Práctica 6: Amplificadores de potencia

1. Introducción.

En esta práctica se estudian los circuitos de salida básicos, realizados con transistores bipolares, empleados en amplificadores de potencia.

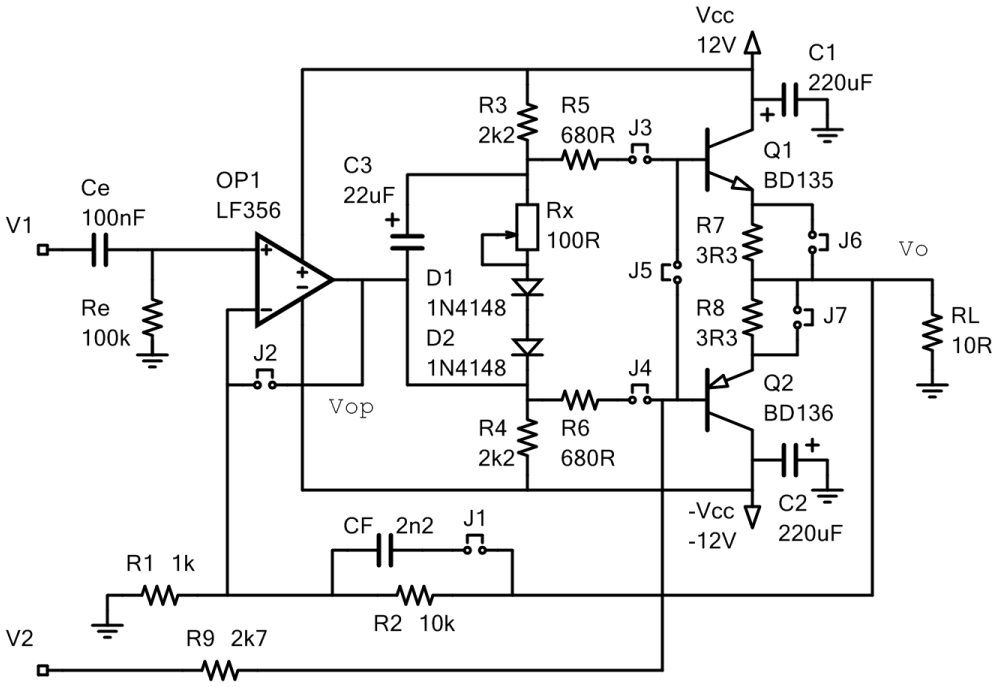
Los circuitos descritos se denominan amplificadores *lineales* (clase B y AB) a pesar de que su comportamiento puede ser claramente no lineal. El término *lineal* se emplea en este caso para diferenciar este tipo de amplificadores de aquellos que funcionan en conmutación (clase D).

Se utilizan etapas de salida complementarias, que combinan transistores bipolares NPN y PNP en montaje seguidor de tensión. Este circuito es conocido, pues se encuentra en las etapas de salida de muchos operacionales comerciales. La diferencia fundamental es que, en esta práctica, se utilizan etapas de salida capaces de entregar niveles de corriente muy superiores a los de un operacional normal.

