4

Para la configuración mostrada en la siguiente figura:

- Dibujar el modelo de parámetros h y verificar si puede usarse el modelo simplificado para los datos dados.
- Calcular $A_v = v_o/v_i$, $A_{v_s} = v_o/v_s$, Z_i , Z_i' y Z_o para $f = 5$ KHz.
- Calcular A_v para $R_L = 4.7$ K Ω , 2.2 K Ω , 0.5 K Ω . ¿Cuál es el efecto sobre A_v al disminuir R_L ?
- ¿Cuál es el efecto sobre Z_i al disminuir R_L ?
- Calcular A_v para $R_s = 1$ K Ω , 2.2 K Ω . ¿Cuál es el efecto sobre A_v al aumentar R_s ? ¿Y sobre A_{v_s} ?

Datos: $h_{ie} = 1.25$ K Ω , $h_{fe} = 180$, $h_{re} = 1.5 \times 10^{-4}$, $h_{oe} = 25 \times 10^{-6}$ 1/ Ω



Electrónica Analógica 1

Ejercicio 5

En el circuito del Ejercicio 1 se saca el capacitor CE. Utilizando el modelo de parámetros h simplificado, calcular $A_v = v_o/v_i$ y Z_i si el transistor utilizado posee un $h_{fe_{mín}} = 80$ y $h_{fe_{máx}} = 250$. Comparar resultados y extraer conclusiones.

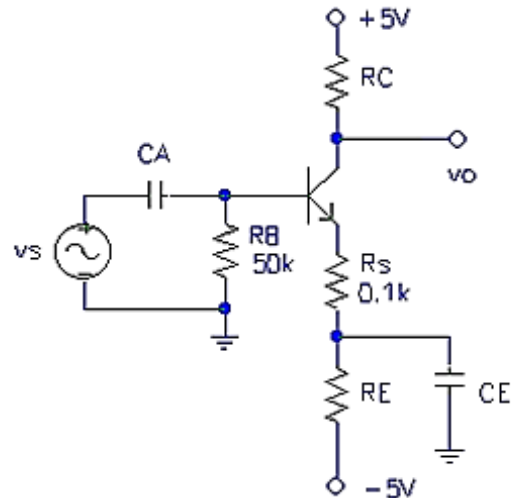
Ejercicio 6

En circuito de la figura el transistor posee $h_{FE} = 100$.

a) Diseñar el circuito para $I_{CQ} = 0.25 \text{ mA}$, $V_{CEQ} = 3 \text{ V}$

b) Justificando aproximaciones calcular la ganancia

$$A_v = v_o/v_s. \quad (C_1 = C_2 = C_E \rightarrow \infty)$$



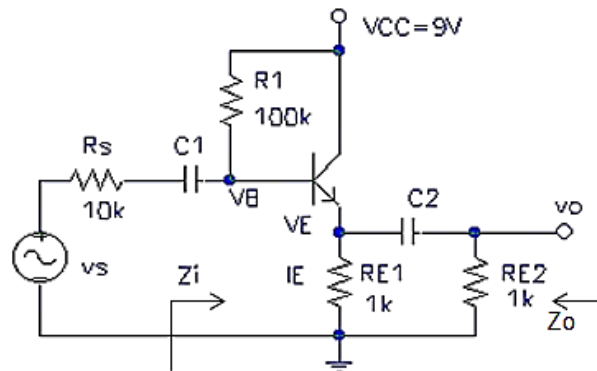
Ejercicio 7

Para el siguiente circuito:

a) Indicar el tipo de configuración.

b) Suponiendo $h_{fe} = 220$, $h_{ie} = 1.5 \text{ K}\Omega$, $h_{re} \cong 0$, $h_{oe} \cong 0$,

$A_v = v_o/v_s$, Z_i , A_i y Z_o .



