



## TP N°4

# Diseño y construcción de un mini-amplificador de audio

### Condiciones del trabajo

- Grupos de dos o tres estudiantes.
- La fecha de entrega y devolución es la que se indica en la página web de la materia.
- El trabajo deberá ser claro, conciso y correctamente redactado.
- Los gráficos y tablas deberán llevar títulos y estar numerados (Por ejemplo: Fig. 1)
- El trabajo completo, incluyendo la carátula o primera página, deberá tener 10 páginas o menos, y debe utilizarse tipografía de 10pt.
- No es necesaria una carátula en una hoja aparte: en la primera página, además del nombre de los autores, los datos del curso y el resumen, puede presentarse también parte de los contenidos del trabajo.

### Objetivos del trabajo

Realizar el diseño y construcción de un mini-amplificador de audio empleando para ello un amplificador monoetapa tipo emisor común.

Comparar los resultados obtenidos en forma experimental con los obtenidos mediante *Spice* y mediante los cálculos teóricos.

### Problema a resolver

Como parte del diseño de un grabador de sonido portable de muy bajo costo, se requiere construir un circuito simple que amplifique la tensión que genera un micrófono de bobina móvil de  $600\ \Omega$ , considerando que entrega una señal de  $25\text{ m}\hat{V}$ , para que pueda ser digitalizada por un conversor analógico digital **MAX1393**. El grabador se alimenta con una batería de 1,5 V (1200 mAh de carga), y debe minimizarse tanto como sea posible el consumo de potencia del sistema.

Las condiciones de diseño del amplificador entonces son:

- La salida del amplificador debe permitir la máxima excursión posible entre 0 V y 1,5 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 un 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  $1\text{ M}\Omega$ .



## 1. Diseño del amplificador

Diseñar un amplificador que sea capaz de resolver el problema propuesto. Para ello, se deben encontrar los valores de  $I_{CQ}$ ,  $R_C$  y  $R_B$  de forma tal que se cumplan las condiciones enumeradas anteriormente.

Los requisitos de diseño son:

- El amplificador se alimentará con una única fuente de 1,5 V.
- El amplificador tendrá un capacitor de desacople en su entrada.
- Sólo incluirá transistores TBJ **BC548**, y resistencias de tolerancia de 5 %.
- El circuito del amplificador no tendrá realimentaciones.

Presentar el diseño propuesto, justificando la solución adoptada y señalando qué otras alternativas se consideraron y por qué motivos fueron descartadas.

Especificar los valores a adoptar para los parámetros del transistor o de los transistores, y los valores de los capacitores y resistores a utilizar en el circuito. Tenga en cuenta que el diseño final **debe presentar valores normalizados** de resistores y capacitores.

Utilizar como modelo del micrófono un generador senoidal de  $25\text{ m}\hat{V}$ , 1 kHz y  $R_s$  de  $600\ \Omega$  como se ilustra en la Figura 1.