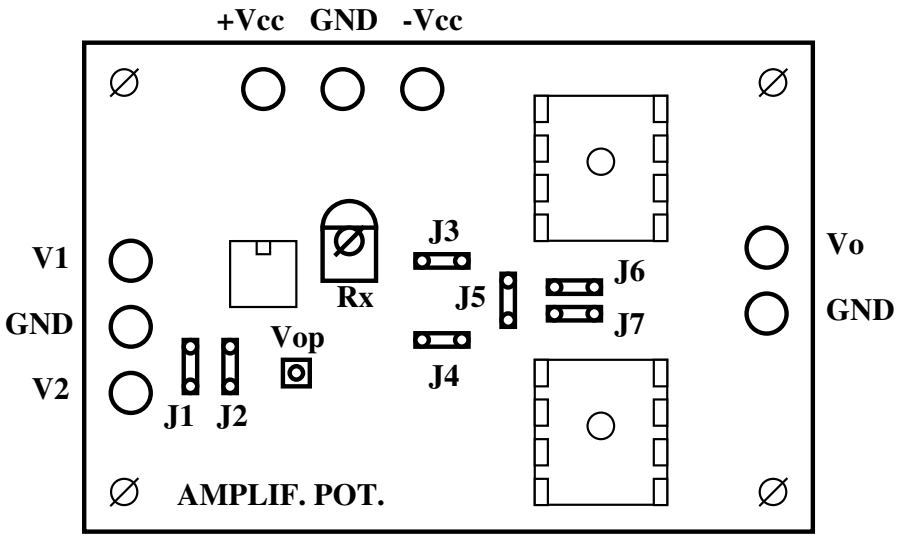
Para reducir la distorsión generada por las alinealidades de la etapa de salida, se suele utilizar realimentación negativa de tensión en serie. Para que la realimentación sea efectiva es necesario que la ganancia en bucle abierto sea muy grande. Esto se logra incluyendo un operacional, que además facilita la conexión de la red de realimentación.

En el apartado 2 se estudia una etapa de salida en clase B y un circuito completo que añade un operacional y una red de realimentación negativa. El apartado 3 realiza un estudio similar para el montaje en clase AB.

Todos los montajes se realizarán configurando la placa suministrada mediante los puentes (jumpers) adecuados. El esquema teórico de la placa es el siguiente.



y la distribución de bornas y puentes (jumpers) se indica a continuación.



Para alimentar todos los montajes de esta práctica se debe utilizar la fuente del laboratorio en modo TRACK ajustada a 12V. Se recomienda limitar la corriente de la fuente de alimentación a aproximadamente 0,6 A. Es muy importante que no se realice ninguna modificación de cableado o de posición de los puentes (jumpers) con la fuente encendida. Antes de dar alimentación, comprobar que están conectados a la placa los 3 cables de alimentación (+12V, GND y -12V).

Los condensadores C1 y C2 se utilizan para evitar la presencia de señal en las líneas de alimentación, lo que evita la aparición de oscilaciones parásitas.

Para el estudio teórico de los amplificadores de potencia en clase B y AB se recomienda la bibliografía básica siguiente:

E. Muñoz, Circuitos Electrónicos: Analógicos II. ETSIT. Madrid.

J. Millman, Microelectrónica, Ed. Hispano Europea.

2. Amplificador complementario en clase B

2.1. Etapa de salida.

2.1.1. Introducción.

El circuito de la figura corresponde a una etapa de salida complementaria (NPN+PNP). Ambos transistores se encuentran en montaje seguidor de emisor. La combinación de ambos tipos de transistor permite entregar a la carga corrientes tanto entrantes como salientes.

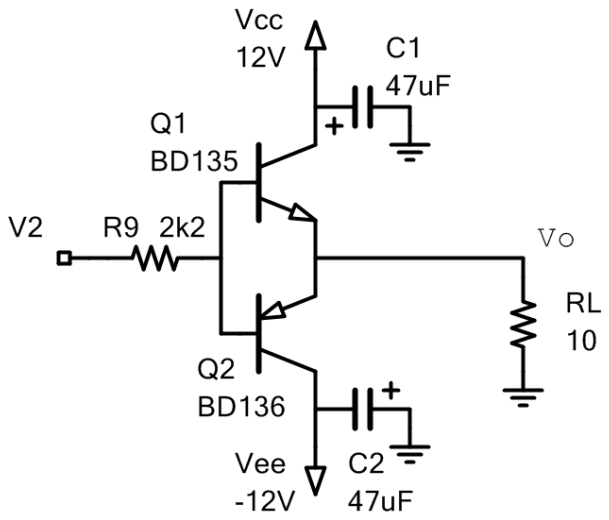
Atendiendo a la clasificación tradicional de los amplificadores de potencia, se trata de un montaje en clase B. Si en este montaje se aplica en la entrada una señal senoidal, cada transistor conduce solamente durante medio ciclo (en realidad menos de medio ciclo, debido a la existencia de un valor umbral en la tensión V_{BE} de los transistores). En reposo ambos transistores están en corte.

