

TP N°4: Diseño y construcción de un mini-amplificador de audio

Accifonte, Franco - 93799
franco.accifonte@gmail.com

Iturria, Germán - 86270
german.iturria@gmail.com

Vázquez, Matías - 91523
mfvazquez@gmail.com

2 de diciembre de 2014

En el siguiente trabajo se realiza el diseño y construcción de un mini-amplificador de audio empleando un amplificador de source común.

1. Especificaciones

Se requiere construir un circuito simple que amplifique la tensión que genera un micrófono de bobina móvil de $600\ \Omega$, considerando que mantenga una señal de $25\text{ m}\hat{V}$, para que pueda ser digitalizada por un convertor digital **MAX1393**. El grabador se alimenta con una batería de $1,5\text{ V}$ (1200 mAh de carga), y debe minimizarse tanto como sea posible el consumo de potencia del sistema. Las condiciones de diseño del amplificador son:

- La salida del amplificador debe permitir la máxima excursión posible entre 0 V y 5 V , que es el rango de entrada del conversor A/D.
- La resistencia de salida del amplificador debe ser menor a $5\text{ k}\Omega$.
- La potencia de continua debe ser tal que permita su uso por más de 24 hs .
- Se debe obtener la mayor ganancia posible, respetando lo anterior.
- El amplificador debe ser emisor común, es decir, debe utilizarse el transistor **TBJ BC548**.
- Se debe considerar que la resistencia que presenta el conversor A/D al amplificador es mayor a $1\text{ M}\Omega$.

2. Diseño del amplificador

Se definió el circuito mostrado en la figura 1. Utilizando los siguientes valores.

- $R_S = 600\ \Omega$
- $R_L = 1\text{ M}\Omega$
- $V_{CC} = 1,5\text{ V}$
- $v_s = 25\text{ m}\hat{V}$
- $C_{in} = C_{out} = 1\ \mu\text{F}$

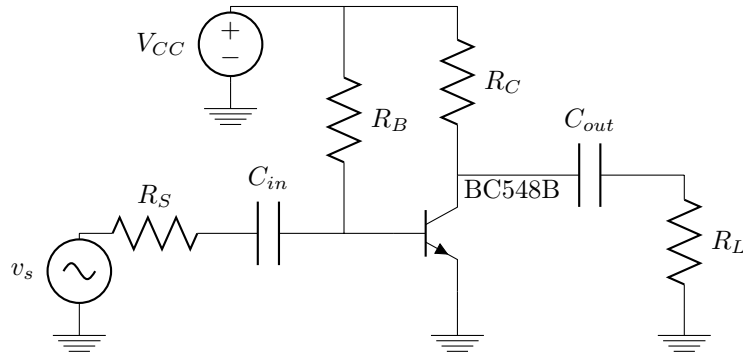


Figura 1: Circuito amplificador

Para los calculos se utilizaron los parámetros obtenidos del transistor 1 en el Trabajo Práctico N°2 ya que es el transistor que se utilizará al armar el circuito.

- $\beta = 361$
- $V_{th} = 26,95 \text{ mV}$
- $V_A = 36,05 \text{ V}$
- $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$

2.1. Punto de polarización

Considerando a los capacitores como circuitos abiertos y pasivando la fuente de señal v_s obtenemos el circuito mostrado en la figura 2.

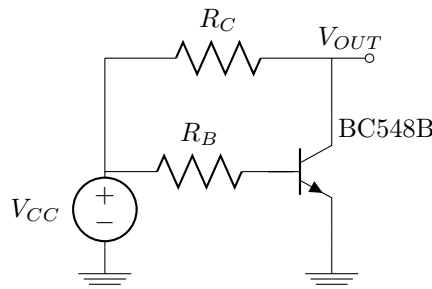


Figura 2: Circuito amplificador en DC

Se consideró la ecuación 1 para los calculos ya que es cuando se obtiene la máxima eficiencia.