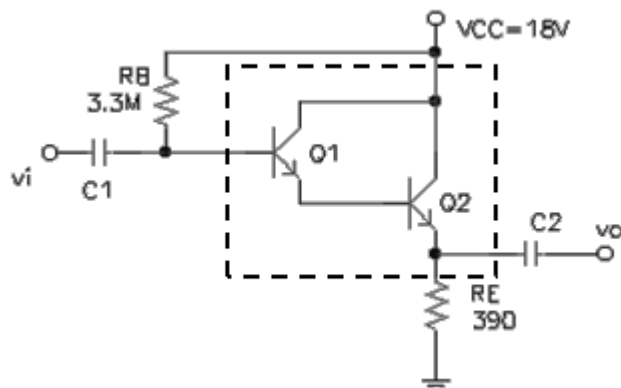
Ejercicio 8

Demostrar que el transistor compuesto encerrado por línea de trazos (*conexión Darlington*) actúa como una unidad con una ganancia de corriente igual aproximadamente al producto de las ganancias de corrientes de los transistores individuales ($A_i \cong h_{fe1} \cdot h_{fe2}$) y la impedancia de entrada es muy alta.

$$h_{fe1} = h_{fe2} = 80$$

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

Suponer $h_{re} = h_{oe} \cong 0$ para poder usar el modelo h simplificado.
(Esta condición no es siempre válida para la primera etapa).



Electrónica Analógica 1

Ejercicio 9

El circuito es un amplificador de potencia multietapa que alimenta a un parlante de $16\ \Omega$.

Se quiere amplificar una señal de 500 mV pico a pico de frecuencia 1 KHz.

- Identificar las etapas amplificadoras y la carga. Indicar cada tipo de configuración y dar sus características principales.
- Suponiendo $h_{FE1} = h_{FE2} = 200$ y $h_{FE3} = 50$ calcular el punto de polarización de cada transistor. Qué características se destacan en el punto de polarización de Q_2 y Q_3 . Ubicar en un gráfico IC-VCE la recta de carga estática y el punto de polarización en forma esquemática.
- Verificar que las etapas están conectadas en cascada. Suponiendo que cada transistor puede modelarse en pequeñas señal por: h_{fe} , h_{ie} , $h_{re} \cong 0$, $h_{oe} \cong 0$, dibujar el modelo equivalente de señal del amplificador completo.
- Calcular A_v , A_i y Z_i . Qué características se destacan de cada etapa.
- Demostrar que la ganancia de potencia del sistema puede calcularse como:

$$A_p = A_v^2 (Z_i / R_L)$$

Z_i : impedancia de entrada, R_L : carga y A_v es la ganancia de tensión. Calcular A_p .

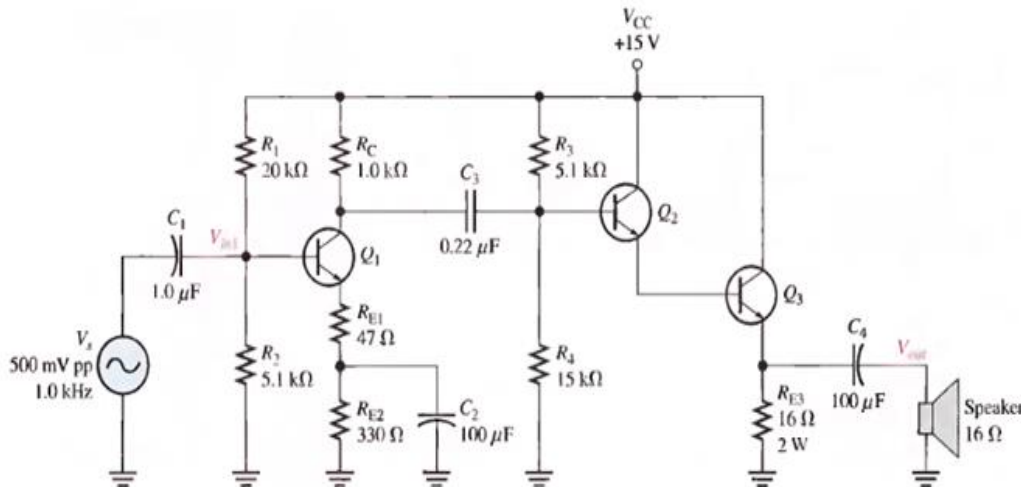


Figura a)

- Si se saca la etapa Darlington y se conecta el parlante directamente a la salida como se muestra en la figura b), evaluar la ganancia de tensión y compararla con la primera configuración. Sacar conclusiones.