Los amplificadores de clase B poseen un buen rendimiento pero se caracterizan por una importante distorsión, sobre todo cuando manejan amplitudes pequeñas.

En este circuito y los posteriores se utiliza como carga una resistencia de 10 Ω. En una aplicación real, se podría conectar un altavoz con una impedancia parecida. La resistencia debe poder soportar más de 2 W.

En este apartado y los siguientes se recomienda limitar la corriente entregada por la fuente de laboratorio a 600 mA aproximadamente (tanto +Vcc como -Vcc).

2.1.2. Obtener el siguiente circuito conectando los puentes J2, J5, J6 y J7.



El puente J2 se conecta para evitar que el operacional, no usado en este montaje, quede sin realimentación. El J5 conecta las bases de ambos transistores. Los puentes J6 y J7 suprimen las resistencias de emisor. J3 y J4 **deben quedar abiertos** para separar la etapa de salida. La señal de entrada se aplica en V_2.

Sin aplicar señal en la entrada (reposo):

2.1.3. Deducir el consumo del circuito (el de +Vcc y el de -Vcc).

Mediante el modo X-Y del osciloscopio:

2.1.4. Determinar la función de transferencia Vo= f(V2) en frecuencias medias (V2= 4 Vpp, f= 1 KHz). ¿Es una transferencia lineal?. ¿Por qué?. Explicar el concepto de distorsión de cruce.

2.1.5. ¿Por qué la ganancia es menor que 1?. ¿Por qué la curva no es simétrica?.

Mediante el modo Y(t) del osciloscopio:

2.1.6. Representar la Vo(t) obtenida en las mismas condiciones del apartado 2.1.4.

2.1.7. ¿Tiene sentido intentar determinar la frecuencia de corte inferior?. ¿Por qué?. Determinar mediante el análisis del circuito qué potencia se disiparía en la resistencia de carga R_L si se aplicara a la entrada V_2 una tensión continua de 10V. (suponer V_{BE}= 0,6V, β= 100).

2.2. Amplificador completo.

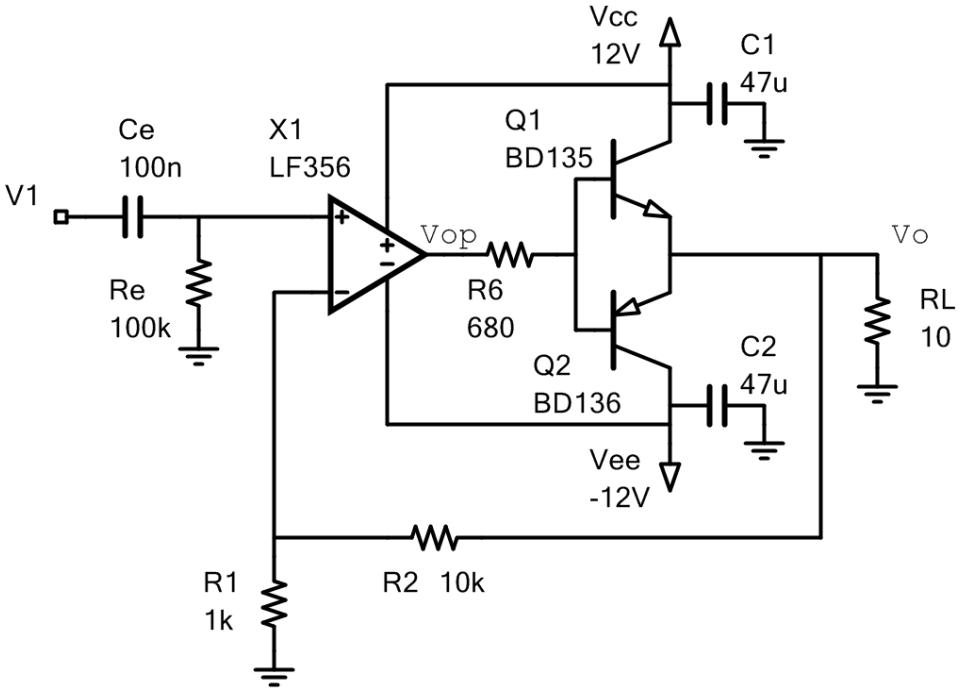
2.2.1. Introducción.