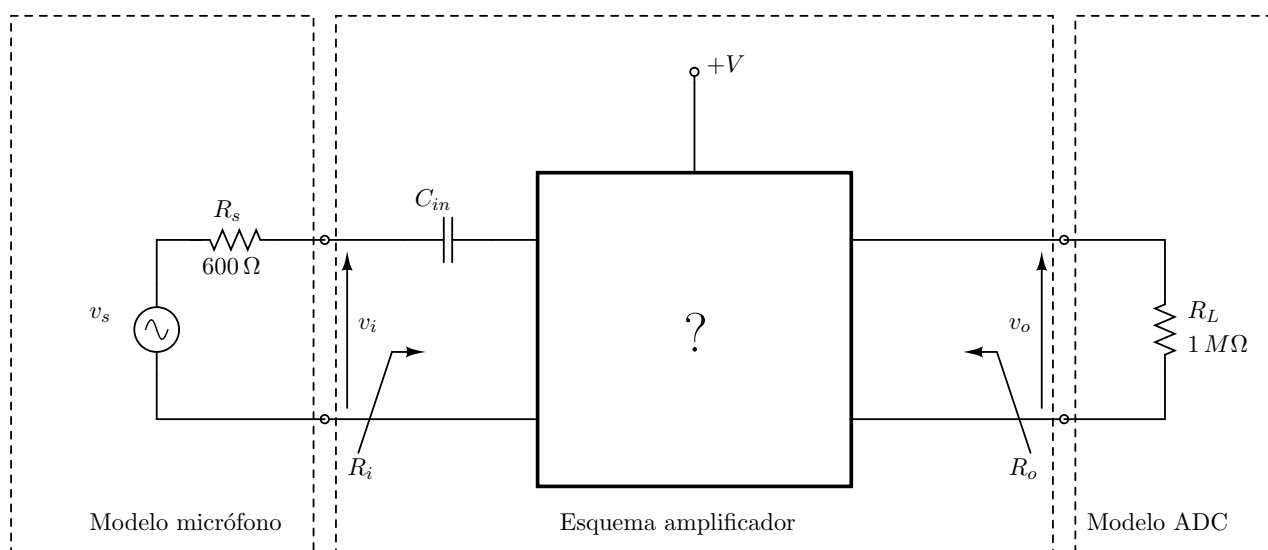


Figura 1: Esquema del amplificador a diseñar.

Durante la etapa de diseño encontrar:

- las cotas para  $I_{CQ}$  y  $R_C$ .
- la ganancia del amplificador,  $A_{vo} = v_o/v_i$ , en función de la corriente de polarización.
- las cotas para  $v_i$  de forma tal que el amplificador no presente distorsión de la señal de salida. Para ello, se deben analizar de forma independiente las tres causas de distorsión (distorsión por *corte*, distorsión por *saturación* y distorsión por *alinealidad*) para luego definir cuál es la causa limitante.

Finalmente, elegir un valor de  $I_{CQ}$ ,  $R_C$  y  $R_B$  dentro de las cotas encontradas que asegure el funcionamiento del amplificador.



### 1.1. Cálculo teórico

Definido el circuito a diseñar, desarrollar el cálculo teórico del circuito elegido obteniendo:

- Los valores de tensiones y corrientes de polarización del circuito propuesto.
- La ganancia de tensión.

$$A_{vo} = \frac{v_o}{v_i}$$

$$A_{vs} = \frac{v_o}{v_s}$$

- La resistencia de entrada  $R_{IN}$  y la de salida  $R_{OUT}$  del circuito amplificador.
- La tensión de salida  $v_o$  al conectar el micrófono.

### 1.2. Dispersión de $\beta$

A partir de las cotas máximas y mínimas del parámetro  $\beta$  del transistor disponibles en las hojas de datos, calcular cuánto puede variar el punto de polarización del circuito y la ganancia del amplificador. ¿Seguirá funcionando como se desea? ¿Es un diseño robusto?

### 1.3. Comparación con source común

Una vez finalizado el diseño, realizar un análisis y comparación sobre las ventajas y desventajas de implementar el circuito amplificador con un TBJ frente a utilizar un MOSFET. Se debe analizar también cuáles podrían ser las dificultades de implementar el circuito con un transistor MOSFET como los presentes en el C.I. **CD4007**.

## 2. Simulación del circuito

Simular mediante *Spice* el circuito diseñado en el punto 1 a fin de verificar la factibilidad del diseño propuesto.