$$V_{OUT} = \frac{V_{CC}}{2} \quad (1)$$

Asumiendo que el TBJ está en MAD y aplicando mallas al circuito de la figura 2 obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$V_{CC} - V_{BE} = I_B R_B$$

$$V_{CC} - V_{OUT} = I_C R_C$$

Y teniendo cuenta que $I_C = \beta I_B$ y la ecuación numero 1 obtenemos las siguientes relaciones de R_C y R_B respecto a I_C :

$$R_C = \frac{V_{CC}}{2I_C} \quad (2)$$

$$R_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})\beta}{I_C} \quad (3)$$

Luego se verificó que el punto Q este en zona de MAD teniendo en cuenta la ecuación 2:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = V_{CC} - \frac{V_{CC}}{2} = \frac{V_{CC}}{2} = 0,75 \text{ V} > V_{CE_{sat}} \approx 0,2 \text{ V}$$

Finalmente, debido a que la potencia de continua debe ser tal que permita su uso por más de 24 hs y la batería cuenta con 1200 mAh de carga, podemos obtener la cota máxima de la corriente I_C .

$$I_C \leq \frac{1200 \text{ mAh}}{24 \text{ hs}}$$

Por lo tanto:

$$I_C \leq 50 \text{ mA} \quad (4)$$

2.2. Modelo de pequeña señal

Pasivando las fuentes de tensión continua y reemplazando el transistor por su modelo equivalente de pequeña señal, obtenemos el circuito de la figura 3.

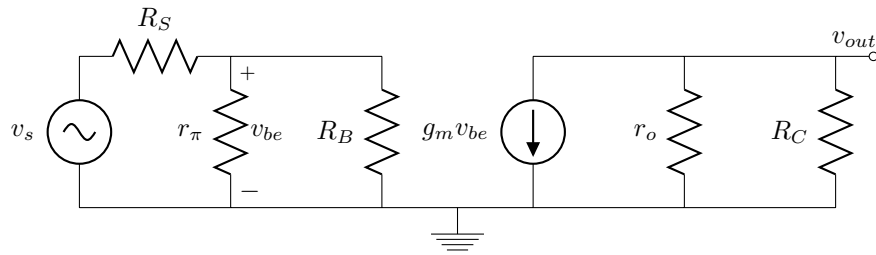


Figura 3: Circuito amplificador en AC

$$r_\pi = \frac{V_{th}\beta}{I_C} \quad (5)$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_{th}} \quad (6)$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} \quad (7)$$

Del circuito 3 se obtiene v_{out}

$$v_{out} = -g_m v_{be} (r_o // R_C)$$

Luego la ganancia de tensión sin carga es

$$A_{vo} = \frac{v_{out}}{v_{be}} = -g_m (r_o // R_C)$$

Reemplazando las ecuaciones 2, 6 y 7 se obtiene

$$A_{vo} = -\frac{I_C}{V_{th}} \frac{\frac{V_A V_{CC}}{2I_C^2}}{\frac{V_A}{I_C} + \frac{V_{CC}}{2I_C}}$$

Simplificando se obtiene

$$A_{vo} = -\frac{V_A V_{CC}}{V_{th} (2V_A + V_{CC})} \quad (8)$$

Reemplazando los valores obtenemos la ganancia A_{vo}

$$A_{vo} = -28,26$$

A continuación se analizaron las tres causas de distorsión para obtener las cotas de I_C

2.2.1. Distorsión por alinealidad

Para que se pueda utilizar el modelo de pequeña señal del TBJ, se debe cumplir que $v_{be} \leq 10 \text{ m}\hat{V}$, ya que este valor es una cota máxima en la que una vez superado se pierde la linealidad de las ecuaciones utilizadas y se observa la distorsión en la salida con respecto a la señal de entrada, por lo tanto se calcula el valor máximo de r_π para que al conectar el microfono en la entrada (con su resistencia interna), la caída de tensión v_{be} no supere este valor maximo.