Partiendo de la etapa de salida del apartado anterior, se completa el circuito mediante un operacional y una red de realimentación. La ganancia a frecuencias medias es aproximadamente:

Av= Vo/V1= $1+(R_2/R_1)$ = 11

La realimentación permite reducir la distorsión producida por la etapa de salida.

2.2.2. Apagar la fuente de alimentación. Realizar el circuito siguente **conectando los puentes J4, J5 J6 y J7**. Los puentes J2 y J3 se dejan desconectados. El circuito obtenido difiere del indicado en que existe además una red de componentes (R3, Rx, D1, D2, C3 y R4) conectada a la salida del operacional, pero apenas afectan al funcionamiento del circuito. La señal de entrada se aplica en V_1.



2.2.3. Visualizar Vo(t) cuando se aplica en V_1 una señal senoidal de 400 mVpp y frecuencias desde 20 Hz hasta 20 KHz. ¿Se observa algún tipo de distorsión?. ¿A qué frecuencias es mayor?.

Mediante el modo X-Y del osciloscopio:

2.2.4. Determinar la función de transferencia Vo= f(V1) en frecuencias medias (V1= 400 mVpp, f= 1 KHz). ¿Se aprecia falta de linealidad?.

2.2.5. Determinar la función de transferencia Vop= f(V1) en idénticas condiciones.¿Se aprecia falta de linealidad?. Razonar el resultado obtenido.

Mediante el modo Y(t) del osciloscopio:

2.1.6. Representar la Vop(t) obtenida en las mismas condiciones del apartado 2.2.5.

2.2.7. Razonar los efectos de la realimentación sobre las características del amplificador.

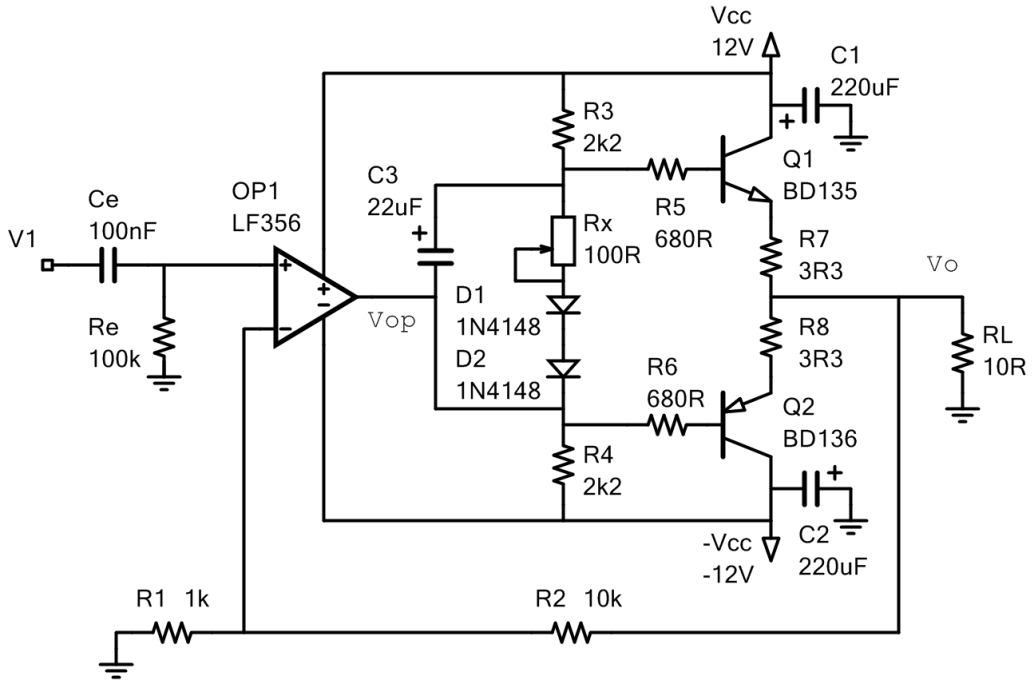
3. Amplificador complementario en clase AB completo.