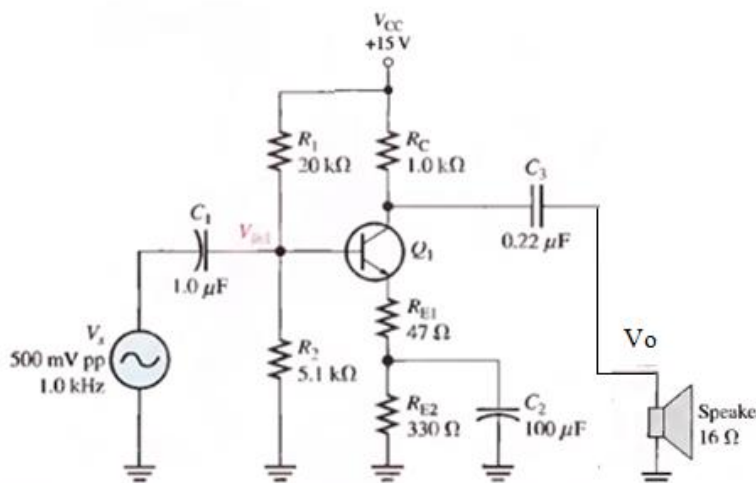
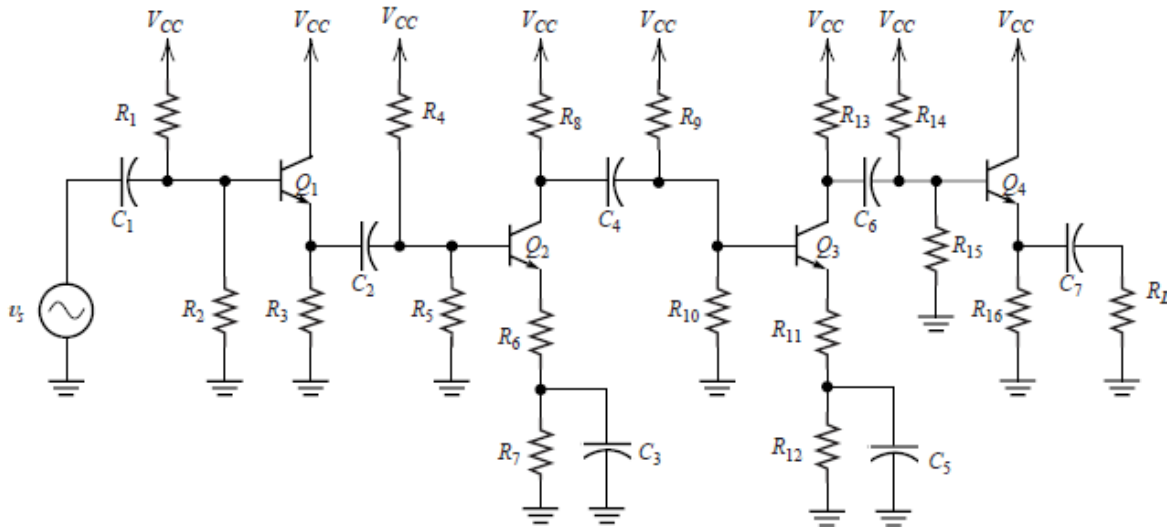


Figura b)

Electrónica Analógica 1

Ejercicio 10

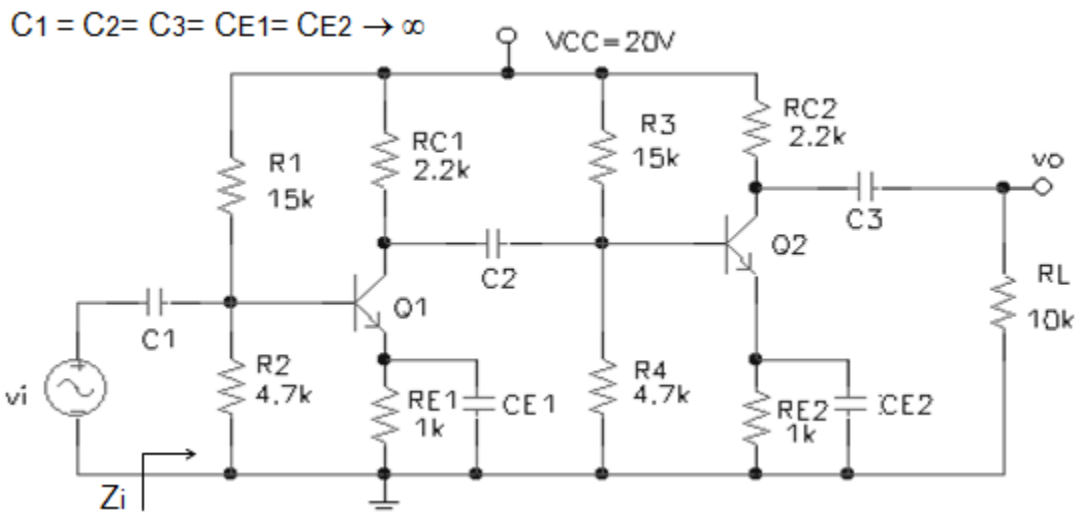
Para el siguiente circuito multietapa identificar cada bloque amplificador y dar sus características principales.