Primero se obtiene la cota de v_{out} para poder compararla con las cotas de las otras distorsiones. Y recordando que v_{be} y v_{out} están en contra fase:

$$v_{be;max} = \frac{v_{out;min}}{A_{vo}} = 10 \text{ m}\hat{V}$$

Se despeja y calcula $v_{out;min}$

$$v_{out;min} = v_{be;max} A_{vo} = 10 \text{ m}\hat{V}(-28,26) = -282,6 \text{ m}\hat{V}$$

Como v_{out} es una señal sinusoidal $v_{out;max} = -v_{out;min}$ entonces $v_{out;max} = 282,6 \text{ m}\hat{V}$. Por lo tanto la cota de v_{out} para la distorsión por alinealidad será:

$$v_{out} \leq 282,6 \text{ mV} \quad (9)$$

Luego asumiendo que $r_\pi \ll R_B$ se obtiene $(r_\pi // R_B) \approx r_\pi$. Con la aproximación anterior resolvemos el divisor de tensión del circuito de la figura 3 entre las resistencias r_π y R_S .

$$v_{be} = v_s \frac{r_\pi}{R_S + r_\pi}$$

Como $v_{be} \leq 10 \text{ m}\hat{V}$:

$$v_s \frac{r_\pi}{R_S + r_\pi} \leq 10 \text{ m}\hat{V}$$

Despejando r_π y reemplazando datos se obtiene:

$$r_\pi \leq 400 \Omega \quad (10)$$

Finalmente reemplazando la ecuación 5 en la inecuación 10 se obtiene:

$$\frac{V_{th}\beta}{I_C} \leq 400 \Omega$$

Despejando I_C y reemplazando datos obtenemos:

$$I_C \geq 24,32 \text{ mA} \quad (11)$$

2.2.2. Distorsión por corte

Para v_s demasiado negativa el transistor entra en corte, entonces toda la corriente de señal circula por la resistencia R_C .

Se calcula la cota maxima de v_{out} , reemplazando la ecuación 1

$$v_{out;max} = V_{CC} - V_{OUT} = 1,5 \text{ V} - 0,75 \text{ V} = 0,75 \text{ V}$$

Por lo tanto la cota de v_{out} para la distorsión por corte será:

$$v_{out} \leq 750 \text{ mV} \quad (12)$$

La cota maxima de v_{out} por alinealidad es menor a la cota por corte. Por lo que evitando la distorsion por alinealidad se estará evitando la distorsión por corte.

2.2.3. Distorsión por saturación

Para v_s muy positiva el TBJ entra en régimen de saturación. El caso límite tolerable es:

$$v_{out;max} = V_{OUT} - V_{sat} = 0,75 \text{ V} - 0,3 \text{ V} = 0,45 \text{ V}$$

Por lo tanto la cota de v_{out} para la distorsión por saturación será:

$$v_{out} \leq 450 \text{ mV} \quad (13)$$

Nuevamente la cota máxima de v_{out} por alinealidad es menor a la cota por saturación. Por lo tanto evitando distorsión por alinealidad se estará también evitando distorsión por saturación.

2.3. Elección de I_C , R_C y R_B

La cota mínima de I_C es debido a la distorsión por alinealidad y su cota máxima es debido a que el amplificador pueda ser usado por más de 24hs.

$$24,32 \text{ mA} \leq I_C \leq 50 \text{ mA} \quad (14)$$

Mediante las ecuaciones 2 y 3 obtenemos las cotas para R_C y R_B , respectivamente.

$$30,84 \Omega \leq R_C \leq 15 \Omega \quad (15)$$

$$11,88 \text{ k}\Omega \leq R_B \leq 5,78 \text{ k}\Omega \quad (16)$$

2.4. Cálculo teórico

2.5. Dispersión de β

2.6. Comparación con source común

3. Simulación del circuito

4. Mediciones del circuito

5. Conclusiones