3.1. Introducción.

A diferencia de los circuitos anteriores, se emplea en este apartado una etapa de salida en clase AB. Este montaje se caracteriza por la existencia de una corriente de reposo en los transistores, es decir, a que ambos transistores permanecen en activa, en ausencia de señal. Para lograrlo, se utiliza la red formada por R3, Rx, D1, D2 y R4. La caída de tensión en Rx, D1 y D2 es suficiente para hacer conducir a T1 y T2. Las resistencias R5, R6, R7 y R8 ayudan a limitar y estabilizar la coriente de reposo, evitando el "embalamiento térmico".

El valor de la corriente de reposo se puede ajustar mediante la resistencia Rx, que define la tensión entre bases. Rx es un potenciómetro conectado como resistencia variable, es decir, con el cursor unido a un extremo.

3.2. Apagar la fuente de alimentación. Realizar el siguiente circuito, conectando solamente los puentes J3 y J4.



Sin aplicar señal en la entrada (con v_1 conectado a masa) y con la carga R_L desconectada:

3.3. Medir la tensión continua en Vo.

3.4. Medir las corrientes de emisor de T1 y T2. Utilizar el método indirecto que se basa en medir las caídas de tensión en R7 y R8, y dividir estos valores por el valor de estas resistencias. Ajustar Rx para un valor aproximado de 15 mA. ¿Se mantienen las corrientes con el paso del tiempo, o es necesario reajustar Rx?. Para determinar estas corrientes se recomienda medir las tensiones en R7 y R8 mediante el multímetro.

Sin aplicar señal en la entrada (con V_1 conectado a masa) pero con la carga R_L conectada:

3.5. Repetir la medida de las corrientes de emisor de T1 y T2, pero sin volver a ajustar Rx. ¿Siguen siendo iguales?. ¿Por qué?.

Desconectar V_1 de masa, aplicar en la entrada una señal senoidal de 400 mVpp y mantener R_L conectada:

Mediante el modo X-Y del osciloscopio:

3.6. Determinar la función de transferencia Vo= f(V1) en frecuencias medias (V1= 400 mVpp, f= 1 KHz). ¿Se aprecia falta de linealidad?.

3.7. Determinar la función de transferencia Vop= f(V1) en idénticas condiciones.¿Se aprecia falta de linealidad?. Razonar el resultado obtenido, y compararlo con el obtenido en el apartado 2.2.5. Cuando no se aplica señal en la entrada, el nivel de tensión en la salida Vo es apoximadamente 0. Sin embargo, el nivel de tensión en Vop es negativo. Determinar su valor. ¿Por qué no es cero?

Mediante el modo Y(t) del osciloscopio:

3.8. Visualizar Vo cuando se aplica una V1 senoidal de 400 mVpp y frecuencias entre 20Hz y 20 KHz. ¿Se aprecia algún tipo de distorsión?. ¿A qué frecuencia(s)?.

3.9. Representar la Vop(t) obtenida en las mismas condiciones del apartado 3.7.

3.10. Determinar las frecuencias de corte inferior y superior de Vo/V1 (a -3 dB) y razonar qué componentes las determinan. Representar el diagrama de Bode del módulo de la ganancia. Realizar las medidas con la carga conectada.

3.11. Conectar el puente J1 para añadir un condensador de 2,2 nF (CF) en paralelo con R2. Deducir las posiciones del polo y del cero generadas por este condensador en la función de transferencia Vo/V1. Representar el diagrama de Bode del módulo de la ganancia. Realizar las medidas con la carga conectada.

Referencias de componentes utilizados:

Zéner de 3V de la serie BZX55

http://www.fairchildsemi.com/pf/BZ/BZX55C3V3.html

BD136

http://www.fairchildsemi.com/ds/BD%2FBD138.pdf

BD137

http://www.fairchildsemi.com/ds/BD%2FBD139.pdf