Además de debe:

- Justificar la elección de los modelos de *Spice* de los transistores utilizados en la simulación del circuito.
- Dibujar los circuitos utilizados en la simulación.
- De encontrarse conveniente pueden modificarse los valores de las resistencias o capacitores calculados en el punto 1, pero deben argumentarse los motivos que justifican tales modificaciones.
- Comparar mediante tablas que sean claras y compactas los resultados obtenidos para todos los ítems solicitados en 1 con los obtenidos en las simulaciones, y de existir diferencias analizar su posible explicación.
- Obtener el valor de  $R_{IN}$  a partir de la variación de la tensión de salida de una fuente ideal con resistencia serie  $R_S \simeq R_{IN}$  al cargarla con el amplificador. El valor de tensión de la fuente debe ser tal que el amplificador funcione correctamente.
- Obtener el valor de  $R_{OUT}$  a partir de la variación de la tensión de salida del amplificador al cargarlo con una resistencia de prueba  $R_P \simeq R_{OUT}$  conectada con un capacitor de desacople. Para esta simulación, se debe conectar una fuente de señal a la entrada de valor tal que el amplificador funcione correctamente.



- Mostrar un gráfico temporal de la señal de entrada y la señal de salida, mostrando el correcto funcionamiento.

### 3. Mediciones del circuito

Armar en un *protoboard* el amplificador diseñado y obtener en forma experimental los resultados de todos los ítems solicitados en el punto 1.

- Dibujar los circuitos utilizados en las mediciones experimentales.
- De encontrarse conveniente pueden modificarse los valores de las resistencias o capacitores obtenidos en el punto 2, pero deben argumentarse los motivos que justifican tales modificaciones.
- Comparar mediante tablas que sean claras y compactas los resultados obtenidos para todos los ítems solicitados en el punto 1 con los obtenidos en las mediciones experimentales, y de existir diferencias analizar su posible explicación.
- Repetir la medición de todos los ítems solicitados para distintos transistores y evaluar si el desempeño del circuito se modifica al cambiar el transistor. Si existen diferencias cuantificarlas.
- Mostrar un gráfico temporal de la señal de entrada y la señal de salida, mostrando el correcto funcionamiento. Para ello, obtener capturas de pantalla del osciloscopio mediante el uso de la entrada *USB*, o bien tomando una fotografía de la pantalla del osciloscopio.

Para obtener los 1,5 V de alimentación, utilizar el regulador de tensión **LM317** según indica su hoja de datos para obtener  $V_{REG} > 1,25$  V.

**IMPORTANTE:** el banco experimental a utilizar sólo dispondrá de una fuente de tensión variable, un amperímetro (sin fusible), un voltímetro, un generador de funciones y un osciloscopio de dos canales. Debe traer los transistores, resistores, capacitores, fusibles, etc. que vaya a utilizar en las mediciones.

#### Emulación de la fuente de señal y la carga

En caso de no contarse con el instrumental apropiado, el micrófono y el conversor A/D, serán emulados mediante los circuitos de la Figura 2, de forma tal que

$$\hat{V}_s = v_g \frac{R_1}{R_g + R_1}$$

$$R_s = R_2 + (R_g // R_1)$$

A partir de la variación de la tensión  $\hat{V}_s$  registrada antes y después de conectar distintas resistencias de prueba  $R_x$  medir experimentalmente la resistencia de salida  $R_s$  del “circuito de emulación del micrófono”, según se ilustra en la Figura 2. Consignar en el informe el resultado obtenido.

### Más detalles sobre el informe

#### Resumen del trabajo

El trabajo deberá estar encabezado por un breve resumen que detalle su contenido (objetivos, lo realizado, resultados y conclusiones). El resumen debe ser escrito de forma tal de despertar el interés y la curiosidad del lector por el trabajo.