Ejercicio 11

El siguiente circuito corresponde a un amplificador multietapa que consta de dos etapas en cascada EC.

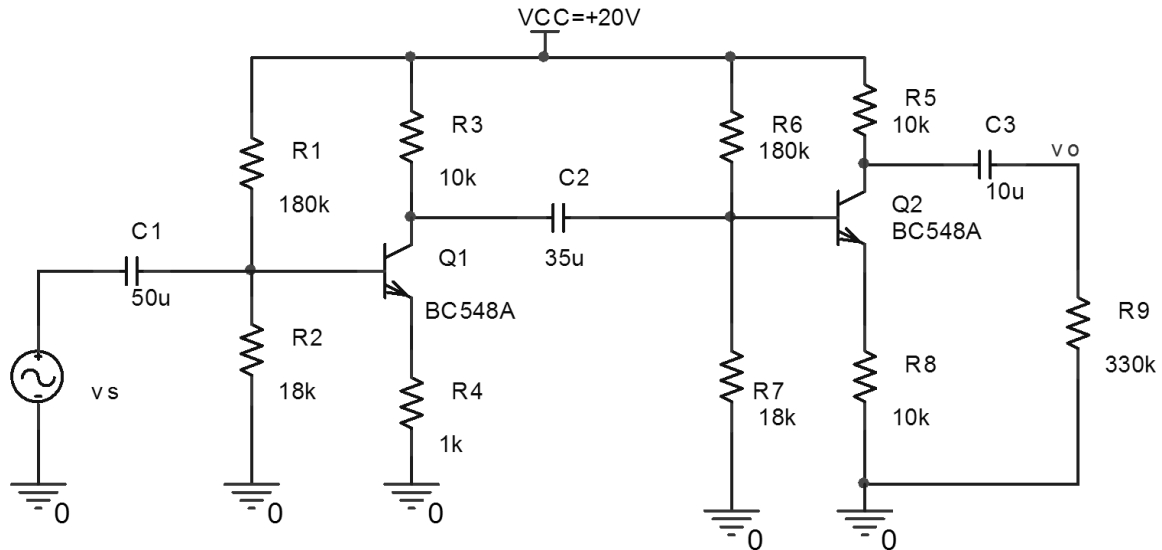
- Verificar la conexión cascada. Representando cada amplificador como cuadripolo demostrar que la ganancia total puede calcularse como el producto de la ganancia de cada etapa. Dibujar el circuito equivalente de señal.
- Teniendo en cuenta las características de cada etapa y sin hacer cálculos indicar qué puede esperarse respecto a las ganancias de corriente y tensión del amplificador. Cuál será la diferencia de fase entre salida y entrada.
- Calcular la ganancia de tensión $A_v = v_o/v_i$ y la impedancia de entrada Z_i . Suponer que los transistores son idénticos con: $h_{fe} = 200$, $h_{ie} = 1\text{ K}\Omega$, $h_{re} = h_{oe} \approx 0$



Electrónica Analógica 1

Ejercicio 12

Utilizando las hojas características de datos calcular el punto Q para cada transistor, dibujar el circuito equivalente y calcular v_o . Justificar aproximaciones. Suponer que v_s tiene una frecuencia de 1 KHz



Ejercicio 13

Para la siguiente configuración multietapa:

- I. Verificar que los transistores trabajan en la zona activa. Considerar $h_{FE1} = h_{FE2} = 180$
- II. Suponiendo válido el modelo simplificado ($h_{fe} = 150$ y $h_{ie} = 1.5 \text{ k}\Omega$): dibujar el modelo equivalente del amplificador, calcular la ganancia de tensión de la etapa completa ($A_{vs} = v_o/v_s$) y la impedancia de entrada vista por v_s .