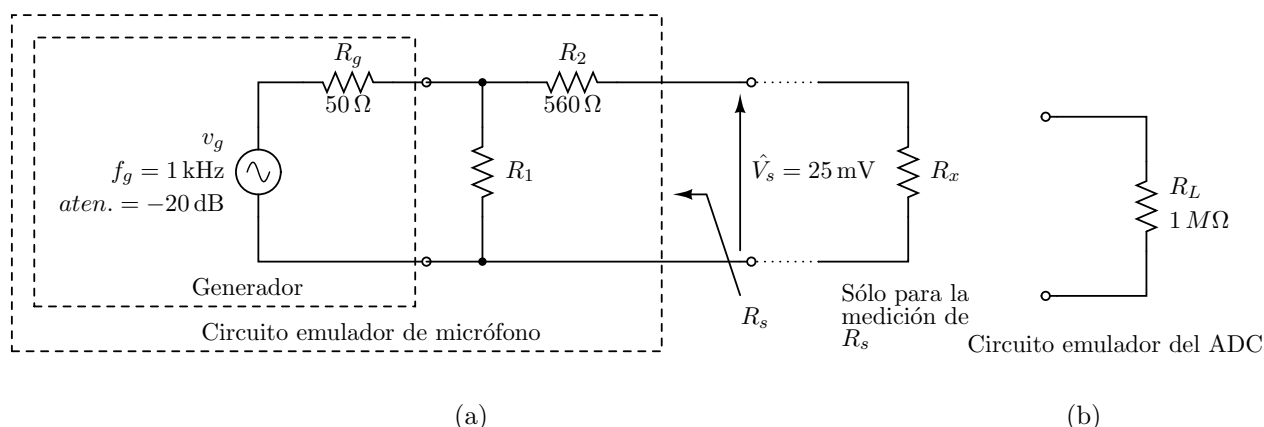


Figura 2: Circuitos emuladores, (a) de micrófono y (b) del conversor A/D.

## Desarrollo

En el informe se debe:

- justificar adecuadamente el diseño final utilizando conocimientos teóricos estudiados en la materia e indicando claramente el criterio con el cual se tomaron todas las decisiones.
- presentar los circuitos esquemáticos de las simulaciones y cómo varían al simular cada uno de los parámetros pedidos.
- presentar los circuitos esquemáticos de los bancos de medición empleados, indicando no sólo la conexión del transistor, fuentes de tensión y resistencias, sino también de los instrumentos empleados.
- indicar cuál fue la variable medida o simulada, y cuál fue el procedimiento para calcular el parámetro deseado a partir de éstas mediciones o simulaciones.

## Análisis y comparación de los resultados

Todo resultado presentado en el informe debe estar analizado. Se deben comparar los resultados experimentales, los obtenidos mediante simulación y los calculados de forma teórica. Debe analizarse si los resultados son compatibles entre sí o no. De existir diferencias éstas deben ser cuantificadas y deben presentarse posibles explicaciones para estas diferencias.

En todos los gráficos debe figurar una leyenda indicando a qué corresponde cada curva.

## Conclusiones

Las conclusiones deben ser breves y conceptuales. Deben estar focalizadas en los objetivos que se cumplieron en el trabajo y eventualmente en resultados interesantes adicionales que se hubieran obtenido.

## Contenidos adicionales optativos

Pueden agregarse contenidos adicionales que resulten de interés al grupo, siempre que el trabajo completo no exceda las 10 páginas. Algunas sugerencias son:

- Evaluar el desempeño del circuito a distintas temperaturas.



- Analizar y comparar la distorsión armónica de las señales de entrada y salida del amplificador. Emplear para ello la función FFT del “Math Menu” del osciloscopio digital TDS1002 para medir experimentalmente la distorsión armónica presente en:
  - La señal de salida del circuito emulador de micrófono sin que éste esté conectado al amplificador.
  - La señal de salida del circuito emulador de micrófono estando este conectado al amplificador.
  - La señal de salida del amplificador.

Comparar estos resultados con los obtenidos en *Spice* mediante la función FFT.

- Evaluar el desempeño del amplificador a otras frecuencias, por ejemplo, 10 Hz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz.
- Evaluar la linealidad del amplificador, analizando para ello la variación de la ganancia de tensión  $A_{vo}$  en función de la amplitud de la señal de entrada, por ejemplo,  $v_s$  tomando valores como 1 mV pico a pico, 10 mV pico a pico, 25 mV pico a pico, 75 mV pico a pico y 100 mV pico a pico.